

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**Институт металлургии
и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН**

80 лет

Москва
Интерконтакт Наука
2018

УДК 669.1; 546.1; 546.3

Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова — 80 лет.
Сборник трудов под редакцией академика К.А. Солнцева.
М.: Интерконтакт Наука, 2018, 352 с.

ISBN 978-5-902063-57-5

Сборник подготовлен в связи с 80-летием со дня создания Института металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской академии наук. В сборник включены статьи ведущих ученых Института, в которых отражена история создания и развития Института и его научных подразделений. В статьях содержатся основные направления научной деятельности в области металлургии черных, цветных и редкоземельных металлов, материаловедения металлических, керамических, нанокристаллических, композиционных материалов, развития методов исследования состава, структуры и свойств материалов.

Материалы сборника могут представлять интерес для ученых и сотрудников научно-исследовательских и учебных институтов и университетов, промышленных предприятий, работающих в области металлургии черных, цветных и редких металлов, материаловедения неорганических материалов и методов исследования.

Редакционная коллегия

Академик РАН К.А.Солнцев (ответственный редактор), академик РАН О.А.Баных (зам. редактора), академик РАН В.М. Иевлев, академик РАН Ю.В.Цветков, член-корр. РАН В.С. Комлев, член-корр. РАН С.М.Барин, член-корр. РАН Г.С.Бурханов, член-корр. РАН К.В. Григорович, член-корр. РАН А.Г.Колмаков, д.ф.-м.н. С.В.Симаков, к.т.н. И.О. Баных, к.т.н. О.Н.Фомина (ответственный секретарь), к.ф.-м.н. Н.А.Виноградова

ISBN 978-5-902063-57-5

© ИМЕТ РАН, 2018

Содержание

Вступление	7
Александр Александрович Байков	9
Торжественный актовый зал ИМЕТ РАН	19
Ю.В. Цветков, А.В. Самохин	
Плазменные процессы в металлургии и обработке материалов	55
О.А. Банных	
О лаборатории Н.Т. Гудцова и о себе в середине и конце шестидесятых. Как я попал в ИМЕТ им. А.А. Байкова	69
А.Г. Колмаков	
Лаборатория прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов ИМЕТ РАН (лаборатория №10). История лаборатории	75
О.А. Банных	
Несколько фотографий из моего архива	81
Г.С. Бурханов	
Лаборатория физикохимии тугоплавких и редких металлов и сплавов	89
К.Б. Поварова	
Жаропрочные конструкционные сплавы на основе вольфрама, рения и алюминидов переходных металлов.....	111
В.М. Блинов	
О практической реализации результатов исследований новых высокопрочных немагнитных сталей.....	132
Е.Н. Шефтель	
И это не всё, что хотелось бы вспомнить	135
К.В. Григорович	
Всеволод Константинович Григорович (1917 – 1996).....	145
А.Е. Шелест	
И.М. Павлов – ученый, учитель, человек	152
В.Н. Пименов, Ю.Э. Угасте	
Метод Гурова (к 100-летию со дня рождения Кирилла Петровича Гурова)	167

<i>В.Н. Пименов</i> Радиационное и космическое материаловедение (лаборатория «Воздействие излучений на металлы» — этапы Пути)	173
<i>В.Я. Дашевский</i> Лаборатория физикохимии металлических расплавов имени академика А.М. Самарина	196
<i>В.Я. Дашевский</i> Александр Юльевич Поляков	215
<i>В.Я. Дашевский</i> Роберт Алексеевич Карасев	218
<i>В.Я. Дашевский</i> Виталий Иванович Кашин	220
<i>В.Я. Дашевский</i> Александр Михайлович Самарин.....	223
<i>В.Ф. Шамрай</i> Исследования структур сверхпроводников. Начало	227
<i>В.Ф. Шамрай</i> Лаборатория кристаллоструктурных исследований	239
<i>Л.Л. Рохлин, Н.Р. Бочвар, Т.В. Добаткина</i> 80 лет проведения исследований сплавов цветных и легких металлов в Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН	242
<i>В.И. Калита</i> Лаборатория «Физикохимии и технологии покрытий», №25	254
<i>Л.И. Кобелева</i> Лаборатория композиционных материалов №20	266
<i>М.А. Коржув</i> Лаборатории полупроводниковых материалов ИМЕТ — 65 лет	273
<i>К.В. Григорович</i> Лаборатория «Диагностики материалов». Как быстро летит время!	293
<i>В.А. Брюквин</i> Лаборатория «Физико-химических основ металлургии цветных и редких металлов».....	309

<i>В.А. Волчёнкова</i>	
Лаборатория аналитическая №6	314
<i>Т.Н. Ветчинкина</i>	
Научное наследие Юрия Абрамовича Лайнера и вклад в развитие способов переработки алюминийсодержащего сырья	322
<i>Из архива М.А. Тылкиной</i>	
Памяти чл.-корр. Е.М. Савицкого.....	339
<i>О.А. Банных</i>	
М.В. Приданцев, Н.П. Лякишев	342
<i>О.А. Банных</i>	
Ю.К. Ковнеристый. Начало пути.....	346
<i>А.С. Чернявский</i>	
К.А. Солнцев	348
<i>А.Ю. Тетерина</i>	
В.С. Комлев.....	351

Вступление

В 2018 году Институту металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук исполняется 80 лет. 15 октября 1938 года на заседании Президиума Академии наук СССР (протокол № 55) было принято Постановление о создании Института металлургии Академии наук СССР. В соответствии с Постановлением Совета Министров СССР от 6 апреля 1946 года № 786 Институту присвоено имя академика А.А. Байкова.

26 декабря 1997 г. решением Президиума РАН Институт переименован в Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук.

В 2007 году состоялось объединение ИМЕТ РАН с Институтом физико-химических проблем керамических материалов.

В настоящее время ИМЕТ РАН для российской и мировой научной общественности обладает несомненным научным авторитетом в области фундаментальных исследований и разработки технологий создания новых металлических и керамических материалов, обладающих необходимым комплексом физико-химических и технологических свойств.

В стенах созданного академиком И.П. Бардиным Института работала плеяда выдающихся учёных, внесших решающий вклад в создание новых направлений металлургии и металловедения, которые определили возможность их развития и открыли широкие перспективы дальнейшего их совершенствования.

Было решено написать книгу, которая содержала бы факты, отражающие важные события в жизни института, произошедшие за восемьдесят лет его существования.

Эта книга не описывает полной истории Института. Издание этой книги можно было бы, в принципе, не связывать с какой-либо знаменательной датой. Однако, логично было приурочить создание воспоминаний о жизни такого большого и сложного организма, каким является наш Институт, к восьмидесятилетию — возрасту, когда ещё живы сотрудники, которые пришли в Институт в годы его становления, и активная большая группа молодёжи, влившейся в коллектив за последние годы. Такое сочетание даёт возможность наиболее объективно оценить, как развивался, какие трудности преодолевал и каких успехов достиг Институт в течение длительного периода своего существования.

Книга состоит из целого ряда в основном небольших по объёму, но значительных по содержанию текстовых или иллюстративных фрагментов, подготовленных разными авторами. Эти фрагменты посвящены личностям многих выдающихся учёных, трудившихся в Институте в прошлые годы, научные достижения которых нашли всемирное признание. Имеются и страницы, посвящённые деятельности учёных, работающих в настоящее время, а также относящиеся к описанию и аналитическому

рассмотрению как просто заметных, так и важнейших для жизни и развития Института событий, происходивших в разные годы его жизни.

К сожалению, не все члены коллектива Института, создавшие и поддерживающие лучшие его традиции, упомянуты на страницах этой книги. Этот пробел, конечно же, следует исправить в будущем.

Нет сомнения в том, что материалы книги будут представлять интерес и для сотрудников, давно работающих в Институте, посвятивших ему большую часть своей трудовой биографии, и, особенно, для молодых научных сотрудников. Для них история Института, рассказанная их старшими товарищами и наставниками, раскроется новыми гранями. Из составляющих книгу статей они узнают много того, чего, возможно, не узнали бы никогда.

Александр Александрович Байков

В преддверии восьмидесятилетнего юбилея Института металлургии и материаловедения имени А.А.Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) хотелось бы напомнить о жизненном пути выдающегося ученого-металлурга, академика, вице-президента Академии наук СССР, чье имя уже более семидесяти лет носит наш Институт и чей бюст перед классическим зданием с колоннами первым встречает каждого, кто проходит через центральную проходную в Москве, на Ленинском проспекте 49. В английском варианте написания названия нашего института имя этого ученого еще более значимо, так как пишется именно: *A.A.Baikov Institute of Metallurgy and Material Science RAS*.

Через два года будет отмечаться столетие со дня рождения академика Александра Александровича Байкова. К сожалению, на исходе второго десятилетия XXI века найдется не столь много маститых металлургов, материаловедов, специалистов в области керамики и цемента, для которых понятен ответ на вопрос: «...а за какие заслуги имя этого ученого присвоено крупнейшему и известнейшему институту Академии наук СССР, а теперь и Российской академии наук?». Ученые-иметовцы, начинавшие работать в Институте во второй половине XX века, несомненно, имеют представление о заслугах академика-металлурга, чье имя носит ИМЕТ РАН, но для научной молодежи, пришедшей в институт в постсо-

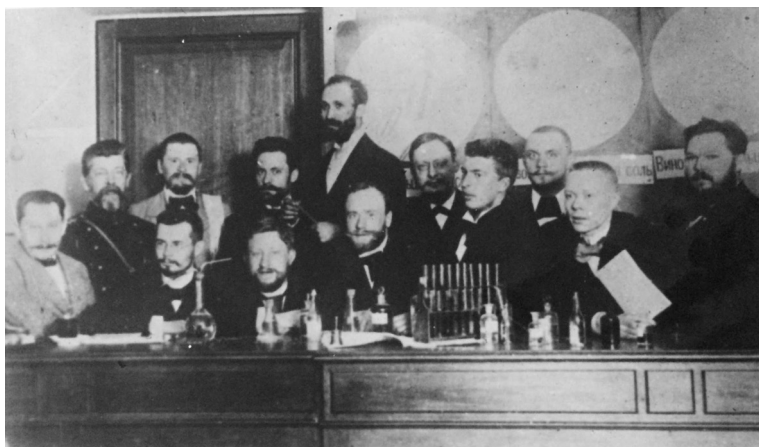


Академик А.А.Байков.

ветские годы, образ А.А.Байкова столь же далек, как и образы выдающихся ученых, химиков и металлургов, чьи бюсты украшают интерьеры вестибюлей Института и чьи портреты висят на стенах торжественного конференц-зала ИМЕТ.

Александр Александрович Байков — начальник отдела металловедения Института металлургии Академии наук СССР, академик и вице-президент Академии наук СССР, химик и металлург, в течение почти сорока лет — профессор Санкт-Петербургского (Ленинградского) политехнического института, составляет славу отечественной науки. Труд ученого отмечен множеством самых высоких почетных званий и наград его времени. Он член-корреспондент (1927 г.), а затем действительный член АН СССР (1932 г.), заслуженный деятель науки и техники РСФСР, лауреат Сталинской премии, Герой Социалистического Труда. Он награжден тремя орденами Ленина, двумя — Трудового Красного Знамени, несколькими медалями, среди которых и медаль «За оборону Ленинграда».

Этот большой ученый и незаурядный человек родился в глубокой провинции, в г. Фатеж Курской губернии 25 июля 1870 года. Вскоре семья переехала в Курск. Отец А.А. Байкова — сын литератора и артиста Оперного театра в Санкт-Петербурге, выпускник Университета, был в Курске присяжным поверенным (адвокатом), дослужился до чина надворного советника. С 1880 г. А.А. Байков учился в Курской классической гимназии, где серьезно увлекся химией. В гимназические годы настольной книгой А.А. Байкова стали «Основы химии» Менделеева. В 1889 году А.А. Байков окончил гимназию и поступил на математическое отделение



В химической лаборатории Санкт-Петербургского университета, 1894 год. Молодой научный сотрудник А.А.Байков второй справа в первом ряду.

физико-математического факультета Петербургского Университета, который окончил за 4 года, досрочно, в 1893 году, с дипломом I степени. Там он стал учеником Д.И. Менделеева, который отметил и включил первое студенческое исследование А.А. Байкова об явлениях закалки в шлаках меди и сурьмы в одно из переизданий своего классического труда «Основы химии». Дипломную работу А.А. Байков делал в лаборатории профессора Д.П. Коновалова — по физической химии, и, по окончании Университета, был оставлен на кафедре физической химии, а в 1894 году — назначен лаборантом по химии. С этого же года Александр Александрович становится активным участником заседаний Малого химического общества Русского Физико-химического общества при Университете.

В 1897 году, по предложению Д.П. Коновалова, который был также профессором химии и в Институте инженеров путей сообщения, А.А. Байков перешел в этот институт на должность заведующего химической лабораторией и в 1899 году был командирован Советом института за рубеж для более глубокого изучения свойств сплавов и цементов. В лаборатории профессора Ле-Шателье в Париже он углублял свои знания по химии и металлографии, а у профессора Г.Н. Вырубова — по кристаллографии.

По возвращении в Санкт-Петербург А.А. Байков продолжил свои работы по теме «Исследование сплавов меди и сурьмы». Его работы по изучению сплавов заинтересовали многих химиков, и Д.И. Менделеев обратился к нему с предложением составить заметки с данными по этому вопросу для нового издания «Основ химии». Сотрудничество с Д.И. Менделеевым Александр Александрович поддерживал до самой смерти своего великого учителя.

В 1902 году в Лесном, в Санкт-Петербурге, шла подготовка к открытию Политехнического института. По рекомендации известного металлурга А.А. Ржешотарского, А.А. Байков был приглашен преподавателем по общей металлургии, и с 1 ноября 1902 года его командировали на один год за границу для подготовки к профессорскому званию. А.А. Байков снова едет в Париж в лабораторию профессора Ле-Шателье, где занимается металлургией и технической химией. По возвращении в Политехнический институт А.А. Байков блестяще сдал экзамены на звание адъюнкта по металлургии и по химии.

С 1902 г. А.А. Байков — преподаватель, с 1903 г. — адъюнкт, и с того же года — экстраординарный профессор Петербургского политехнического института по кафедре металлургии, с 1909 года — ординарный профессор по этой кафедре. Читал сразу несколько курсов, почти все из которых преподавались в институте впервые, сам разработал лекции и учебные планы. Одновременно вел обширные научные исследования на базе кафедр института, в том числе, совместно с Д.И. Менделеевым, вплоть до кончины своего выдающегося учителя. Одновременно с 1909 года А.А. Байков



Награды профессора А.А.Байкова: Орден Святого князя Владимира 4 степени и орден Святой Анны 2 степени (знаменная “Анна на шее”).

являлся консультантом Министерства путей сообщения. За ряд выдающихся научных работ А.А.Байков был произведен в чин статского советника и награжден российскими императорскими орденами.

В конце 1903 года в Петербургском Политехническом институте состоялась первая в его стенах публичная защита диссертации А.А. Байковым на тему: «Исследование сплавов меди и сурьмы и явлений закалки, в них наблюдаемых». Диссертация была высоко оценена присутствующими. После прочтения двух пробных лекций, Александр Александрович был избран Советом института адъюнктом, а 1 ноября 1903 года экстраординарным профессором по кафедре металлургии. С 1904 года начался новый, полностью «политехнический», период в жизни А.А. Байкова. Из центра он переехал в Лесное, в одну из дач, принадлежащих Политехническому институту.

В январе 1904 года скончался А.А. Ржешотарский, и продолжать его работу поручили А.А. Байкову. Лекции по общей металлургии и металлографии, которые ему предстояло читать, впервые вводились в учебный план института. Позже ему был поручен курс металлургии цветных металлов, на инженерно-строительном отделении он читал технологию вяжущих веществ и технологию строительного искусства, а на экономическом отделении — неорганическую химию.

За короткое время А.А. Байков организовал в химическом павильоне металлургическую и металлографическую лаборатории, а также лабораторию технического и горнозаводского анализа. Предполагалось, что лаборатории будут использоваться не только для учебных студенческих работ, но и для научных исследований. Лаборатория металлографии была первой институтской учебной лабораторией не только в России, но и в мире.

8 апреля 1909 года А.А. Байков был избран ординарным профессором по кафедре металлургии. К этому времени за ним уже утвердилась слава одного из лучших лекторов Политехнического института. К 1917 году ор-



Выдающиеся металлурги.
Слева направо: В.Е. Грум-Гржимайло, А.А. Байков,
М.А. Павлов. 1924 год.

динарный профессор по кафедре металлургии А.А. Байков имел чин статского советника и ордена Св. Владимира 4-й степени и Св. Анны 2-й и 3-й степени. Следует упомянуть о значимости гражданского чина ординарного профессора кафедры А.А. Байкова. В “табели о рангах”, иерархической системе (в случае преподавателя — чинов министерства просвещения) в дореволюционной России, чин статского советника, относился к пятому, высшему, классу чинов и соответствовал рангу, промежуточному между чином полковника и генерал-майора. Профессору по кафедре в то время полагалась многокомнатная казенная квартира с дровами и собственный выезд в карете с четверкой лошадей. Аналогичные блага имел в то время и профессор Николай Семенович Курнаков, чье имя носит дружественный ИМЕТ РАН Институт общей и неорганической химии Российской академии наук (ИОНХ РАН).



Академики-металлурги, великие ИМЕТовцы И.П.Бардин и А.А.Байков.

В 1918 году А.А.Байков выехал в Крым в лечебный отпуск. Здесь ему пришлось пережить весь период Гражданской войны. Зарабатывал на жизнь преподаванием в местных учебных заведениях, в том числе — в Таврическом (Крымском) университете. С 1919 года — профессор, с 1921 г. — ректор Крымского университета. Звание профессора сохранилось за Байковым до 1923 года.

В 1921 году Байков вернулся в Петроград, вновь занял свою прежнюю кафедру и возобновил преподавательскую работу. В том же 1923 году А.А. Байков был избран профессором по кафедре химии при Петроградском университете, которую ранее занимал Д.И. Менделеев.

С февраля 1925 года А.А. Байков — декан химического факультета, а с июня 1925 года по октябрь 1928 года — ректор Ленинградского политехнического института. Он также читал курс по металлургии в Военно-технической (1926 – 1930 г.г.) и в Артиллерийской (1930 г.) академиях РККА, в Электросварочном институте (1932 – 1934 г.г.).

С 1927 года А.А. Байков — начальник отдела металловедения Института металлургии Академии наук. На базе этого отдела в 1938 году был создан Институт металлургии Академии наук СССР.

Созданная А.А. Байковым ленинградская школа металловедения заслужила международное признание и успешно работает и развивается до настоящего времени. С 1935 по 1941 г. Байков являлся заведующим кафедрой неорганической химии и деканом химического факультета Ленинградского государственного университета.

Основные труды академика Байкова относятся к исследованию превращений в металлах и к теории металлургических процессов. Им проведено более 40 фундаментальных исследований в области металлур-

гических процессов химии металлов. В 1909 году А.А.Байков открыл и доказал существование аустенита, путем травления железа и стали сухим хлористым водородом в атмосфере азота при высокой температуре.

А.А.Байковым впервые установлено явление полиморфизма в никеле. Ученый провел ряд важных исследований по металлургии цветных металлов, а также по производству и использованию цементов и огнеупорных изделий. Разработанная А.А. Байковым теория твердений цемента (1923 – 1931 гг.) стала классической и полностью совпадает с современными представлениями о процессах образования гидратов и возникновение кристаллической структуры вяжущего вещества при твердении.

Помимо научной и преподавательской деятельности, А.А.Байков на протяжении всей жизни занимался административной работой. 25 февраля 1925 года А.А. Байков приступил к исполнению обязанностей декана химического факультета, а 17 июня 1925 года в Политехническом институте было избрано новое Правление и новый ректор — Александр Александрович Байков.

В 1930 году, при разделении Политехнического института, металлургический факультет вошел в состав Металлургического института, и А.А. Байков читал в нем курс общей металлургии. Кроме того, он был заведующим кафедрой неорганической химии и деканом химического факультета Ленинградского университета (1934-1941); здесь под его руководством была создана первая в стране рентгенографическая лаборатория. В 1930-е годы он сотрудничал с Институтом сооружений и строительных материалов, Институтом огнеупоров, а также с Всесоюзным Алюминиевым и Магниевым институтом.



А. А. Байков (вице-президент АН СССР) и А. Д. Байкова — председатель Военно-офтальмологической комиссии АН СССР у раненых бойцов Советской Армии. (1944).

Годы войны.



Академик А.А.Байков среди группы академиков, Героев Социалистического Труда, на приеме у Н.М.Шверника в Кремле, после вручения Золотых Звёзд Героя, 14 июня 1945 года.

Первый ряд, сидят, слева направо: металлург М.А.Павлов, агроном-селекционер Т.Д.Лысенко, заместитель председателя Президиума Верховного Совета СССР Н.М.Шверник, агроном Д.И. Прянишников, химик-органик Н.Д.Зелинский, Второй ряд, стоят слева направо: металлург И.П.Бардин, медик Л.А.Обрели, археолог и языковед И.И.Мещанинов, медик А.Л.Абрикосов, металлург А.А.Байков.

С мая 1942 по май 1945 года А.А. Байков — вице-президент Академии наук СССР. Все первые месяцы Великой Отечественной войны он находился в Ленинграде, был председателем городской комиссии помощи фронту, организовал выполнение срочных работ в интересах фронта и блокадного города. В декабре 1941 года, по категорическому требованию руководства Академии наук, был эвакуирован из блокадного Ленинграда в Свердловск, где интенсивно работал в комиссии по мобилизации ресурсов Сибири и Урала.

В годы войны А.А.Байков — член Комиссии по руководству строительством оборонительных сооружений. Руководил в эвакуированном Ленинградском государственном университете работами важного оборонного значения (создание зажигательных смесей для борьбы с танками, разработка оптимальных способов зажигания этих смесей, эффективных противопожарных средств и способов гашения зажигательных бомб).

Летом 1943 года Байков вернулся из эвакуации и до конца жизни проживал в Москве. В 1943 – 1946 годах — А.А.Байков являлся председателем Совета научно-технической экспертизы Госплана СССР.



Минерал Байковит.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 10 июня 1945 года, за выдающиеся заслуги в области создания научных основ металлургии, химии металлов и металлографии, а также за исключительные заслуги по созданию отечественной школы металлургов, Байкову Александру Александровичу было присвоено звание Героя Социалистического Труда, с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот».

А.А. Байков — академик АН СССР (1932), член-корреспондент АН СССР (1927). Ученый секретарь Русского металлургического общества (с 1910). Депутат Верховного Совета СССР 1 созыва (с 1937 года). Депутат Ленинградского городского совета депутатов трудящихся (с 1935). Скончался 6 апреля 1946 года. Похоронен в Москве на Новодевичьем кладбище.

Награждён 3 орденами Ленина (10.10.1940, 10.06.1945, 5.08.1945), 2- орденами Трудового Красного Знамени (21.02.1944, 29.05.1944), медалями, в том числе «За оборону Ленинграда», наградами Российской империи — орденами Святого Владимира 4-й степени, Святой Анны 2-й (1911) и 3-й (1906) степеней. Лауреат Сталинской премии 1 степени (1943г.)

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1934). Именем ученого назван Институт металлургии и материаловедения Российской академии наук, улица в Санкт-Петербурге. В Санкт-Петербурге установлены мемориальные доски на доме, в котором жил академик, и на здании Политехнического университета, где он работал. На севере

Санкт-Петербурга улица Байкова, названная в честь знаменитого ученого-металлурга, пересекается с улицей Вавиловых, названной в честь наших знаменитых ученых — братьев Николая Ивановича, селекционера, и Сергея Ивановича — физика, президента Академии наук СССР. А в Москве Институт металлургии имени А.А. Байкова также неразрывно связан с улицей Вавилова. Так в памяти поколений сохраняются имена наших великих соотечественников.

Торжественный актовый зал ИМЕТ РАН

Любого человека, как имеющего отношение к науке, так и весьма далекого от проблем металлов и иных материалов, впервые входящего в широкие двери конференц-зала Института металлургии и материаловедения имени А.А.Байкова Российской академии наук в Москве, на Ленинском проспекте, 49, охватывает сонм чувств — удивление, восхищение, желание потрогать деревянные панели стен шестидесятилетней давности, “из середины прошлого, двадцатого века”, посидеть на деревянных креслах, рассмотреть волшебные бронзовые люстры с хрустальными подвесками. Зал несомненно производит эффект монументальности, и, по крайней мере меня, охватывает некое чувство робости, когда с простенков между огромными окнами на тебя взирают с портретов великие первопроходцы металлургии и наук о материалах. К сожалению, портреты не имеют табличек с каллиграфически написанными именем, фамилией и регалиями великих химиков и металлургов, и сейчас, на исходе второго десятилетия XXI века мало кто может безошибочно сказать, кто изображен на том или ином крупноформатном фотографическом портрете. Несомненно, большинству знакомо хрестоматийное изображение великого Д.И.Менделеева на центральной стене позади кресел зрительного зала, но портреты остальных военных и штатских металлургов вряд ли у большинства представителей научной молодежи и даже у маститых научных сотрудников и работников производственной базы ИМЕТ РАН среднего поколения вызывают однозначное узнавание.

Попытаюсь кратко осветить образы великих металлургов, представленные в конференц-зале ИМЕТ РАН.

Первым при взгляде из зала справа почти над сценой расположен узнаваемый профиль первого директора ИМЕТ АН СССР, выдающегося советского металлурга, создателя Кузнецкого металлургического комбината и города Новокузнецка, академика, вице-президента академии наук СССР Ивана Павловича **БАРДИНА**.

Родившийся в 1883 году в Саратовской губернии, И.П. Бардин после окончания земледельческого училища поступил в Киевский Политехнический институт, где и увлекся вопросами химических процессов и был приобщен к проблемам черной металлургии известным металлургом прошлого века профессором В.П. Ижевским. В 1910 – 1911 годах И.П. Бардин проработал простым разнорабочим в Соединённых Штатах Америки, где познакомился с производством чугуна и стали на современном и передовом для того времени оборудовании американских металлургических заводов. Под руководством великого русского металлурга М.К. Курако И.П. Бардин в начале двадцатого века изучал постановку металлургического дела на юге России, на знаменитых заводах Юза



Академик Иван Павлович БАРДИН.

в Донецком бассейне. Выдающаяся роль обладавшего прекрасными знаниями по всем вопросам организации современного металлургического производства И.П. Бардина во всей полноте раскрылась в первые годы индустриализации Советского государства, когда под его руководством за 1000 дней на пустом месте был построен в 1929 – 1932 годах Кузнецкий металлургический комбинат и получен первый чугун на первенце советской индустрии. В 1932 году за воплощение в жизнь проекта Кузнецкстроя И.П.Бардин был избран академиком АН СССР. С 1939 года директор Института металлургии АН СССР, с 1944 года директор и института ЦНИИЧермет. И.П.Бардина очень ценил И.В.Сталин, обращался к нему на “ты”, что было совсем не характерно для вождя Советского государства. Огромны заслуги академика И.П.Бардина в работе чёрной и цветной металлургической промышленности в СССР в годы Великой Отечественной войны. Без металла не было бы и Победы. И.П. Бардин — Герой социалистического труда, награждён семью орденами Ленина — высшей наградой СССР.

Следующий портрет в простенке правой стены, если смотреть из зала на сцену — портрет металлурга, академика Александра Михайловича Самарина.

В “Википедии” о А.М.Самарине сказано: “учёный-металлург, крупнейший специалист в области взаимодействия газов со сталью, в вопросах физико-химических основ процессов металлургии, академик АН СССР”.

После смерти первого директора ИМЕТ АН СССР академика И.П.Бардина в 1960 году член-корреспондент АН СССР А.М.Самарин, уже с 1939 года бывший научным сотрудником Института металлургии, временно исполнял обязанности директора ИМЕТ АН СССР в 1960 – 1961 годах. А.М.Самарин в 1946 – 1951 годах был заместителем министра высшего образования СССР. В 1951 – 1955 годах А.М.Самарин — заведующий лабораторией металлургии черных металлов нашего Института, в 1955 – 1960 годах заместитель директора Института. В 1966 году избран академиком АН СССР (членом-корреспондентом был избран в 1946 году). С 1967 года до своей смерти в 1970 году был директором Института металлургии АН СССР.

А.М.Самарин был одним из первых ученых, заложившим научные основы производства ферросплавов в нашей стране. Под его научным руководством и при его непосредственном участии впервые были разработаны процессы производства феррохрома и феррованадия. Основным направлением научной деятельности А.М.Самарина была разработка физико-химических основ производства высококачественных сталей и сплавов различного состава и назначения. Под его руководством впервые в мировой практике был осуществлен эксперимент по вакуумной обработке кипящей стали в ковше, показана возможность высокой степени раскисления металла углеродом при относительно неглубоком вакууме, значительного снижения концентрации растворенных газов: водорода и азота.



Академик Александр Михайлович САМАРИН.

А.М.Самарин внес большой вклад в изучение процесса разливки стали. Отдельным направлением в трудах А. М. Самарина были исследования процессов плавления и рафинирования тугоплавких металлов в дуговых и электронно-лучевых печах.

Память об академике А.М.Самарине увековечена на единственной мемориальной доске, установленной на фасаде здания ИМЕТ РАН на Ленинском проспекте, 49, в Москве, справа от главного входа в институт.

Следующий, ближе к углу по правой стене конференц-зала, — портрет академика, металлурга с мировым именем Михаила Александровича Павлова.

Павлов М.А. — русский и советский металлург, академик (с 1932 года, член-корреспондент с 1927 года), лауреат Сталинских премий, Герой Социалистического Труда (1945). По окончании в 1885 году Санкт-Петербургского Горного института работал инженером на металлургических заводах Вятского горного округа, с 1896 года — на Сулинском заводе (близ г. Ростова-на-Дону). В 1900 году М.А. Павлов начал педагогическую деятельность в Екатеринославском высшем горном училище (ныне Днепропетровский Национальный горный университет); в 1904 – 1941 годах — профессор Санкт-Петербургского (Ленинградского) политехнического института, одновременно в 1921 – 1930 годах профессор Московской горной академии; в 1930 – 1941 годах профессор Московского института стали.

С первых шагов своей производственной деятельности М.А. Павлов занялся улучшением пудлинговых печей, газогенераторов, проводил опыты по применению в доменных печах горячего дутья. На Климковском заводе (в бывшей Вятской губернии) с двумя небольшими древесно-угольными печами и примитивным оборудованием М.А.Павлов выполнил работу, описанную затем под названием «Исследование плавильного процесса доменных печей Климковского завода» (1902 г.), где высказал новые взгляды на ряд важнейших факторов доменного процесса (температура дутья, развитие прямого восстановления окислов железа, экономия горючего при плавке на горячем дутье).

На Сулинском заводе (Донецкий угольный бассейн) М.А. Павлов впервые в России освоил и усовершенствовал доменную плавку на антраците. Активно сотрудничал в научных журналах, с момента основания в 1910 году «Журнала Русского металлургического общества» был его редактором. С 1902 года начал выпускать «Атлас чертежей по доменному производству». В дополнение к «Атласу» М.А. Павлов опубликовал (в 1911 году) свой способ определения размеров доменных печей, получивший всеобщее признание. Широкую известность имела работа М.А. Павлова «Размеры мартеновских печей по эмпирическим данным» (1910 года), которая несколько раз переиздавалась в России и за границей. Книга М.А.Павлова «Расчет доменных шихт» (1914 года) стала настольным



Академик Михаил Александрович ПАВЛОВ.

пособием каждого металлурга-доменщика. М.А. Павлов — автор курса «Металлургия чугуна» (1924 год). Многочисленные экспериментальные работы по исследованию доменного процесса, проведенные под руководством М.А.Павлова, показали ошибочность мнения о нецелесообразности увеличения размеров доменных печей и оказали влияние на современное доменное строительство. М.А. Павлов принимал активное участие в создании мощных доменных печей. Им создана кафедра металлургии чугуна (ныне кафедра экстракции и рециклинга черных металлов МИСиС). Его интересы были обширны, знания — многогранны. Кроме собственно доменного производства, основного предмета научных изысканий М.А. Павлова, в сферу его интересов входили процесс пудлингования и мартеновские печи, процесс в бессемеровских конверторах и функционирование различных топочных и нагревательных устройств и многое другое. М.А.Павлов многое в металлургической науке сделал впервые. Первым составил сводку термохимических данных по металлургическим реакциям и первым показал, как и почему ими надо постоянно пользоваться; впервые в России рассчитал полные тепловые балансы доменной плавки, исследовал и определил составы «нормальных» доменных шлаков, разработал методику расчета профиля доменной печи. Его учебник «Металлургия чугуна» выдержал шесть (!) изданий. М.А.Павлов автор свыше 200 научных работ. Академик М.А.Павлов работал и в ИМЕТ АН СССР уже в преклонном возрасте до своей кончины в 1958 году. За свой самоотверженный труд металлург академик М.А.Павлов удостоен звания Героя Социалистического Труда, награжден пятью орденами Ленина, ор-

деном Трудового Красного знамени и медалями. Первый директор ИМЕТ АН СССР академик И.П.Бардин, не щедрый на комплименты, назвал М.А.Павлова «отцом Российской металлургии». Другой, не менее известный ученый-металлург, ученик Анри Ле-Шателье, академик А.А. Байков считал «честью называть себя учеником М.А.Павлова в вопросах металлургии».

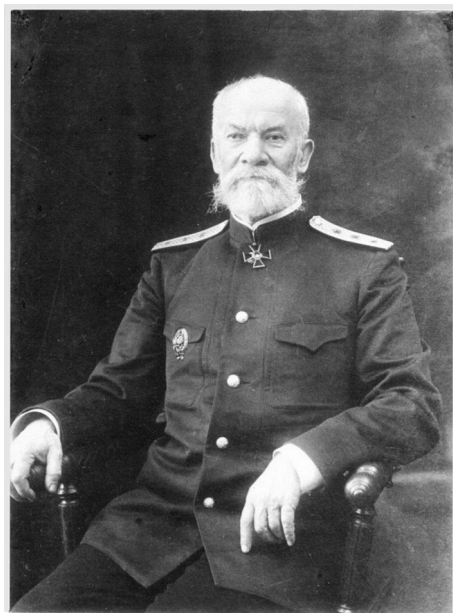
Биография академика М.А.Павлова представлена в написанных им интереснейших «Воспоминаниях металлурга», выдержавших несколько изданий.

Многие сотрудники ИМЕТ РАН и сейчас еще помнят сына академика М.А.Павлова, члена-корреспондента АН СССР Игоря Михайловича Павлова, много лет проработавшего в ИМЕТ АН СССР.

Следующий, если смотреть от входа в зал на сцену по часовой стрелке, в углу, на центральной стене, портрет «военного» металлурга, старика с «суровым взглядом», ученого-металлурга, чьи открытия и достижения признаны всей мировой наукой — Дмитрия Константиновича Чернова.

Взаимосвязь состава, структуры и свойств железа была установлена лишь в шестидесятых годах XIX века русским металлургом Д.К. Черновым. Оригинальный аналитический ум, пронизательность, интуиция, стремление к глубинному познанию природы вещей и явлений — все то, что составляло суть научного гения Д.К. Чернова, позволило ему найти объяснения, которые при тогдашнем уровне знаний никем и не подозревались. Открытия Д.К. Чернова легли в основу современного металлостроения, стали источником формирования научных основ металлургии и современных прогрессивных технологий литья изделий из металлов и сплавов. Наиболее полно значение открытий Д.К. Чернова охарактеризовал известный французский ученый Альберт Портевен (Albert Portevin): «Его имя остается связанным с двумя фундаментальными открытиями, которые были отправной точкой почти всех новых исследований стали: это понятие о критических точках стали и понятие об изменениях структуры, которые сталь испытывает при термической обработке. Чернов был провозвестником и главою новой школы; его первые труды послужили фундаментом для последующего удивительного прогресса в области металлургии стали, для которой вторжение науки оказалось поистине революционным».

Д.К. Чернов родился в Санкт-Петербурге 1 ноября 1839 г. в семье фельдшера Монетного двора. Инженерное образование получил в Санкт-Петербургском Технологическом практическом институте, окончив его в 1858 г. с малой серебряной медалью. В 1866 г. Д.К. Чернов поступает на Обуховский завод — крупнейший центр сталепушечного производства России. Молодому инженеру поручают установить причины массового брака при производстве стальных орудий. На протяжении двух лет непосредственно в заводских мастерских под шум и грохот молотов он из-



H. Perle D. Chernov
SE PETERSBURG.

Дмитрий Константинович ЧЕРНОВ.

учает влияние различных факторов на качество раскаленных стальных слитков и оружейных поковок. Свои наблюдения Д.К. Чернов представил в 1868 г. в устных докладах, а затем и в печати. Здесь впервые прозвучала мысль о существовании критических точек, соответствующих определенным температурам структурных превращений, приводящих к изменению структуры и свойств стали. Эти критические температуры, зависящие от содержания углерода в стали, определенные Д.К. Черновым визуально, по цветам калия поковок, были названы им — точка «а» (темно-вишневое калие), точка «b» (красное, не блестящее калие) и т.д.

Взгляды Д.К. Чернова на физическую природу критических точек так опередили свое время, что на протяжении нескольких десятилетий вокруг них велись горячие споры и научные дискуссии.

Д.К. Чернов впервые графически изобразил влияние углерода на положение критических точек, воспроизводя при этом очертания важнейших линий диаграммы Fe–C. Можно без преувеличения утверждать, что примененный им графический метод построения диаграммы внутренних превращений в стали при достижении критических точек послужил прообразом для последующего развития диаграмм плавкости и диаграмм состояния равновесных систем и привел к возникновению, уже много лет спустя, термического анализа — основного лабораторного метода изучения растворов солей, металлических сплавов и различных веществ [4].

Громадное значение этого первого научного труда Д.К. Чернова определяется также тем, что в нем он обосновал и экспериментально доказал, что решающим фактором для получения стали высокого качества является термическая обработка, а не ковка, как это считалось ранее, т.е., качество стали зависит от структуры, которая изменяется после достижения определенной температуры. Открытые Д.К. Черновым критические точки стали и железа послужили прочным фундаментом для построения новейших теорий термической обработки стали.

В последующие годы службы на Обуховском заводе Д.К. Чернов занимался исследованием строения литой стали, изучением причин появления различных дефектов (пузыристости, рыхлости и усадочных раковин) и способов устранения этих пороков. Результаты своих наблюдений он обобщил в 1878 г. в труде «Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок», в котором, как и десять лет назад в своем революционном докладе о критических точках, развивал совершенно новые представления о природе стали, впервые показав, что сталь является кристаллическим телом. На основе наблюдений за образованием кристаллов при затвердевании воды, соляных растворов и изучения стальных слитков Д.К. Чернов создал теорию кристаллизации стали, введя такие понятия, как «центры кристаллизации», «твердые кристаллические растворы», «волновой характер роста кристаллов».

Он с исключительной наглядностью описывал течение процесса образования и роста дендритных кристаллов: «затвердевание стали идет непрерывным нарастанием гладких слоев один на другой, а постоянным ростом разрывных кристаллов по направлению от охлаждающих стенок изложницы к центру болванки, и притом главные оси роста кристаллов должны быть расположены нормально к охлаждающей поверхности» [6]. Строение литых слитков он рассматривал как результат трех одновременных протекающих явлений: кристаллизации стали, выделения газов и изменения объема при переходе из жидкого состояния в твердое. Огромную ценность данной работы для развития металлургии качественной стали представляли также разработанные им на основе своей теории предложения об улучшении кристаллической и химической однородности стальных слитков.

К периоду пребывания Д.К. Чернова на Обуховском сталелитейном заводе относятся также его работы по исследованию нового для русской металлургии того времени конвертерного способа получения стали. На основе расчетов он показал возможность конвертирования низкремнистых уральских чугунов путем предварительного расплавления и перегрева их в вагранке или в другом подходящем плавильном агрегате. Так родился в 1870-х гг. «русский способ» бессемерования. В качестве средства для контроля процесса конвертирования чугуна и наблюдения за изменением состава ванны металла Д.К. Чернов использовал спектральный анализ пламени, выходящего из горловины конвертора [7].

В 1889 г. Д.К. Чернов принял предложение конференции Михайловской артиллерийской академии (ныне — Военная академия ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого) вступить в число ее профессоров и занять кафедру металлургии. Наиболее значительным научным исследованием Д.К. Чернова в Михайловской артиллерийской академии стала работа о причинах выгорания каналов артиллерийских орудий в результате разрушительного воздействия пороховых газов высокой температуры, доложенная на заседании Русского металлургического общества (РМО) в 1912 г. В этой работе были даны физические основы теории износа и эрозии орудийных стволов. На основании тщательного анализа сложного процесса, происходящего при одновременном воздействии на металл тепловых, механических и химических факторов Д.К. Чернов пришел к выводу, что главную роль играет тепловое воздействие пороховых газов на поверхность канала. Данное им объяснение образования и развития сетки трещин, получившей название по его имени, инициировало появление научных работ, посвященных термической усталости и методике ее исследования.

В 1905 г. Д.К. Чернов был удостоен звания заслуженного профессора академии. Д.К. Чернов воспитал не одно поколение офицеров- артиллеристов, посвятивших себя развитию металлургической техники и материалов.

Кроме прославивших его работ в области металлургии Д.К. Чернов интересовался вопросами воздухоплавания. Свои исследования в области воздухоплавания Д.К. Чернов обобщает в 1893 г. докладом «О наступлении возможности механического воздухоплавания без помощи баллона».

Выдающимся был вклад Д.К. Чернова в дело создания («строительства») струнных инструментов. Сначала, в 1860-х гг. это увлечение проявилось в исследовании строения и звучания скрипок разных мастеров, в том числе и старинных итальянских. Свои выводы Чернов начал опробовать на обыкновенных фабричных инструментах «заведомо дурных качеств». Он изготовил 12 скрипок, 4 альты и 4 виолончели. Это был его отдых после напряженной научной работы [8].

Научные разработки и практическая деятельность Д.К. Чернова получили широкое признание как в России, так и за рубежом. Он прошел путь от коллежского секретаря (1873 г.) до тайного советника (1905 г.), был награжден орденами: Св. Владимира 4-й ст. (1868 г.), 3-й ст. (1892 г.), 2-й ст. (1905), Св. Станислава 2-й ст. (1882 г.), 1-й ст. (1894 г.), Св. Анны 1-й ст. (1900 г.), Белого Орла (1914 г.) и Командорским крестом французского ордена Почетного легиона (1900 г.). Виднейшие ученые-металлурги России, Франции (Ф. Осмонд, А. Портевен), Германии (Э. Гейн), США (Г. Гоу) и др. высоко оценили его вклад в развитие науки о металлах. Д.К. Чернов был избран почетным членом Санкт-Петербургского технологического и Санкт-Петербургского политехнического институтов; почетным членом и лауреатом Русского технического общества и Общества

технологов, почетным председателем Русского металлургического общества; почетным членом Американского института горных инженеров, почетным вице-председателем английского Института железа и стали, почетным членом-корреспондентом Королевского общества в Лондоне, членом Совета Института международных экспертов.

Весной 1916 г. после тяжелого простудного заболевания Д.К. Чернов по рекомендации врачей был вынужден выехать для лечения в Крым, который вскоре из-за развернувшихся событий гражданской войны оказался отрезанным от России. Скончался Д.К. Чернов 2 января 1921 года в Ялте.

Следующий портрет по центральной стене — портрет не металлурга в полном понимании этого слова, но выдающегося российского и советского химика и металловеда, основоположника физико-химического анализа академика Николая Семеновича Курнакова (1860 – 1941).

Николай Семёнович Курнаков является творцом нового отдела общей химии — физико-химического анализа, давшего в руки химиков-теоретиков и инженеров-практиков новый метод исследования вещества. Работы Н.С. Курнакова по металлическим сплавам открыли новую страницу в истории металлографии. Н.С. Курнаков был крупнейшим деятелем в области соляного дела, исследования которого открыли путь к познанию



Академик Николай Семенович КУРНАКОВ.

генезиса соляных отложений в природе, выяснению условий кристаллизации солей в озёрах, нарисовали общую картину соляных превращений. Н.С. Кунаков был выдающимся деятелем отечественной промышленности.

Николай Семёнович Курнаков родился 6 декабря 1860 года в г. Нолинске Вятской губернии. Отец его — офицер, участник обороны Севастополя, был тяжело контужен сначала на Малаховом кургане, а затем на 3-м бастионе. Хотя он и оправился от полученных ран, но здоровье его было подорвано, и он скончался в 1868 г., оставив двух своих малолетних сыновей на попечение их матери.

Первоначальное воспитание Н.С. Курнаков получил дома, а затем в Нижегородской военной гимназии, курс которой окончил в 1877 г. Ещё тогда, будучи гимназистом, он устроил домашнюю химическую лабораторию, где самостоятельно проводил опыты по химии.

В 1877 г. Н.С. Курнаков поступил в Петербургский Горный институт, который окончил в 1882 г. Будучи студентом института, он провёл наблюдения над кристаллизацией квасцов и соли Шлиппе, которые дали материал для первых сообщений Н.С. Курнакова в Минералогическом обществе в 1880 г.

По окончании курса по заводскому отделению со званием горного инженера Н.С. Курнаков был оставлен при институте для занятий в химической лаборатории, а в 1882 г. был командирован на алтайские заводы для исследования операций по выплавке меди, свинца и серебра. В следующий год он выехал за границу с целью изучения соляного дела, металлургии и пробирного искусства. Здесь Н.С. Курнаков работал в лабораториях и слушал курсы в Фрейбергской академии; лето 1884 г. он посвятил подробному исследованию солеваренных заводов. Результатом заграничной командировки явилась диссертация Н.С. Курнакова «Испарительные системы соляных варниц», представленная им в 1895 г. для получения звания адъюнкта по кафедре металлургии, галургии (соляного дела) и пробирного искусства.

С 1885 по 1893 г., будучи адъюнктом, Н.С. Курнаков руководил практическими занятиями студентов по горнозаводскому техническому анализу, пробирному искусству и читал лекции по соляному делу, технологии топлива и горючих материалов, а также по общей металлургии. После защиты диссертации «О сложных металлических основаниях» в 1893 г. последовало назначение Н.С. Курнакова профессором кафедры неорганической химии. Через шесть лет он стал заведующим кафедрой аналитической химии и химической лабораторией Горного института. С этого момента начинается особенно кипучая научно-педагогическая деятельность Н.С. Курнакова. По его предложению пробирная лаборатория Горного института была переведена в новое, специально приспособленное помещение и значительно расширилась. В 1899 г. он организовал преподавание физической химии в Электротехническом институте. При уч-

реждении Петербургского политехнического института Н.С. Курнаков, вместе с профессорами Д.И. Менделеевым, Н.А. Меншуткиным и П.И. Вальденом, участвовал в разработке вопросов, связанных с устройством в нём лаборатории и преподаванием химии. В 1902 г. он был приглашён занять здесь кафедру общей химии, которой руководил до 1930 г. Химическая лаборатория Политехнического института, как по своим размерам, так и по своему оборудованию была одной из самых значительных лабораторий в России.

Научная деятельность Н.С. Курнакова была тесно связана с его педагогической работой в Горном, Электротехническом и Политехническом институтах. В их химических лабораториях началась и успешно развивалась его научно-исследовательская деятельность. Последнюю Н.С. Курнаков всегда рассматривал как свой общественный долг; он постоянно заботился о расширении научных исследований путём привлечения к этой деятельности всё новых и новых сил. В своих лекциях, практических занятиях, и в особенности при руководстве дипломными работами студентов, Н.С. Курнаков будил в студентах любовь к научно-исследовательской работе.

В своей деятельности Н.С. Курнаков умело сочетал теорию и практику, интересы науки и промышленности. Он являлся не только выдающимся представителем химической науки в России, но и большим знатоком ряда отраслей промышленности, с которыми был связан на протяжении всей своей жизни. Так, в течение летних месяцев 1894-1898 гг. Н.С. Курнаков совершил ряд поездок на крымские соляные озёра для исследования лечебных грязей, в Донецкий бассейн для собирания проб гремучего воздуха и газов из каменноугольных копей; в 1896 г. он получил назначение в качестве эксперта по группе цветных металлов на Всероссийскую промышленную и художественную выставку в Нижнем Новгороде, а в 1898 г. был командирован в Германию и Францию для ознакомления с устройством испытательных станций и для изучения методов исследования гремучего газа каменноугольных копей; летом 1900 г. Н.С. Курнаков был командирован в Париж делегатом на международные конгрессы по химии и горному делу, а также членом комиссии экспертов Парижской всемирной выставки; в 1910 г. он руководил совещанием по аффинажу русской сырой платины; в 1913 г. состоял председателем комиссии для экспериментального исследования взрывчатых свойств каменноугольной пыли из рудников Донецкого бассейна; в 1916 г. принимал участие в работах Петроградского химического завода Военно-промышленного комитета. В 1918 г. Н.С. Курнаков основал Карабогазский комитет для всестороннего научного и промышленного изучения Карабогаза (залив в восточной части Каспийского моря); в 1921 г. он организовал мощную экспедицию в Карабогаз. В.И. Ленин проявил глубокий интерес к Карабогазу и идеям Н.С. Курнакова по освоению этого самого мощного в мире источника глауберовой соли, благодаря чему было произведено всестороннее изуче-

ние Карабогазского залива, положившее начало его промышленному использованию. В 1937 г. Н.С. Курнаков создал при Каспийской комиссии Академии наук СССР Карабогазский сектор для выработки мероприятий по сохранению возможностей получения сульфата в Карабогазе, в частности, в неблагоприятных условиях.

В 1928 г. Н.С. Курнаков был делегирован от СССР на торжество в честь знаменитого французского учёного Вертело в Париж и на съезд по организации Международной химической ассоциации. В 1930 г. он участвовал в работе Международного съезда по прикладной химии в Барселоне.

За свою плодотворную научно-техническую деятельность Н.С. Курнаков был избран почётным членом многих отечественных и иностранных обществ и научных организаций. В 1908 г. советом Электротехнического института он был избран почётным членом института и членом совета. В 1912 г. был избран членом русского отдела Международной комиссии по номенклатуре неорганических соединений. В связи с 80-летием Н.С. Курнакова Всесоюзное химическое общество им. Д. И. Менделеева избрало его своим почётным членом.

В 1913 г. Академия наук избрала Н.С. Курнакова ординарным академиком.

В 1930 г. Н.С. Курнаков получил первую Менделеевскую премию за труды по химии; в 1939 г. он был награждён орденом Трудового Красного Знамени за достижения в области химии.

80-летие Н.С. Курнакова отмечено правительством СССР присуждением ему звания заслуженного деятеля науки СССР. В 1941 г. ему была присуждена Сталинская премия за работы по физической химии и труд «Введение в физико-химический анализ», опубликованный в 1940 г.

19 марта 1941 года Н. С. Курнаков скончался.

Работы Н. С. Курнакова, число которых превышает 200, касаются самых разнообразных вопросов как теоретической, так и практической химии.

Первый период своей научно-исследовательской деятельности (1891-1902 гг.) Н.С. Курнаков посвятил изучению вопросов, связанных со строением и свойствами так называемых комплексных соединений, принадлежащих к той группе веществ, которые образуются не из простых молекул, а из групп соединившихся друг с другом молекул.

Он открыл ряд новых соединений платины и установил чрезвычайно важную закономерность, дающую возможность при помощи реакции с тиомочевинной определить внутреннее строение ряда комплексных соединений двухвалентной платины.

Работами Н.С. Курнакова во второй период его деятельности, связанными с изучением металлических сплавов, открылась новая блестящая страница в истории развития металлографии. Работы Н.С. Курнакова по изучению металлических сплавов вскрыли ряд весьма важных закономерностей, объясняющих как поведение металлов при их сплавлении,

так и предопределяющих физико-химические и механические свойства полученных сплавов. Они привели к значительным выводам общетеоретического характера. Определение понятия химического соединения, развитие учения о химической диаграмме «состав – свойство» и создание нового отдела общей химии — «физико-химического анализа» представляют собой основные достижения творческой работы Н. С. Курнакова в этой области.

Уже в одной из первых своих работ по металлическим сплавам Н.С. Курнаков сформулировал интереснейший вопрос: какова природа фаз, выделяющихся при застывании расплавленных металлических сплавов, и тесно с ним связанный вопрос о том, что такое «химический индивидуум» — вопрос, который постоянно интересовал Н.С. Курнакова и который привлекает внимание всех химиков вообще.

Несомненно, что унаследованные от прошлого границы химии, заключающие её в область постоянных величин, оказываются узкими. Развивая эту критическую оценку предыдущего развития химии, Н.С. Курнаков поставил вопрос: имеем ли мы право, руководствуясь понятием о целых числах, устанавливать пределы для экспериментального изучения химической природы тел и ограничивать область соединений телами постоянного состава?

Обращаясь к исследованию тел переменного состава, и в первую очередь металлических сплавов, Н.С. Курнаков совместно со своим ближайшим сотрудником С.Ф. Жемчужным приступил к разработке новых методов исследования, открывающих возможность систематически изучать эти новые области, недоступные для обычных приёмов химического наблюдения.

Очень важным и существенным шагом вперёд явилось усовершенствование метода так называемого «термического анализа» введением в лабораторную практику термоэлектрического регистрирующего пирометра системы Н.С. Курнакова.

Руководящей идеей исследований Н.С. Курнакова явилась мысль о необходимости систематического изучения связи между химическим составом тел и их измеримыми физическими свойствами. Собранный им обширный экспериментальный материал вскрыл наличие определённых соотношений между химическим составом и электропроводностью, внутренним трением, твёрдостью и т.д. Так, например, было установлено, что образование твёрдых металлических растворов сопровождается увеличением твёрдости, давления истечения, электросопротивления и, наоборот, понижением электропроводности. Применение этих новых методов исследования существенно расширило и пополнило представления о природе и свойствах металлических сплавов. С течением времени в круг изучения стали вводиться и другие свойства сплавов — коэффициент линейного расширения, температурные коэффициенты электропроводности и электросопротивления, тепловое расширение, электродвижущие силы,

магнитные измерения, механические испытания, рентгенографические исследования и пр. Изучение многих из указанных свойств продолжается учениками и последователями Н.С. Курнакова и по сие время.

Открытие Н.С. Курнаковым соотношения между химическим составом и рядом физических свойств подсказало ему прекрасную мысль отобразить эту связь в геометрической форме. Так была создана диаграмма «состав-свойство», в которой эта связь нашла наглядное графическое выражение. Диаграмма «состав-свойство» представляет собой графическое изображение той сложной функции, которая определяет отношение между составом и свойствами однородных тел (фаз), образующихся в системе. Не зная в большинстве случаев алгебраического уравнения этой функции, мы, однако, можем выразить точно эти взаимоотношения не только качественно, но и количественно.

Химическая диаграмма «состав-свойство» является замкнутым комплексом точек, линий и поверхностей. Все детали процесса химического взаимодействия, например, появление новых фаз и тех или иных соединений, образование жидких и твёрдых растворов — находят своё точное и определённое отражение в характере точек, линий и поверхностей, образующих данную диаграмму. И наоборот, геометрические особенности такой диаграммы открывают возможность предсказывать особенности химических взаимодействий веществ, образующих известную систему. Этим самым, говорил Н. С. Курнаков, «химия получает международный геометрический язык, аналогичный языку химических формул, но гораздо более общий, так как он относится не только к определённым соединениям, но ко всем химическим превращениям».

Так был создан Н.С. Курнаковым новый отдел общей химии — физико-химический анализ, основной целью которого является исследование соотношений между химическим составом и измеримыми на опыте свойствами систем.

Физико-химический анализ, созданный трудами Н.С. Курнакова, дал в руки исследователя мощное орудие для определения таких тонких различий в состоянии изучаемых тел, которые были совершенно недоступны для обычно применявшихся приёмов химического исследования. Особенно продуктивным оказалось применение метода физико-химического анализа для разрешения вопроса о природе химического индивидуума, выдвинутого Н.С. Курнаковым.

Исследуя растворы и вещества переменного состава, Н. С. Курнаков обратил внимание на тот факт, что на диаграммах «состав-свойство» таких веществ появляется особая сингулярная точка, лежащая на изломе кривой, графически выражающей связь химического состава и свойства. Эта сингулярная точка соответствует вполне определенному химическому составу, и её положение на диаграмме всегда одно и то же, независимо от того, какое из свойств изображено на диаграмме. Состав, отвечающий сингулярной точке, остающийся неизменным, или инвариантным, для

всех свойств исследуемого вещества, служит характеристикой определённого соединения, подчиняющегося закону кратных отношений Дальтона. Их поэтому можно было бы назвать дальтоновскими точками. Таким образом, не состав вещества характеризует определённое соединение, так как он, вообще говоря, является переменным, а постоянный состав, отвечающий сингулярной точке на диаграмме «состав-свойство» этого вещества.

Все работы Н.С. Курнакова по металлическим сплавам характеризуются одной примечательной особенностью: все они являются примером сочетания глубокой теории с насущными вопросами практики.

Классификация металлоидов на соединения бертоллеговского и дальтоновского типов, установление сингулярных элементов химической диаграммы и нахождение зависимости между свойствами и составом равновесных систем являются одинаково важными как для теории металлических сплавов, так и для практического применения их в различных областях техники.

Установление Н.С. Курнаковым влияния факта образования твёрдых растворов на понижение электропроводности и её температурного коэффициента сыграло огромную роль в дальнейшей судьбе развития техники получения реостатных сплавов. Нахождение новых сплавов, обладающих высоким электросопротивлением и ничтожным, почти нулевым, температурным коэффициентом, становится с этих пор предметом не грубого эмпиризма, а научного исследования.

Показанная в ряде работ Н.С. Курнакова связь между изменениями состава и механическими и другими техническими свойствами твёрдых растворов послужила надёжным основанием для выбора и отыскания металлических сплавов, необходимых для удовлетворения разнообразных технических требований.

В связи с практическим освоением рассолов Карабогазского залива Н.С. Курнаков совместно с С.Ф. Жемчужным изучает взаимную водную систему (при 0° и 25°C) «хлористый натрий – серномагниева соль». На основе этих исследований он дал классическую диаграмму равновесий, которой широко пользуются при решении вопросов, связанных не только с проблемой использования Кара-Богаз-Гола, но и многих других сульфатных озёр Союза. В ней нашли отображение общая картина соляных превращений, условия кристаллизации различных солей, границы их устойчивого существования. Она указала путь к познанию генезиса соляных отложений в природе и дала в руки техники надёжное средство для выделения отдельных веществ в чистом состоянии.

Н.С. Курнаковым был поднят большой вопрос об отечественном калии. Ещё в 1916 г. на заседании физико-математического отделения Академии наук Н.С. Курнаков доложил о результатах первых анализов образцов калиевых солей и высказал мысль, что на севере, в Соликамске, мы, несомненно, имеем дело с силвинитовыми отложениями. В следующем году

он писал, что «нахождение калиевых соединений в Соликамских отложениях имеет не только научное, химическое и минералогическое значение, но может представить и большой промышленный интерес». Поставленные после Октябрьской революции разведки на калий в Соликамске привели к открытию месторождения мирового значения. Благодаря также трудам Н.С. Курнакова в настоящее время можно говорить уже о реальных возможностях получения калия в больших промышленных масштабах и в Урало-Эмбенском районе в Казахстане.

Для выяснения ряда вопросов, связанных с эксплуатацией и переработкой калиевых солей, Н. С. Курнаковым был проведён ряд работ по изучению равновесий соответствующих солевых систем. Под его руководством был начат ряд работ по изучению борнокислых соединений и условий их образования в связи с открытием отложений боратов в Индерском районе.

Открытие отечественных месторождений калия поставило перед Н.С. Курнаковым вопрос, тесно связанный с использованием калиевых солей, об изучении фосфорно-аммиачно-калиевых концентрированных удобрений. Его исследования дали разрешение вопроса о внесении в почву удобрений в легко усвояемой форме.

В научную практику соляного дела Н.С. Курнаков ввёл особый ряд специальных полевых экспедиционных исследований, во время которых проводятся наблюдения физико-химического характера над соляными водоёмами, сопровождаемые последующими лабораторными исследованиями. Они оказались чрезвычайно плодотворными в познании жизни соляных водоёмов и путей их промышленного освоения.

Н.С. Курнаков был одним из непревзойдённых знатоков соляного дела в нашем Союзе. Он всегда отдавал себя целиком делу исследования и строительства этой важной области народного хозяйства. Он собрал вокруг себя большие научные кадры учеников и последователей, с честью продолжающих начатое им дело. Н.С. Курнаков вооружил их надёжным научным методом — «физико-химическим анализом», позволяющим рассматривать и разрешать сложные теоретические и практические вопросы путём всестороннего изучения объекта исследования через его диаграммы «состав-свойство», рисующие границы существования и свойства отдельных веществ, подлежащих рассмотрению в зависимости от физических и химических факторов равновесия.

Этот метод и впредь будет являться надёжным орудием при разрешении сложных вопросов как теоретического, так и практического характера, выдвигаемых потребностями нашей Родины.

Посредине центральной стены — всеми узнаваемый портрет великого русского химика Дмитрия Ивановича Менделеева.

Менделеев Дмитрий Иванович — русский ученый, гениальный химик, физик, исследователь в области метрологии, гидродинамики, гео-

логии, глубокий знаток промышленности, приборостроитель, экономист, воздухоплаватель, педагог, общественный деятель и оригинальный мыслитель.

Великий ученый родился в 1834 году, 8 февраля, в Тобольске. Отец Иван Павлович был директором окружных училищ, мать Мария Дмитриевна занималась воспитанием детей и домашним хозяйством.

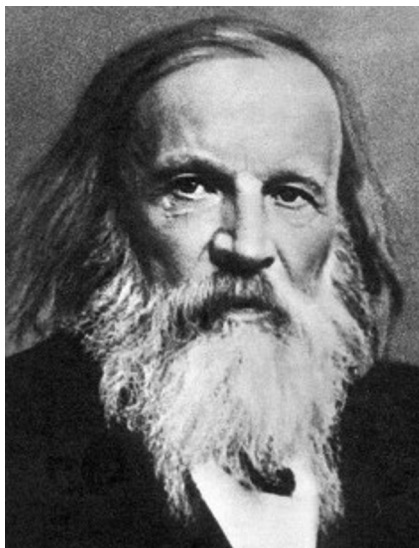
Любовь к науке прививала мать, она же участвовала в формировании его характера. Мария Дмитриевна увезла сына учиться в Петербург.

В 1850 году в Петербурге юноша поступает в Главный пединститут на отделение естественных наук физмата. Его преподавателями были профессора Э. Х. Ленц, А. А. Воскресенский и Н. В. Остроградский.

В 1855-м Дмитрий получает диплом с золотой медалью и направление в Симферополь. Здесь он работает старшим учителем гимназии. С началом Крымской войны Менделеев перебирается в Одессу и получает должность преподавателя в лицее.

В 1856-м он снова в Петербурге. Учится в университете, защищает диссертацию, преподает химию. Осенью защищает еще одну диссертацию и назначается приват-доцентом университета.

В 1859-м Менделеева отправляют в командировку в Германию. Работает в университете Гейдельберга, обустраивает лабораторию, исследует капиллярные жидкости. Здесь им были написаны статьи «О температуре абсолютного кипения» и «О расширении жидкостей», открыто явление «критическая температура».



Дмитрий Иванович МЕНДЕЛЕЕВ.

В 1861-м ученый возвращается в Петербург. Создает учебник «Органическая химия», за что удостоивается Демидовской премии. В 1864-м он уже профессор, а спустя два года возглавляет кафедру, преподает и работает над «Основами химии».

В 1869-м представляет периодическую систему элементов, совершенствованию которой посвятил всю жизнь. В таблице Менделеев представил атомную массу девяти элементов, позднее добавил в свод группу благородных газов и оставил место для элементов, которые еще предстояло открыть. В 90-е годы Дмитрий Менделеев внес свой вклад в открытие явления радиоактивности. Периодический закон включал в себя доказательства связи свойств элементов и их атомного объема. Теперь рядом с каждой таблицей химических элементов находится фото первооткрывателя.

В 1865 – 1887 годах разрабатывает гидратную теорию растворов. В 1872-м начинает изучать упругость газов, спустя два года выводит уравнение идеального газа. Среди достижений Менделеева этого периода – создание схемы дробной перегонки нефтепродуктов, применение цистерн и трубопровода. При содействии Дмитрия Ивановича сжигание черного золота в топках полностью прекратилось. Фраза ученого «Сжигать нефть все равно, что топить печку ассигнациями» стала афоризмом.

В 1890-м ссора с высокопоставленным чиновником стала причиной ухода Менделеева из университета. В 1892-м химик изобретает методику получения бездымного пороха. Одновременно с этим его назначают хранителем Депо образцовых мер и весов. Здесь он возобновляет прототипы фунта и аршина, занимается вычислениями по сравнению русских и английских эталонов мер.

По инициативе Менделеева в 1899 году факультативно вводится метрическая система мер. В 1905, 1906 и 1907 годах ученого выдвигают кандидатом на Нобелевскую премию. В 1906-м году Нобелевским комитетом премия присуждается Менделееву, но Королевская академия наук Швеции это решение не подтвердила.

Менделеев, являющийся автором более чем полутора тысяч трудов, имел огромный научный авторитет в мире. За свои заслуги ученый был удостоен многочисленных научных званий, российских и зарубежных наград, был почетным членом ряда научных обществ на родине и за границей.

С именем Дмитрия Менделеева связано множество интересных фактов биографии. Помимо деятельности ученого, Дмитрий Иванович занимался промышленной разведкой. В 70-е годы в США начался расцвет нефтяной промышленности, появились технологии, которые удешевили производство нефтепродуктов. Российские производители стали терпеть убытки на международном рынке из-за неспособности конкурировать по цене.

В 1876 году по ходатайству министерства финансов России и «Русского технического общества», сотрудничавшего с военным ведомством, Менделеев отправился за океан на выставку технических новинок. На месте химик изучил новаторские принципы изготовления керосина и других нефтепродуктов. А по заказанным отчетам железнодорожных служб Европы Дмитрий Иванович попытался расшифровать метод изготовления бездымного пороха, что ему и удалось.

У Менделеева было хобби — изготавливать чемоданы. Ученый шил себе одежду.

Ученому приписывают изобретение водки и самогонного аппарата. Но на самом деле Дмитрий Иванович в теме докторской диссертации «Рассуждение о соединении спирта с водою» изучил вопрос уменьшения объема смешиваемых жидкостей. В работе ученого не было и слова о водке. А стандарт в 40° был установлен в царской России еще в 1843 году.

Придумал герметические отсеки для пассажиров и пилотов.

Существует легенда, что открытие периодической системы Менделеева произошло во сне, но это миф, созданный самим ученым.

Сам скручивал папиросы, используя дорогой табак. Говорил, что никогда не бросит курить.

Открытия

Создал управляемый аэростат, который стал неоценимым вкладом в воздухоплавание.

Разработал периодическую таблицу химических элементов, ставшую графическим выражением закона, установленного Менделеевым в ходе работы над «Основами химии».

Создал пикнометр – прибор, способный определять плотность жидкости.

Открыл критическую температуру кипения жидкостей.

Создал уравнение состояния идеального газа, устанавливающее зависимость между абсолютной температурой идеального газа, давлением и молярным объемом.

Открыл Главную палату мер и весов – центральное учреждение Министерства финансов, заведовавшее поверочной частью Российской империи, подчинявшееся отделу торговли.

Следующий за портретом великого Д.И.Менделеева, справа от него, если смотреть на портреты из зала — портрет выдающегося российского и советского металлурга и металловеда, Героя Социалистического труда академика Александра Александровича Байкова, чье имя носит наш Институт металлургии и материаловедения Российской академии наук в Москве, на Ленинском проспекте 49.



Академик Александр Александрович БАЙКОВ.

Александр Александрович Байков, химик и металлург, в течение почти сорока лет профессор Санкт-Петербургского (Ленинградского) политехнического института, составляет славу отечественной науки. Труд ученого отмечен множеством самых высоких почетных званий и наград его времени. Он член-корреспондент, а затем действительный член АН СССР, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, лауреат Сталинской премии, Герой Социалистического Труда. Он награжден тремя орденами Ленина, двумя — Трудового Красного Знамени, несколькими медалями, среди которых и медаль «За оборону Ленинграда».

Трудно перечислить все должности, которые занимал А.А. Байков, оставаясь профессором и ректором Политехнического института. С 1923 года он занимал пост старшего метролога Всесоюзного Научно-исследовательского института Метрологии (тогда Главной палаты мер и весов), а с 1925 года — заведующего химической лабораторией, председателя комитета эталонов и стандартов. В 1926 году его привлекли к работе в ГИПРОМЕЗ (Государственный институт по проектированию металлургических заводов) сначала как консультанта, а затем - председателя технического Совета. Одновременно А.А. Байков состоял председателем Ассоциации научно-исследовательских учреждений черной металлургии. В 1927 году А.А. Байкова назначили директором Института Металлов.

Более подробно о жизни и научной деятельности А.А. Байкова рассказано в статье Н.С. Шумилкина «Академик Александр Александрович Байков»

В углу, по центральной стене, самый правым, если смотреть из зала, является портрет военного, выдающегося русского металлурга, генерал-майора службы Горных инженеров, Томского гражданского губернатора Павла Петровича Аносова.

Один из первых ученых России, Павел Петрович Аносов вошел в историю науки и техники как основоположник учения о стали и родоначальник высококачественной металлургии. Ему принадлежит приоритет в открытии утраченного некогда секрета производства булатной стали. Огромен его вклад в развитие горного дела, металлургии (в том числе литой и сварочной стали), металлографии, золотодобычи, геологии и ряда других научно-технических направлений и производств.

Творческий путь П.П. АНОСОВА

Павел Петрович Аносов родился в 1799 г. (число и месяц не установлены) в Санкт-Петербурге в семье коллежского асессора. Отец его служил в Берг-коллегии (впоследствии реорганизованной в Горный департамент), с 1806 г. он советник Пермского горного управления. Вскоре после переезда на Урал родители Аносова умерли, детей, в том числе Павла, взял на воспитание дед по материнской линии Л.Ф. Сабакиц — известный русский механик, работавший на Ижевском и Боткинском казенных заводах. В 1810 г. он определил 11-летнего Павла в Санкт-Петербургский Горный кадетский корпус на «казенно-коштное место». Это учебное заведение было основано по указу Екатерины II от 21 октября 1773 г. как Горное училище, приравненное к академиям и подведомственное Берг-коллегии. В 1804 г. оно преобразовано в Горный кадетский корпус, а в 1833 г. — в Институт корпуса горных инженеров. (Интенсивно развивающаяся горная промышленность на Урале и в Сибири испытывала потребность в высококвалифицированных кадрах.)



Павел Петрович АНОСОВ.

Воспитанники Горного кадетского корпуса получали хорошее образование: они изучали арифметику, алгебру, геометрию, маркшейдерское дело, минералогию, металлургию, рисование, химию, механику, физику, французский, немецкий и латинский языки. При Александре I их обучали музыке, танцам, фехтованию, водили в Эрмитаж, Кунсткамеру, Академию художеств. Много времени отводилось практическим занятиям по химии, физике, промывке различных руд. Во дворе учебного заведения был построен «рудник» с подземными ходами и выработками, а в его мастерских и на Санкт-Петербургском монетном дворе учащиеся сами плавилы металлы. Коллекции Горного корпуса постоянно пополнялись новыми уральскими и сибирскими минералами, редкими самородками золота. Здесь хранилась малахитовая глыба, оцененная небывалой по тем временам суммой в 425 тыс. руб., а также найденный на Нижнетагильской даче платиновый самородок весом 10 фунтов 54 золотника (4,33 кг). Среди образцов было немало изделий и полуфабрикатов металлургического производства: идеально ровное по толщине листовое железо, бритвы, столовые приборы, предметы высокохудожественного литья.

Внимание Аносова особенно привлекало искусно выделанное холодное оружие: здесь было немало черкесских и турецких сабель, римских мечей с замысловатой рисовкой, изготовленных из редких сортов стали. Его поражали булатные сабли с чудесными узорами. На вопросы, каким образом удавалось древним мастерам изготавливать булатное оружие с узорами, преподаватели неизменно отвечали: «Секрет булата утерян!» Будущего ученого и мастера не оставляла мысль разгадать его, об этом он думал по ночам, читая книги о рыцарях, вооруженных булатным оружием. Однажды среди ночи, взяв свечу, он направился в зал к витрине, где находились булатные клинки. Долго смотрел на них и, опустившись в кресло, заснул. Проснулся от шума, поднятого служителем. Возле него стоял инспектор классов. Утром Аносову пришлось держать ответ перед директором корпуса А.Ф. Дерябиным. Тот был человеком рассудительным, уважал воспитанников, а инспектору сказал: «Мы не можем наказывать юношу. Он увлечен вопросом, разрешение которого сделало бы нашей стране честь».

Учился Аносов легко, был в первой пятерке лучших учеников. У него хватало времени на занятия в научных кабинетах, на чтение и игры, он увлекался также рисованием, принимал участие в любительских спектаклях, где пьесы ставились на иностранных языках. В октябре 1816 г. Аносова произвели в унтер-офицеры, а в 1817 г. он с отличием завершил учебу и был выпущен из Горного кадетского корпуса практикантом в действительную службу. За успехи, «оказанные им при испытаниях», его наградили Большой золотой и Серебряной медалями, книгами, эстампами. Награждение Большой золотой медалью сопровождалось выдачей 500 руб. «на обзаведение». Его первым приобретением стал микроскоп. Павел, конечно, знал, что его великий соотечественник М.В. Ломоносов

для своих химических исследований впервые применил микроскоп, и, предвидя характер своей работы, обзавелся таким же прибором.

В ноябре 1817 г. П.П. Аносов был направлен на заводы Златоустовского горного округа (Южный Урал) — там ему предстояло выполнить дипломную работу. По положению того времени воспитанники Горного кадетского корпуса выпускались «не прямо на действительную службу офицерскими чинами, как было прежде, но со званием практикантов. В этом звании они должны были оставаться два года, употребляя это время на осматривание рудников и заводов и для приучения себя к служебному порядку». Лишь после отчетов по дипломной работе практикантов зачисляли на постоянную службу. Результаты своих наблюдений выпускник обобщил в дипломной работе «Систематическое описание горного и заводского производства Златоустовского оружейного завода, составленное практикантом П. Аносовым, 1819 года».

В Златоустовский горный округ входили тогда чугуноплавильные и железоделательные заводы: Златоустовский с фабрикой белого (холодного) оружия, Саткинский, Кусинский и Артинский, а также Миасские золотые прииски и недействующий Миасский медеплавильный завод. Центром горного округа был Златоустовский завод на речке Ай, основанный в 1754 г. тульским купцом-заводчиком Масоловым. В 1811 г. Златоустовский заводской поселок переименовали в город Златоуст.

В 1819 г. Павла Петровича назначили смотрителем Златоустовской оружейной фабрики «по отделению украшенного оружия», где он сразу же принялся за усовершенствование производства. Первое его нововведение — создание более эффективных цилиндрических воздуходувных мехов. Плодотворная деятельность молодого специалиста обратила на себя внимание Департамента горных и соляных дел: в 1824 г. его назначают управителем оружейной фабрики, а с 1829 г. он уже помощник директора фабрики. С этого времени начинаются его систематические исследования в области металлургии, публикуются научные труды по геологии Южного Урала и по термической обработке стали. В 1826 г. выходит его труд «Геогностические наблюдения над Уральскими горами, лежащими в округе Златоустовских заводов», затем две работы по термической обработке стали: «Описание нового способа закалки стали в сгущенном воздухе» (1827) и «Об опытах закалки стальных вещей в сгущенном воздухе, произведенных в 1828 и 1829 гг.» и статья «Об уральском корунде» (1829).

Златоустовская оружейная фабрика изготавливала сабли типа дамасских, известные больше под названием «турецкие». Аносов убедился, что качество этих сабель, вывезенных с Востока, значительно выше так называемых дамасских, производившихся в Европе и на Златоустовской оружейной фабрике, и пришел к выводу, что искусство их изготовления «составляет по сие время загадку для ученых и художников Европы». Аносов ищет ключ к разгадке: изучает образцы подлинных дамасских са-

бель, литературные источники и приходит к мысли, что необыкновенная острота восточных сабель в большей степени зависит от способов закалки, чем от материала, из которого они изготовлены. Его предположение подтвердилось: опыты по закалке обыкновенных стальных ножей в сгущенном (сжатом) воздухе заводских цилиндрических мехов показали, что эти ножи стали острее тех, которые закаливались обычным способом. Аналогичным образом Аносов произвел закалку кос, производимых на Артинской фабрике, и получил такие же результаты: эти косы не только легко косили сухую траву, но, по его сообщению, и «березовые кусты не могли противостоят остроте лезвия их». Способы закалки стальных изделий в сгущенном воздухе явились основой дальнейших исследований Аносова по термической обработке булатной (дамасской) стали.

В 1831 г. Павла Петровича назначают директором оружейной фабрики и одновременно возлагают на него обязанности главного начальника заводов Златоустовского горного округа. Перед ним открываются широкие возможности для проведения исследований и опытов по раскрытию технологических секретов булатной стали. Изыскания, начатые им в 1828 г., продолжались в общей сложности 10 лет и блестяще были завершены к концу 1838 г.

На Златоустовской оружейной фабрике применялся старый, традиционный способ получения сварочного железа, в основе которого лежал процесс передела чугуна в сталь в кричных горнах с последующей обработкой криц под молотами. Аносов отказался от производства булата из сварочного железа и создал при фабрике цех тигельной литой стали, имевшей большие преимущества перед сварочной. При этом способ изготовления литой стали из предварительно цементированного железа путем науглероживания его твердым углеродом, применявшийся на Западе и на некоторых отечественных заводах, Аносов заменил своим, совершенно новым приемом науглероживанием железа в газовой среде, содержащей окись и двуокись углерода. Производственный процесс при этом состоял в соединении цементации и плавки в открытом тигле, расположенном в древесно-угольном горне, в результате чего ускорялся процесс проникновения (диффузии) углерода в расплавленный металл. Такой способ изготовления литой высокоуглеродистой стали имел огромное научное и практическое значение, он получил широкое распространение в отечественной и мировой промышленности.

Исследования и эксперименты ученого-металлурга позволили научно обосновать процессы химико-термической обработки стали при газовой цементации жидкого металла. Благодаря многим своим технико-экономическим преимуществам газовая цементация до сих пор широко применяется в металлургии стали. В процессе освоения тигельного производства стали Аносов прошел все ступени этой новейшей технологии. Для плавки литой стали по новому способу он построил на оружейной фабрике особый корпус, где находились сконструированные им специальные камерные

воздушные печи, которые позволяли достигать необходимой для расплавления стали температуры.

В результате проделанной работы Павел Петрович решил очень важную для своего времени проблему изготовления плавильных тиглей: они должны были обладать высокой огнестойкостью и прочностью. Златоустовский завод такие тигли выписывал с предприятий немецкого местечка Пассау по дорогой цене 25 руб. за штуку. Переход на более дешевые отечественные тигли был принципиально необходим, ибо таким образом оправдывалась экономическая целесообразность предложенного Аносовым способа. Огнестойкость пассауских тиглей определялась наличием графита в глине, из которой они производились. В Златоусте же графита не оказалось, и Аносов со своими помощниками разработал собственный рецепт изготовления огнеупорных тиглей. Тигельная смесь состояла из десяти частей огнестойкой челябинской глины, пяти частей истолченных в порошок бывших в употреблении и предварительно очищенных от шлака горшков и пяти частей древесно-угольного мусора, просеянного сквозь сито. Златоустовские тигли оказались более огнестойкими, чем пассауские, и обходились всего в 44 коп. за штуку. Для пресования тигельной смеси Аносов построил специальный пресс и медную форму.

Еще в 1825 г. во время геологических поисков он обнаружил около озера Большой Еланчак, в 15 верстах от Миасса, месторождения графита. Позднее графит был испытан и оказался лучше известного кумберландского, который Златоустовский завод приобретал в Англии. Благодаря усилиям этого замечательного и разностороннего специалиста в Златоустовском горном округе были найдены и другие месторождения графита.

Выплавляемая в отечественных тиглях по способу Аносова литая сталь отличалась высокими свойствами и ничем не уступала знаменитой английской. С 1830 г. Златоустовский завод приступил к широкому производству литой тигельной стали для отечественной промышленности. Уже в 1833 г. завод получил 1660 пудов литой стали, а за период с 1830 по 1836 г. произвел 4600 пудов. Большая часть этого металла использовалась местной оружейной фабрикой для выделки холодного оружия (мягкая сталь), но сталь направлялась также на Артинский завод для изготовления кос, инструментов, рапир (средняя по твердости). Большим спросом она пользовалась на знаменитой Нижегородской ярмарке, а Екатеринбургский монетный двор охотно покупал ее для изготовления чеканов и матриц.

Аносов совершенствовал технологию изготовления литой тигельной стали в течение восьми лет, одновременно занимаясь разработкой способов получения булатной стали. Это был единый процесс: исследования, связанные с получением литой стали, подвели его вплотную к разгадке секрета булата. Итоги многолетней работы по литым сталям Павел

Петрович обобщил в опубликованной «Горным журналом» в 1837 г. работе «О приготовлении литой стали», а в 1841 г. там же был напечатан его труд «О булатах». Эта классическая работа получила широкую известность и была переведена на иностранные языки.

Дорога к тайнам булата была длительной и трудной. П.П. Аносов писал: «Чем более я знакомился с достоинством образцов, тем более убеждался, что первые успехи мои ничтожны и что переход от едва приметного узора до такой крупности, какая замечается на драгоценных клинках, составляет океан, который надлежало переплывать многие годы, не приставая к берегу и подвергаясь различным случайностям». Но он блестяще решил эту задачу. Масштабы и оригинальность его работ могли бы сделать честь любому исследователю наших дней, занятому разработкой совершенно новой, загадочной проблемы. Исследования Аносова по своей сути были новаторскими. При изучении исходных материалов и готовых изделий он в 1831 г. применил микроскоп. В мировой науке о металлах это был совершенно новый методологический подход. Известный английский ученый Генрих Сорби применил микроскоп для изучения микроструктуры стали и железных метеоритов лишь в 1864 г.

Постигая тайны булатных клинков, Аносов основное внимание уделял особенностям рисунка в различных сортах булатной стали. Тщательные исследования показали, что рисунок характеризует кристаллическое строение металла — «кристаллование», то есть связан с природой самого металла: «Наружные признаки — суть следствия химического состава и тех физических условий, которые более или менее благоприятствуют к принятию определенного вида, данного природою каждому роду тел». На этом основании Аносов выделил пять типов макроструктуры стали: полосчатый, струистый, волнистый, сетчатый и коленчатый. Лучшие по качеству — коленчатый и сетчатый; менее качественный булат имел полосчатый вид, у которого «узор состоит преимущественно из прямых, почти параллельных линий».

П.П. Аносовым впервые было введено в практику и распространено понятие о макроструктуре как о показателе качества металла, а также обосновано выявление макроструктуры травлением и применение микроскопа для изучения макроструктуры как метода исследования. Тем самым он внес огромный вклад в развитие металловедения. Ученый считал, что химический состав булатной стали (и основная примесь — углерод) является важным фактором, влияющим на ее свойства. Он работал также над проблемой влияния на свойства стали различных присадок металлов. Принимая во внимание опыты М. Фарадея, изучавшего влияние на сталь платины и алюминия, он считал, однако, что «сплавление стали с платиной не могло принести существенной пользы».

Результаты собственных исследований подтвердили эту точку зрения. Аносов изучал влияние марганца, кремния, хрома, титана, серебра, алюминия и платины на качество булатной стали и установил, что кремний

приводит к образованию в ней графита, марганец усиливает волокнистое строение, хром повышает твердость и улучшает полируемость, серебро понижает окисляемость, золото изменяет цвет стали. По существу, П.П. Аносов — зачинатель производства специальных сталей титановых, марганцевых, хромистых и других, в этом он значительно опередил своих современников.

В 1837 г. из выплавленного булата Павел Петрович изготовил первый клинок. С этого времени на Златоустовской фабрике началось массовое производство булатных сабель и шашек. Несколько их экземпляров отослали в Санкт-Петербург, где они произвели огромное впечатление. Об успехах Аносова доложили императору. 20 января 1837 г. главнокомандующий корпусом горных инженеров объявил «удовольствие царя за поднесенные первые образцы русского булата» (две сабли и одну «черкесскую» шашку). Одну из сабель преподнесли великому князю Михаилу Павловичу. Впоследствии ее передали в Эрмитаж, где она находится и сейчас.

В своей работе «О булатах», в завершающей ее части, П.П. Аносов пишет: «Оканчиваю сочинение надеждою, что скоро наши воины вооружатся булатными мечами, наши земледельцы будут обрабатывать землю булатными орудиями, наши ремесленники выделывать свои изделия булатными инструментами; одним словом, я убежден, что с распространением способов приготовления и обработки булатов они вытеснят из употребления всякого рода сталь, употребляемую ныне на приготовление изделий, требующих особенной остроты и стойкости». В 1836 г. он получил привилегию на изобретенную им литую сталь.

Работая над созданием булатов, выковывая свои знаменитые клинки, П.П. Аносов заложил основы науки о стали. Он оставил после себя плеяду талантливых металлургов, успешно продолживших его дело. Среди них А.С. Лавров, открывший важнейшие законы ликвации стали; Н.В. Калакуцкий — создатель теории определения внутренних напряжений в металле; А.А. Износков — организатор мартеповской плавки стали; П.М. Обухов — первооткрыватель метода массового производства стали высокого качества; Д.К. Чернов — выдающийся ученый в области металлургии, металловедения, термической обработки металлов, первооткрыватель критических температур, связанных с фазовыми превращениями стали при ее температурной обработке (точки Чернова).

П.П. Аносов еще и основоположник качественной металлургии в нашей стране, которая в настоящее время занимает видное место в производстве металлических материалов с заранее заданными свойствами, с чем неразрывно связан прогресс машиностроения и новой техники, развитие металлургической промышленности.

За достижения в области горно-металлургической промышленности, освоение ресурсов Урала и Сибири П.П. Аносов в 1825 г. был избран корреспондентом Ученого комитета по горной и соляной части, учрежденного

в Санкт-Петербурге, и членом Златоустовского горного ученого общества. В 1844 г. он стал членом-корреспондентом Казанского университета, а в 1846 г. его избрали почетным членом Харьковского университета «за труды по усовершенствованию горнозаводской части». В целом за труды «на пользу отечественной горной промышленности» П.П. Аносов получил четыре ордена.

В январе 1834 г. Павлу Петровичу присвоили звание полковника корпуса горных инженеров. В том же году им были обнаружены богатые золотосодержащие пески, на месторождении которых вскоре построили известный Андреевский рудник. Он разрабатывает способ плавки золотоносных песков в тиглях, домне и шахтной медеплавильной печи, а в 1838 г. на Атлянском руднике строится первый золотопромывальный станок Аносова — «самоходка».

1839 год в творческой жизни Аносова был исключительно плодотворным: Московское общество сельского хозяйства награждает его золотой медалью за усовершенствование производства кос на Златоустовских заводах, Департамент горных и соляных дел — знаком отличия за 20 лет службы, премией в 2 тыс. руб. серебром за сбережения на заводах 180 тыс. руб. и за увеличение промывки золота. Кроме того, ему объявлена благодарность «за успешное улучшение стальных изделий» и опубликован указ об употреблении на инструментные оружейных заводов литой стали, изготовленной по способу Аносова.

В последующие годы Павел Петрович, уже в чине генерал-майора Корпуса горных инженеров, проводит успешные работы по отысканию месторождений графита, совершенствует золотопромывальные машины и даже изобретает новую, устроенную на Миасских золотых промыслах, строит на Златоустовских заводах шесть железных и чугунных подъездных дорог, заканчивает проект по усовершенствованию отделения кричных молотов на фабрике. В начале 1847 г. его назначают Томским гражданским губернатором и главным начальником Алтайских горных заводов.

Через четыре года, 13 мая 1851 г., Павел Петрович скончался в Омске во время служебной командировки. Там же его и похоронили, и на средства его почитателей на могиле установили мраморный памятник и решетку.

Впервые идея о сооружении в Златоусте памятника выдающемуся россиянину высказывалась в связи со 100-летием со дня его рождения, но осуществилась она только в 1949 г., когда отмечалась юбилейная дата

150 лет со дня рождения П.П. Аносова. По проекту московских скульпторов А.П. Антропова и Н.Л. Штамма, архитектора Т.Л. Шульгиной в Златоусте был установлен величественный памятник, отлитый из бронзы. На высоком гранитном постаменте золотом выбита надпись: «Великому русскому металлургу Павлу Петровичу Аносову». Тогда же Совет Министров СССР поручил Президиуму Академии наук выпустить в свет

специальное издание трудов ученого и учредить в системе академии премию его имени. Собрание сочинений П.П. Аносова было издано в 1954 г. Премию имени П.П. Аносова, присуждаемую Президиумом Академии наук один раз в три года за лучшую работу в области металлургии стали, металловедения и термической обработки, одним из первых получил в 1957 г. доктор технических наук А.И. Скаков за работу «Качество железнодорожных рельсов», а в 1996 г. ею были удостоены доктора технических наук А.А. Ильин, Е.Н. Каблов (ныне академик РАН), К.Б. Поварова за цикл работ «Материаловедение конструкционных сплавов нового поколения на основе интерметаллических соединений».

На левой стене, если смотреть от входа в зал на сцену, в промежутках между окнами расположены три портрета выдающихся советских ученых, работавших в Институте: члена-корреспондента АН СССР И.Г.Одинга, академика АН СССР Н.Т.Гудцова и выдающегося русского и советского химика, академика АН СССР Э.В.Брицке.

Иван Августович Одинг — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент АН СССР, заслуженный деятель науки и техники родился 24 июня 1896 года.

И.А.Одинг — основоположник создания физических основ прочности материалов. Впервые осуществил междисциплинарный подход к решению проблем прочности и предложил новые пути упрочения материалов



Член-корреспондент АН СССР Одинг Иван Августович.

и управления их свойствами. Разработал оригинальные эффективные методы механических испытаний материалов.

С момента окончания И.А. Одингом Петроградского технологического института в 1921 году его деятельность неразрывно связана с наукой, промышленностью и подготовкой научных кадров.

До 1930 года он работал в промышленности, а с 1930 года стал профессором Ленинградского политехнического института, где проработал до 1942 года, затем его назначают заместителем директора института машиноведения Академии Наук СССР, на этой должности он работает с 1947 по 1953 год. С 1947 года — заместитель академика-секретаря отделения технических наук АН СССР. С 1953 года И.А. Одинг — руководитель лаборатории, а с 1955 года заместитель директора института металлургии АН СССР и, кроме того, он являлся председателем научно-технического совета Гостехники СССР. И.А. Одинг всегда уделял внимание научно-исследовательской работе. Им организован ряд заводских и научно-исследовательских лабораторий в вузах, где он преподавал.

Уже в ранние годы его научной деятельности в области изучения свойств крупных поковок и отливок и технологических свойств металла, а также в области прочности металлов, проведенные в организованной им лаборатории на заводе «Электросила», выдвинули Ивана Августовича в ряды ведущих ученых нашей страны.

Его тесная связь с промышленностью, непрерывная работа в качестве консультанта на крупнейших заводах в значительной мере содействовали развитию ряда отраслей отечественного машиностроения. За создание паровой турбины и генератора мощностью 100 тыс. кВт при 3000 об/мин., установленных на Челябинской ТЭЦ И.А. Одинг в 1946 году награжден Государственной премией 1 степени.

В годы работы на заводе «Электросила» И.А. Одинг занимался также созданием и анализом новых технологических процессов; он исследовал процессы холодной обработки металлов, сварки, термической обработки стали.

Иван Августович являлся образцом счастливого сочетания инженера-практика и ученого-теоретика. Его работы по изучению прочности металлов и металловедению хорошо известны как в СССР, так и за рубежом.

С 1953 и до последних дней своей жизни И.А. Одинг был заведующим кафедрой Технологии металлов в МЭИ, где вел большую научно-исследовательскую и педагогическую работу. Среди его выпускников много кандидатов и докторов наук.

И.А. Одинг являлся создателем теории усталости металлов, теории прочности. В книге «Прочность металлов» И.А. Одинг по-новому изложил курс металловедения, впервые приблизив его к нуждам машиностроения.

В книге «Основы прочности металлов паровых котлов, турбин и турбогенераторов» автор подытожил свои многочисленные работы по изучению

прочности деталей турбин и турбогенераторов, а также опыт ведущих металлургических и машиностроительных заводов в нашей стране и за рубежом.

Работы ИА. Одингга в области проблемы определения допускаемых напряжений в деталях машин и в вопросах природы прочности металлов обобщены в книге «Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов». Его дифференциальный метод определения допускаемых напряжений в деталях машин в настоящее время нашел широкое применение в различных отраслях машиностроения и включен в учебники по деталям машин.

Необходимо особо отметить многочисленные работы И.А. Одингга в области теории жаропрочности металлов. В этих работах он по-новому рассмотрел природу ползучести, длительной прочности и релаксации металлов, создав теорию ползучести и разрушения металлов. Предложенные им новые критерии прочности и ползучести металлов, а также разработанные им новые методы испытания металлов на ползучесть и релаксацию являются базой для определения прочностных характеристик металлов, работающих в условиях высоких температур

Труды Одингга И.А. и его учеников в области теории дислокаций, жаропрочности и циклической прочности не потеряли актуальности и в наши дни. Творческое наследие Одингга И.А. плодотворно сказалось на дальнейшем научном развитии научной мысли в этой области.

Правительство высоко оценило заслуги И.А. Одингга в развитии науки, производства и образования. Ему была вручена Государственная премия СССР в 1946 году, и он награжден 2 орденами Ленина, орденом «Знак Почета» и медалями. Одинг И.А. — автор более 200 научных работ и изобретений.

ГУДЦОВ Николай Тимофеевич (01(13).11.1885, г. Мещовск Калужской губ. — 29.01.1957, Москва). Крупнейший советский учёный-металловед, специалист в области строения, свойств, термической обработки и легирования стали. Академик АН СССР (1939). Заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Лауреат Сталинской премии (1943). Кавалер двух орденов Ленина, ордена Трудового Красного Знамени, ордена Красной Звезды.

Н.Т. Гудцов родился в семье учителя. В 1902 г. окончил курское реальное училище и поступил на металлургическое отделение только что основанного Санкт-Петербургского политехнического института. В годы учения Гудцова общеобразовательные и специальные курсы в институте читали профессора В.А. Кирпичёв, В.А. Кистяковский, Н.С. Курнаков, Ф.Ю. Левинсон-Лессинг, Н.А. Меншуткин, П.П. Федотьев. В первые же годы существования института во главе металлургического отделения становятся крупнейшие учёные России А.А. Байков (с 1902 г.), М.А. Павлов (с 1904 г.), В.Е. Грум-Гржимайло (с 1907 г.). Под их руко-



Академик Николай Тимофеевич ГУДЦОВ.

водством Н.Т. Гудцов получил всестороннее глубокое образование. В 1910 г. он защитил дипломную работу на тему «Исследование строения стали, нагретой до высоких температур» и был зачислен стипендиатом Политехнического института в лабораторию профессора А.А. Байкова, продолжая под его руководством исследования по металлографии стали. В течение всей жизни Н.Т. Гудцов сохранил интерес к этой области металловедения, что нашло выражение в его известных работах по жаропрочным сплавам и основанию вакуумной металлографии.

Тогда же, в 1912 г., он был избран членом Русского металлургического общества, участвовал в издании «Журнала Русского металлургического общества» и до конца жизни был активным участником и председателем оргбюро Всесоюзного научно-технического общества черной металлургии.

В 1913 г. Н.Т. Гудцов поступил на работу в лабораторию Путиловского завода. Под его руководством здесь были созданы хорошо оборудованные лаборатории металлографии и механических испытаний. Путиловский завод, один из передовых заводов России, в годы восстановления стал своеобразной творческой лабораторией по подготовке развёртывания отечественного машиностроения. На заводе осваиваются и создаются новые марки легированных сталей, разрабатываются новые методы термической обработки, строится первый механизированный чугунолитейный цех, ведутся исследования процессов плавки и разливки качественной стали.

Максимально приближенная к производству исследовательская деятельность предопределила главную особенность всего последующего творческого пути учёного – обусловленность получения новых знаний запросами практики. Основными направлениями изысканий Н.Т. Гудцова в период работы на производстве были исследования процессов плавки и разливки металла, создание новых марок легированной стали, совершенствование методов её термической обработки. Полученными результатами Николай Тимофеевич заявил о себе как талантливый и перспективный учёный. Его работы привлекли внимание ведущих металлургов и металловедов страны.

В 1928 г. Н.Т. Гудцов возглавил отделение металлографии Всесоюзного института металлов, основанного в 1919 г. Институт стал одной из первых научно-исследовательских организаций широкого профиля в области технических наук. В 1934–1935 гг. по его инициативе здесь была организована первая специальная лаборатория по изучению стального слитка.

Н.Т. Гудцов и возглавляемый им коллектив значительно расширили границы познания и в сфере фундаментальной науки, создания теоретических моделей, описывающих структуру и свойства металлов в различных фазовых состояниях. Он исследовал генезис тетрагональных решёток железа; разработал физические теории превращений в стали при охлаждении и деформации кристаллических тел; описал виды взаимодействия атомов железа и углерода в стали; сформулировал принципы применения рентгеновского анализа к изучению строения закалённой стали; предложил новую трактовку диаграммы железоуглеродистых сплавов; провёл лабораторные изыскания величины зерна в стали и её изотермической закалки; всесторонне проанализировал процессы, протекающие в различных сортах стали при их закалке, отпуске, нагреве и охлаждении. По итогам проведённых научных исследований, новизне полученных результатов и их большому прикладному значению в 1939 г. Н.Т. Гудцов был избран действительным членом АН СССР по Отделению технических и химических наук. Тогда же он возглавил Отдел металловедения Института металлургии АН СССР. 30-е гг. были творческой вершиной в деятельности учёного. Под его руководством велись исследования в области специальных сталей и сплавов, по термической обработке, общим вопросам металловедения, разрабатывались способы улучшения свойств быстрорежущей стали, изучалось влияние содержания хрома на магнитные свойства вольфрамовой стали.

Завершает галерею портретов, представленных в конференц-зале ИМЕТ РАН, расположенный на левой стене, почти у сцены, портрет русского и советского химика, академика АН СССР, руководившего в 1939–1953 годах физико-химическим отделом в Институте металлургии АН СССР Эргарда Викторовича Брицке.



Академик Эргард Викторович БРИЦКЕ.

Эргард Викторович Брицке (или Эдгард) (20 [8] января 1877 – 28 сентября 1953, Москва)

Согласно автобиографии, он родился в семье агронома Ивана Викторовича Бритцке[sic] в имении Архадак Балашовского уезда Саратовской губернии. В 1897 году окончил 3-ю казанскую гимназию и поступил на химическое отделение Рижского политехнического института, который окончил в 1903 году. Был оставлен при кафедре технологии неорганических веществ. С 1904 по 1906 годы учился за границей. Ещё студентом сконструировал газовый гальванический элемент на основе свинца, оксида и диоксида углерода, получив на него патент в России за границей.

После возвращения в Россию с 1 сентября 1906 года до 1917 года преподавал в Рижском политехническом институте: сначала — доцент, с 1 июля 1910 года — адъюнкт-профессор. В 1915 году был награждён орденом Св. Анны 3-й степени, затем произведён в статские советники и в том же году вместе с институтом эвакуировался в Москву.

В 1910 году напечатан первый его учебник «Производство суперфосфата» (Рига: Леффлер, 1910. — 174 с.).

С 1919 по 1929 годы преподавал в Московском институте народного хозяйства, а также в Московском высшем техническом училище (1921 – 1931), где организовал первую в СССР кафедру технологии минеральных удобрений и кафедру основной химической промышленности. Возглавляемые им в этих институтах кафедры были объединены в 1930 году в составе 2-го московского химико-технологического институ-

та, преобразованного в 1931 году в Военную академию химической защиты, где Брицке до 1939 года заведовал кафедрой технологии минеральных веществ.

С 1923 по 1938 годы был директором Научного института по удобрениям, который он вместе с Я. В. Самойловым и Д. Н. Прянишниковым организовал в 1919 году.

В 1923 году принимал участие в организации Института прикладной металлургии, где организовал и возглавлял в 1945 – 1953 годах термическую лабораторию.

В 1931 году был избран членом-корреспондентом АН СССР. В 1932 году основал научный журнал «Заводская лаборатория» и в том же году был избран академиком АН СССР. В 1935 году был избран академиком ВАСХНИЛ. С 29 декабря 1936 по 28 февраля 1939 годов был вице-президентом АН СССР.

В 1939 – 1953 годах руководил физико-химическим отделом в Институте металлургии АН СССР.

Автор более 100 научных трудов. Занимался разработкой новых методов получения и использования минерального сырья. Им, в частности, были разработаны термические методы возгонки фосфора из руд, методы получения арсената кальция и другие. Независимо от П.Х. Эммета открыл, совместно с А.Ф. Капустиным, явление термической диффузии в реакциях восстановления закиси железа водородом.

Сталинская премия первой степени (1942) — за работу «О развитии народного хозяйства Урала в условиях войны»

Премия имени В. И. Ленина (1929)

Выражаю искреннюю благодарность главному научному сотруднику лаборатории металловедения цветных и легких металлов д.т.н. Лазарю Леоновичу Рохлину за неоценимую помощь в распознавании образов великих металлургов, представленных в виде портретов в конференц-зале ИМЕТ РАН.

Плазменные процессы в металлургии и обработке материалов

Ю.В. Цветков, А.В. Самохин

Лаборатория №16, называемая «Плазменные процессы в металлургии и обработке материалов» была создана в 1962 году на основе существовавшей с 1953 года Лаборатории «Процессов сварки и плазменной металлургии».

В целом, становление и развитие научной школы в области физикохимии и технологии плазменных процессов в металлургии и обработке материалов происходило под воздействием фундаментальных идей академика Николая Николаевича Рыкалина (1903 – 1985) (рис.1), выдающегося советского ученого-металлурга, создателя всемирно признанной теории тепловых процессов при дуговой электросварке, впоследствии развившейся в теоретические представления о воздействии высококонцентрированных источников энергии на вещество, что сыграло особую роль в развитии ИМЕТ, завоевании им ведущей роли в пионерских передовых направлениях науки и техники и сохранении его в качестве академического учреждения.



Рис.1. Академик Н.Н. Рыкалин.

Мировую известность академику Н.Н. Рыкалину принесла созданная им теория тепловых процессов при сварке, обобщенная в переведенная на иностранные языки в монографиях [1,2].

Под руководством Н.Н. Рыкалина выполнены основополагающие экспериментальные и теоретические исследования энергетических и технологических характеристик плазменных струй. Нельзя не отметить, что первые в СССР технологические дуговые плазмотроны, как, впрочем и работоспособные ВЧ- металлургические плазмотроны, были созданы в Лаборатории плазменных процессов в металлургии и обработке металлов, основанной академиком Н.Н. Рыкалиным (рис. 3). Среди участников этих разработок профессор А.В. Николаев [3-5]. Присутствовавший при их успешном запуске в 1957 году академик Бардин И.П. предсказал плазменной металлургии большое будущее. Действительно, сопоставление плазменных и тепловых источников нагрева свидетельствует о существенном преимуществе дуговой плазмы, прежде всего, в области энергонапряженности. Применение дуговой плазмы открывает перспективу радикальной трансформации металлургических процессов и решения экологических проблем, путем исключения кокса и агломерации, а также обеспечения энерго- и ресурсосбережения в рамках энерготехнологического комплекса. Особое внимание уделялось изучению условий генерации низкотемпературной плазмы и разработке принципов конструирования дуговых и высокочастотных плазмотронов для новых технологических процессов создания веществ с особыми свойствами путем плазмохимических реакций, получения и сфероидизации порошков металлов и химических соединений, формирования композиционных материалов, плазменного напыления, получения плазменных конденсатов, наплавки, резки, сварки и т.п. Выявленные закономерности позволили существенным образом повлиять на выбор и оптимизацию конструктивно-технологического оформления плазменных процессов, в соответствии со сформулированной аппаратурно-технологической классификацией плазменных процессов в металлургии и обработке материалов, позволившей оценить перспективы их практического применения и пути оптимизации конструктивно-технологического оформления, а в ряде случаев обеспечить их практическую реализацию, как например, промышленное производство, с помощью высокочастотной плазменной техники, ультрадисперсного пигментного диоксида титана [6 – 8].

Во имя светлой памяти нашего учителя, академика Н.Н. Рыкалина, лаборатория ежегодно проводит Научные Рыкалинские чтения.

Творческое применение методов прикладной математики и математической физики дало в руки теоретиков и практиков сварочного производства эффективный инструмент для прогнозирования и управления сварочным процессом и создания новых технологий с применением плазменно-дугового разряда. Основные положения этой теории, развитой Н.Н. Рыкалиным и его учениками, явились основой для теоретических

разработок и практического осуществления процессов, основанных на воздействии высококонцентрированных источников энергии (термическая плазма, электронный луч, луч лазера, ионные потоки и. т. п.) на вещество.

Соответствующие научные ячейки были созданы под непосредственным или идейным руководством академика Н.Н. Рыкалина. Плазменная лаборатория являлась подлинной кузницей кадров высокой квалификации. Достаточно напомнить имена таких крупных ученых как И.Д. Кулагин, М.Х. Шоршоров, А.А. Ерохин, Ю.Л. Красулин, А.А. Углов, В.П. Алехин, С.А. Панфилов, А.В. Николаев, В.В. Кудинов, Т.А. Чернышева, В.И. Калита и оригинальных специалистов как А.А. Пугин, Л.М. Сорокин, В.А. Петруничев. Благодаря научной щедрости академика Рыкалина Н.Н., при его активной поддержке (в том числе путем передачи кадров и площадей), были созданы: Лаборатория воздействия излучений на металлы (д.ф.-м.н. Иванов Л.И., 1969 г.), Лаборатория процессов соединения металлических материалов, впоследствии Лаборатория композиционных материалов (д.т.н. Шоршоров М.Х., 1971 г.), Лаборатория физикохимии и технологии покрытий (д.т.н. Кудинов В.В., д.т.н. Калита В.И.), Лаборатория физикохимии поверхности и ультрадисперсных порошковых материалов (д.ф.-м.н. Алехин В.П.). Был создан и ряд секторов, один из которых, уже после кончины Н.Н. Рыкалина, был преобразован в Лабораторию лазерной обработки матери-



Рис. 2. Академик Ю.В. Цветков.

алов (д.ф.-м.н. Углов А.А.). Значительную роль в идейной консолидации ученых, работающих в области воздействия высококонцентрированных источников энергии на вещество, сыграли: созданный академиком Н.Н. Рыкалиным академический журнал «Физика и химия обработки материалов», научные семинары и конференции, а также многочисленные контакты с зарубежными исследователями. Далеко не последнюю роль в обеспечении научного роста учеников Н.Н. Рыкалина сыграла его научная щедрость как человека, ученого и учителя, проявляющаяся, как в предоставлении административной помощи (путем создания самостоятельных лабораторий и секторов на базе, персонально им руководимой), так и особенно обеспечения научной самостоятельности его учеников.

Одним из таких учеников и преемником Н.Н. Рыкалина является академик Ю.В. Цветков (рис.2).

Начальное становление Ю.В. Цветкова как ученого, после короткого периода работы в институтах Средмаша, происходило в ИМЕТ, в составе Лаборатории №5 «Физикохимические основы металлургии цветных и редких металлов»:

— аспирантура под руководством члена-корреспондента АН СССР Д.М. Чижилова, с защитой кандидатской диссертации «Кинетика восстановления окислов свинца, цинка и их смесей»;

— подготовка и защита докторской диссертации «Исследования термодинамики и кинетики восстановления некоторых окислов цветных и редких металлов в различных агрегатных состояниях».

Под руководством Цветкова Ю.В. была создана большая группа исследователей, нацеленных на разработку физикохимии и технологии процессов восстановления преимущественно оксидных систем. Воспитаны ряд учеников, как-то: С.А. Панфилов, И.К. Тагиров, Е.К. Казенас, в известной степени В.А. Брюквин и др. Особо хотелось отметить С.А. Панфилова и Е.К. Казенаса. С.А. Панфилов был соавтором Ю.В. Цветкова по фундаментальной монографии «Низкотемпературная плазма в процессах восстановления» и внедрению на УзКТЖМ процесса плазменно-водородного восстановления оксидов вольфрама. Он защитил, под руководством и содействием Ю.В. Цветкова, кандидатскую и докторскую диссертации, и последовал за ним при вынужденном переходе в Лабораторию №16. Другим верным учеником Ю.В. Цветкова до настоящего времени является заведующий Лабораторией №6, д.т.н. Е.К. Казенас, защитивший, при его поддержке, кандидатскую и докторскую диссертации, разработавший и применивший для исследования методика и аппаратуру высокотемпературной масс-спектрометрии. В соавторстве с ним опубликован ряд книг, одна из которых удостоена Премии Аносова РАН. Обобщенные данные, приведенные в этих монографиях, плодотворно используются для физико-химического обоснования разрабатываемых в Лаборатории №16 плазменных процессов, ибо процессы испарения для ряда технологических процессов, основанных на воздействии на вещество термической плазмы,



Рис. 3. Первый электродуговой плазмотрон, испытанный в СССР и авторское свидетельство на разработанную конструкцию. Лаборатория №16, 1958 год.

являются лимитирующей стадией. Будучи помощником заведующего Лабораторией №5, Ю.В. Цветков принимал активное участие в формировании оптимального кадрового состава лаборатории. Среди сотрудников Лаборатории №5, хотелось бы отметить крупного ученого в области металлургии алюминия, д.т.н. И.Н. Китлера и его достойного ученика, д.т.н. Ю.А. Лайнера, до последних дней заведовавшего Лабораторией №21.

После кончины академика Н.Н. Рыкалина возникла необходимость определенной концентрации усилий на плазменно-металлургических процессах, основанных на воздействии термической плазмы, и особенно — при сужении территориальной базы реализации плазменных процессов, вследствие распада СССР. Одной из основных вех этого процесса стала опубликованная в 1980 г. Ю.В. Цветковым, совместно с его учеником С.А. Панфиловым, монография «Низкотемпературная плазма в процессах восстановления», заложившая основы ключевых направлений в этой области и основных принципов методологии изучения плазменных процессов. Активная и плодотворная работа Ю.В. Цветкова, сменившего Н.Н. Рыкалина на посту заведующего лабораторией, уже в семидесятые и восьмидесятые годы минувшего столетия привела к возникновению научной школы Ю.В. Цветкова, объединяющей его учеников и соратников, как на территории нынешней Российской Федерации, так и в ряде союзных республик, осуществляющей практическую реализацию процессов

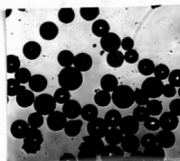
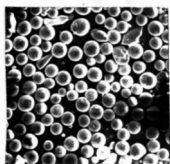
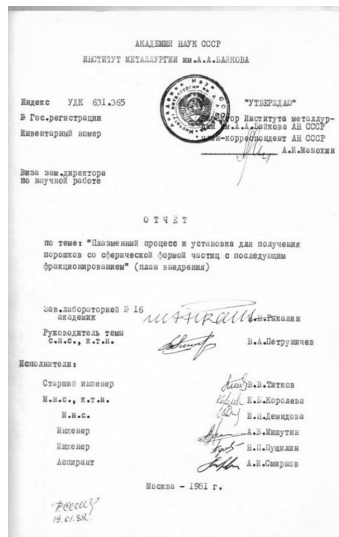


Рис. 4. Лабораторная установка плазменной сфероидизации порошков, 1981 год.

плазменного восстановления и синтеза в Прибалтике, Средней Азии и Казахстане. В качестве примера, можно привести осуществленный цикл исследований физико-химических и технологических свойств высокодисперсных порошков вольфрама и молибдена, обобщенный в одноименной монографии [9, 10], и особенно практическую реализацию на Узбекском комбинате тугоплавких и жаропрочных металлов (г. Чирчик) созданной впервые в мире технологии и аппаратного оформления плазменно-водородного восстановления оксидов вольфрама (рис. 4, 5). При этом, помимо резкого повышения производительности и повышения эксплуатационных свойств, полученных из производимых на плазменной установке высокодисперсных порошков, отмечалось снижение энергозатрат, как на собственно процесс восстановления, так и на последующие переделы. Таким образом, было сформулировано положение, в значительной степени определяющее перспективы плазменной металлургии в целом: при оптимальном конструктивно-технологическом оформлении, плазменные процессы являются энерго- и ресурсосберегающими, при обеспечении совместимости с окружающей средой. Это положение было неоднократно

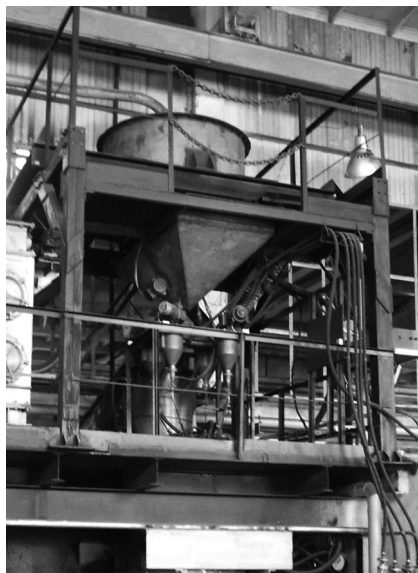
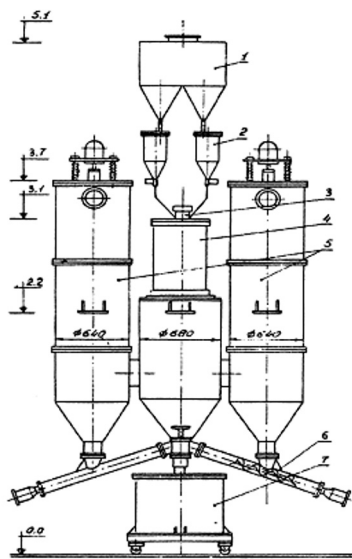


Рис. 5. Промышленная установка плазменно-водородного восстановления оксидов вольфрама, 1986 год.

подтверждено в ряде процессов как порошковой металлургии, так и при воздействии плазменных разрядов на металлургические расплавы.

Следует напомнить, что в семидесятых и восьмидесятых годах XX века под руководством академиков А.П. Александрова, В.А. Легасова и Н.Н. Рыкалина и активном участии Ю.В. Цветкова прорабатывались перспективные основы энерготехнологии, в том числе водородной энергетики и технологии. Сформированная и разработанная концепция преобразования энергетической основы промышленного производства продолжила отработку, путем создания атомно-металлургического комплекса на Кольской АЭС, с использованием производимого на комплексе водорода для плазменно-водородного восстановления порошкового железа из уникального по чистоте оксидного концентрата Оленегорского месторождения Кольского полуострова. Чернобыльская катастрофа 1986 года нанесла смертельный удар этому проекту, как и по жизни академика В.А. Легасова, существенно подорвав жизненные и творческие возможности академика А.П. Александрова. Впоследствии Ю.В. Цветков с сотрудниками предпринимал неоднократные попытки реализации этой концепции. В 1990 году — в Казахстане, для спасения научной части Семипалатинского полигона (при одобрении правительства Казахстана и полном неприятии российской стороной). В 1992 – 1994 годах — в Ирландии и США (Ю.В. Цветков – почетный гражданин города Окриджа), при создании плазменно-технологических производств, совмещенных

с производством электроэнергии (несмотря на успешный старт, работы не получили развития, вследствие поражения на выборах активно поддерживающих наши работы премьер-министра Ирландии Рейнольдса и кандидата в Президенты США Алберта Гора). Предлагалась также новая энерготехнология производства стали владельцу Липецкого металлургического комбината В.С. Лисину. Однако нашим металлургическим олигархам отечественная технология вообще не требуется. В настоящее время профессором А.В. Николаевым, при минимальной поддержке программой ОХНМ, проводятся работы по совершенствованию энерго-технологических показателей плазменного восстановительного модуля комплекса и перспективных объектов переработки, в том числе трудноискриваемых титановых руд.

Несмотря на трудности, с которыми столкнулась страна и отечественная наука в 90-е годы, основной костяк коллектива лаборатории, отличающийся высочайшей квалификацией в области теории и практики плазменных процессов в металлургии и обработке материалов, сохранился и успешно работает. В последнее десятилетие коллектив активно расширяется, за счет притока талантливой молодежи. Сейчас в лаборатории представлены все возрастные категории исследователей. Особенно отрадно наличие среднего возрастного звена, обеспечивающего преемственность накопленных знаний и опыта.

Как и ранее, при решении новых задач для лаборатории характерны активные контакты с учеными из других организаций, городов и стран. В качестве примеров устойчивых партнерских отношений в разные периоды последних двух десятилетий, можно назвать сотрудничество с центром плазменных технологий Массачусетского технологического института (США), фирмой АРИТ (Франция), факультетом физики университета города Модена и компанией TECSTAR (Италия), компанией NANOENERGY (Великобритания), с энергетическим факультетом университета Копенгагена (Дания), российскими научными организациями: ВНИИХТ (Москва), ИПХФ (Черноголовка), ИТПМ (Новосибирск), ИПФ (Нижний Новгород), ВИАМ (Москва), Гиредмет (Москва), Центр Келдыша (Москва) и университетами: ННГУ, МИСиС, МИФИ, МГТУ, ТГУ, СПбПУ, производственными компаниями: АО Полема, ПАО Северсталь, АО РУСАЛ, АО Ярега-Руда и т.д.

Лаборатория выполняет большой объем научно-исследовательских работ в рамках научных грантов и контрактов. Коллектив получает гранты РФФИ и РФФИ, выполняет работы по программам фундаментальных исследований Президиума РАН, Отделений химии и наук о материалах. На счету лаборатории Госконтракты в рамках Федеральных целевых программ Министерства образования и науки, Министерства промышленности и торговли, Министерства обороны, Роскосмоса, Росатома, хоздоговора на выполнение НИР и поставку научно-технической продукции.

Для краткости изложения выполняемых работ, остановимся на основных достижениях коллектива Лаборатории №16.

1. На основе систематических исследований термодинамики, кинетики и механизма восстановления оксидных систем с использованием современных методов исследования топохимических реакций, положений гетерогенного катализа, теории абсолютных скоростей реакций, создана, получившая общее признание, теория процессов восстановления металлов в различных агрегатных состояниях, в том числе — при воздействии потоков термической плазмы.

2. Разработана методология исследования плазменных процессов, основанная на высокотемпературном термодинамическом анализе, математическом моделировании и экспериментальных кинетических исследованиях на специально разработанной аппаратуре.

3. Для струйно-плазменных процессов выявлена определяющая роль процессов тепломассообмена между термической плазмой и распределенным в плазменном потоке диспергированным обрабатываемым веществом и его перехода в газовую фазу, т.е. степень гомогенизации процесса.

4. С помощью разработанного метода высокотемпературной масс-спектрометрии, исследовано испарение и диссоциация оксидов практически всех элементов периодической системы. Результаты обобщены, в соответствии с положением элементов в Периодической системе Д.И. Менделеева.

5. Впервые в мировой практике реализованы промышленные процессы водородного восстановления оксидов тугоплавких металлов и плазменной восстановительной плавки оксидов группы железа. Процессы отличаются энерго- и ресурсосбережением, получением продуктов с особыми эксплуатационными свойствами и совместимостью с окружающей средой.

6. Исследован ряд плазмохимических процессов получения ультрадисперсных и наноразмерных порошков металлов и химических соединений (оксидов, нитридов, карбидов, карбонитридов). Установлены термодинамические и кинетические закономерности и управляющие параметры, обеспечивающие получение порошков заданного химического состава и дисперсности.

7. Разработаны, изготовлены и испытаны несколько плазмохимических установок для получения ультрадисперсных и нанопорошковых материалов с производительностью от 1 кг/ч до 25 кг/ч (рис. 6, 7).

8. Выполнен цикл работ по разработке и созданию процессов и оборудования для плазменной сфероидизации порошковых материалов с размером частиц 20-60 мкм для задач аддитивных технологий.

9. Испытан ряд процессов при воздействии термической плазмы на газовые среды, расплавы и растворы, в том числе, применительно к процессам переработки техногенного сырья. Отметим имеющий прикладное значение плазменно-каталитический риформинг углеводородного сырья



Рис. 6. Лабораторные установки плазмохимического синтеза нанопорошков, 2008 – 2018 годы.

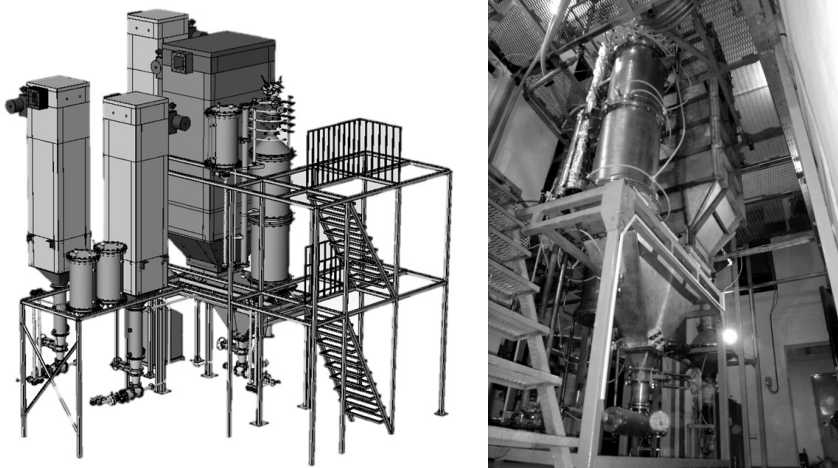


Рис. 7. Опытно-промышленная установка плазмохимического синтеза нанопорошка оксида титана, 2016 год.

для получения водорода и плазменную деструкцию органических примесей в сточных водах.

10. Особо следует отметить формулирование концепции металлургии будущего, основанной на создании, по модульному принципу, экологически чистого энергометаллургического комплекса, объединяющего на базе

плазменной техники производство энергии и химико-металлургическое производство металлов, сплавов и соединений из природного и техногенного сырья. При этом обеспечивается значительное снижение энергозатрат, по сравнению с традиционными и альтернативными способами производства стали.

Результаты выполненных исследований опубликованы в монографиях и ряде оригинальных и обзорных статей [11 – 34].

Основные положения разработанной теории плазменных процессов обсуждены и получили признание на международных и отечественных научных конференциях.

В целом следует отметить, что проводимые нами исследования отвечают наиболее признанным направлениям научных исследований в России и мире. Общепризнано, что в области получения нанопорошков методами плазмохимии школа Ю.В. Цветкова, по праву, занимает ведущее место, что стимулировало развитие данного раздела нанотехнологий, как в республиках ближнего зарубежья, так и в передовых и развивающихся странах.

Несколько слов о ближайших задачах коллектива школы.

Основной фундаментальной задачей является совершенствование теории процессов взаимодействия термической плазмы с веществом в различном агрегатном состоянии (газ, распределенные в плазменных потоках дисперсные материалы, растворы, расплавы). При этом, наряду со стремлением более полного и корректного раскрытия механизма процессов, особое внимание уделяется возможности, на базе теоретических представлений и отвечающих им математических и физических моделей, осуществлять прогнозирование и управление плазменными процессами, с целью обеспечения, при минимальных энергетических и ресурсных затратах, получения продуктов с заданными свойствами. В настоящее время основным научным направлением лаборатории являются исследования и разработка основ технологии и конструктивного оформления процессов плазменной порошковой металлургии, включая получение нанопорошков металлов, сплавов и соединений и плазменную сфероидизацию частиц микронного диапазона размеров для задач аддитивных технологий, проводимые группой ведущего научного сотрудника А.В.Самохина. Значительное внимание в наших исследованиях уделяется плазменной порошковой металлургии и преимущественно — процессам плазменного восстановления и синтеза, в том числе, перспективным способам получения и обработки порошковых материалов. Наряду с этим, продолжаются работы по разработке плазменных установок для синтеза нанопорошков и сфероидизации порошковых материалов.

В направлении создания энерго- и ресурсосберегающих экологически чистых производств получения металлопродуктов, на основе использования плазменного модуля энерготехнологического комплекса, наряду с созданием представительного пилотного блока восстановления, плани-

руется провести теоретические и экспериментальные исследования по созданию технологии и аппаратуры для переработки нетрадиционного и техногенного сырья в условиях сверхвысокой энергонапряженности.

В качестве заключения можно сказать, что в настоящее время Лаборатория №16 уверенно движется по пути развития физико-химических основ и конструктивно-технологического оформления исследуемых и разрабатываемых плазменных процессов в металлургии и обработке материалов, с учетом грандиозного опыта, накопленного научными школами академиков Н.Н. Рыкалина и Ю.В. Цветкова. Воодушевленная богатой историей, она делает ставку на решение фундаментальных задач, с использованием передовых методов современной науки и инженерии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыкалин Н.Н. Тепловые основы сварки, ч.1. Изд. АН СССР, 1947. 271 с.
2. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз, 1951. 296 с.
3. И.Д. Кулагин, А.В. Николаев Применение дугового ионизированного потока электрической дуги для нагрева материалов. Известия АН СССР, ОТН, Металлургия и топливо, 1959, №2
4. И.Д. Кулагин, А.В. Николаев. Обработка материалов дуговой плазменной струей. М. Изд. ИМЕТ, 1960
5. И.Д. Кулагин, Л.М. Сорокин Эффективность индукционного нагрева газов. Генераторы низкотемпературной плазмы. М. Изд-во «Энергия.1959.
6. Н.Н. Рыкалин Плазменные процессы в металлургии и обработке материалов ФХОМ, 1967, №2
7. А.Б. Гугняк, Е.Б. Королева, И.Д. Кулагин, В.И. Михалев, В.А. Петруничев, Л.М. Сорокин Плазменные процессы получения сферических порошков тугоплавких металлов. ФХОМ, 1968, №4
8. Н.Н. Рыкалин, И.Д. Кулагин, М.Х. Шоршоров, В.Н. Кудинов, Ю.В. Красулин, В.А. Петруничев, А.А. Углов Теплофизика плазменного напыления, наплавки, резки и сфероидизации. Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов. Изд-во «Наука» М. 1973
9. Ю.В. Цветков, С.А. Панфилов. Низкотемпературная плазма в процессах восстановления. М., Наука, 1980, 359 с.
10. Каламазов Р.У., Цветков Ю.В., Кальков А.А. Высокодисперсные порошки вольфрама и молибдена. М.: Металлургия, 1988, 193 с.
11. Цветков Ю.В. Плазменная металлургия – перспективная технология XXI века. Металлы, 2001, № 5, с. 24 – 31.
12. Цветков Ю.В. Пути интенсификации процессов восстановления в свете адсорбционно-каталитических представлений. В кн.: Физическая химия окислов металлов. М.: Наука, 1981. С. 9 – 15.
13. Цветков Ю.В. Особенности термодинамики и кинетики плазменно-металлургических процессов. В кн.: Физика и химия плазменных металлургических процессов. М.: Наука, 1985, С. 5 – 18.

14. Yu.V.Tsvetkov. Plasma processes in metallurgy. Thermal plasma and new materials technology. Cambridge. Interscience Publishing. Cambridge, England, 1995, v. 2, pp. 291 – 322.
15. Tsvetkov Yu.V. Plasma metallurgy. Current state, problems and prospects. Pure and Applied Chemistry, 1999, No.10, v. 71, pp. 1853 – 1862.
16. Цветков Ю.В. Термическая плазма в нанотехнологиях. Наука в России, 2006, № 2, с. 4 – 9.
17. Цветков Ю.В. Плазма в металлургии. Энциклопедия низкотемпературной плазмы под редакцией академика Фортова В.Е.) т. X1-5 Прикладная химия плазмы. Раздел 4 глава 1с. 199-222. М. Янус-К, 2006
18. Цветков Ю.В. Водород в металлургии. В кн.: Атомно-водородная энергетика и технология. Энергоатомиздат, 1988, вып. № 8.
19. Цветков Ю.В. О создании экологически чистого энергометаллургического комплекса. Экология и промышленность России, 1999, № 5, с. 11 – 15.
20. Цветков Ю.В. Энергометаллургический комплекс на базе плазменной техники Энергетика России: проблемы и перспективы. М-Наука, 2006, с. 154 – 162.
21. Цветков Ю.В., Николаев А.В. Плазменные процессы в составе энергометаллургического комплекса (некоторые проблемы металлургии будущего). Ресурсы. Технология. Экономика. 2006, № 2, с.20 – 26, №3, с.38 – 42.
22. Самохин А.В., Алексеев Н.В., Цветков Ю.В. Плазмохимические процессы создания нанодисперсных порошковых материалов. Химия высоких энергий, 2006, т.40, №2, с.120 – 126.
23. Цветков Ю.В. Физикохимия плазменной металлургии. Технология металлов, 2006, №4, с. 7 – 14.
24. Алексеев Н.В., Самохин А.В., Цветков Ю.В. Плазменно-каталитическая конверсия углеводородов. Химическая технология, 2001, №9, с. 7 – 11.
25. Алексеев Н.В., Самохин А.В., Цветков Ю.В., Гугняк А.Б., Агафонов К.Н. Получение водородсодержащих газов неполным окислением пропана при воздействии электрического разряда в условиях «холодного старта» реактора. Химическая технология, 2002, № 7, с. 11 – 13.
26. Цветков Ю.В. Физикохимия плазменной металлургии – металлургии будущего в кн. Фундаментальные исследования физикохимии металлических расплавов М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. С. 296 – 308
27. Самохин А.В., Алексеев Н.В., Цветков Ю.В. Плазмохимические процессы создания нанодисперсных порошковых материалов. Химия высоких энергий, 2006, т.40, №2, с.120 – 126.
28. Bromberg, L. System optimization and cost analysis of plasma catalytic reforming of natural gas / L. Bromberg, D.R. Cohn, A. Rabinovich, N. Alexeev, A. Samokhin, R. Ramprasad, S. Tamhankar // International Journal of Hydrogen Energy. – 2000. – V.25. – issue 12. – p.1157 – 1161
29. Samokhin, A.V. Tungsten Carbide and Vanadium Carbide Nanopowders Synthesis in DC Plasma Reactor / A.V.Samokhin, N.V. Alekseev, S.A. Kornev, M.A. Sinaiskii, Y.V. Blagoveschenskiy, A.V. Kolesnikov // Plasma Chemistry and Plasma Processing. Volume 33. Issue 3 (2013). Page 605-616.
30. Samokhin, A.V. Metal Oxide Nanopowder Production by Evaporation-Condensation Using a Focused Microwave Radiation at a Frequency of 24 GHz / A.V. Samokhin, N.V. Alexeev, A.V. Vodopyanov, D.A. Mansfeld, Y.V. Tsvetkov

// Journal of Nanotechnology in Engineering and Medicine. Volume 6. Issue 1. February 2016. Article number 011008.

31. А.В. Самохин, А.А. Фадеев, М.А. Синайский, Н.В. Алексеев, Ю.В. Цветков, О.А. Аржаткина, Получение порошков высоколегированного сплава со сферической формой частиц из ультрадисперсных компонентов, *Металлы*, №4, 2017 г., с.12 – 19.
32. Цветков, Ю.В. Сфероидизация металлических порошков в термической плазме электродугового разряда Ю.В. Цветков, А. В. Самохин, А. А. Фадеев, Н. В. Алексеев, В. И. Котляров / *Технология легких сплавов* // – №2. – 2016. – С.19 – 24.
33. Самохин, А.В. Моделирование процесса синтеза нанопорошков в плазменном реакторе струйного типа. I. Постановка задачи и проверка модели / А.В. Самохин, С.Н. Поляков, Н.В. Алексеев, А.Г. Астахов, Ю.В. Цветков // *Физика и химия обработки материалов*. – 2013. – №6. – С.40 – 46.
34. Самохин, А.В. Синтез нанопорошков нитрида, карбида и карбонитрида титана в плазменном реакторе с ограниченным струйным течением / А.В. Самохин, Д.Е. Кирпичев, Н.В. Алексеев, М.А. Синайский, Ю.В. Цветков // *Химия высоких энергий*. – 2016. – Т.50. – № 6. – С.491 – 497.

О лаборатории Н.Т. Гудцова и о себе в середине и конце шестидесятых.

Как я попал в ИМЕТ им. А.А. Байкова

О.А. Банных

Дипломную работу я выполнял в центральной исследовательской лаборатории автозавода ЗИЛ, руководителем которой был известный российский учёный – металлург А.Д. Асонов. Моя работа была направлена на изыскание возможности наиболее эффективного повышения эксплуатационной прочности шестерён автомобилей представительского класса. Нельзя не отметить, что условия выполнения экспериментов, связанных с этим престижным направлением, были просто блестящими (такие условия работы у меня в последующие годы были только во время стажировки в Швеции). Практически каждый день я имел возможность испытать до десятка образцов на статический изгиб и в любое время пользоваться микроскопическим анализом.

В цементованных шестернях из стандартной стали 28ХГТ при нагружении изгибом с увеличением изгибающей нагрузки зубья шестерен начинали разрушаться с появления трещин в «подкорковом» слое. Форму зуба шестерни менять было нельзя. Я предложил повысить содержание углерода в стали всего на две-три сотые процента. При этом незначительно снизилась ударная вязкость стали, но уменьшилась разница в содержании углерода на границе «основной металл – цементованный слой», и, очевидно, этого хватило для того, чтобы уменьшить вероятность зарождения трещины при изгибе в этой зоне зуба шестерни. Зубья начали «трещать» при значительно более высоких изгибающих нагрузках, а трещина «ушла» из подкорковой зоны. Разрушение происходило в полном соответствии с эпюрой напряжений в зубе шестерни.

Это был успех. Александр Денисович Асонов повёл меня, студента Магнитогорского горно-металлургического института им. Г.И. Носова, в ИМЕТ им. А.А. Байкова для беседы с «главой» российских металлургов — академиком Николаем Тимофеевичем Гудцовым. Не могу не сказать, что академик (я впервые увидел настоящего академика!) произвёл очень сильное впечатление.

«Живого» академика я увидел сидящим в кресле без ручек (Н.Т. Гудцов был очень полным человеком, и поэтому ему было удобнее сидеть в таком кресле). Кремовый костюм, яркий галстук и трость с набалдашником, инкрустированным узором из блестящих камешков (не знаю, были это стекляшки, или натуральные алмазики), произвели на меня сильное впечатление: это было нечто среднее между страхом и восторгом.

Академик спокойно спросил у меня: хочу ли я работать в его лаборатории. Я ответил, что хочу. Тогда он улыбнулся и сказал, что для этого необходимо хорошо изучить курс его лекций по металлловедению, который он читает в МИСиС, так как на экзамене он будет задавать вопросы прежде всего по проблемам, сущность которых изложена в этих лекциях.

Настроение после этого у меня резко ухудшилось. Упомянутого академиком курса лекций я не видел и, конечно, не слышал, так как «у нас» в Магнитке институтские металлловеды читали лекции, основанные, по большей части, на работах Гудремона, Бейна и, конечно, Чернова и других «классиков» мирового металлловедения.

Однако мне повезло. Уходя из ИМЕТ, я столкнулся с выпускником МИСиС, который имел курс лекций Гудцова, тоже хотел поступить к нему в аспирантуру, но чувствовал себя очень неуверенно, и поэтому был бы рад проштудировать упомянутые лекции вместе с «сильным» кандидатом на эту работу. Я с радостью согласился на совместное изучение лекций. Через две недели наша дружная работа над лекциями была успешно завершена.

Я Уехал в Магнитку, спокойно защитил дипломную работу и, после получения диплома с отличием, был рекомендован Учёным советом МГМИ им. Г.И. Носова в аспирантуру.

Подав в ИМЕТ необходимые документы и стал одним из семи соискателей одной вакансии аспиранта у Гудцова. Надо сказать, что на другие вакансии аспирантов тоже было немало сильных кандидатов. Со многими я быстро подружился. Это были, прежде всего, В.И. Кашин, поступавший к А.М. Самарину, Г.С. Бурханов — к Е.М. Савицкому, А.Е. Шелест — к И.М. Павлову. Все они сыграли, а многие продолжают играть, ведущую роль в развитии металлургии и металлловедения в ИМЕТ им. А.А. Байкова и по праву входят в число лидеров соответствующих направлений российской науки.

На экзамене по специальности мне достался вопрос: «Соппротивление среды при полиморфных превращениях». Это одно из важнейших положений, содержащихся в лекциях Николая Тимофеевича. Если бы я не проштудировал лекции, едва ли стал бы аспирантом Гудцова. Впрочем, было ещё одно осложняющее обстоятельство, возникшее на экзамене по марксизму-ленинизму. Экзамен проходил в здании Института философии Академии наук на Волхонке. В доставшемся мне билете был пункт — речь И.В. Сталина «К вопросу об аграрной политике». Как-то я на него ответил. Но последовал вопрос председателя экзаменационной комиссии, большевика с дореволюционным стажем: «А где Иосиф Виссарионович произнёс эту речь?». Я этого не знал. И тут председатель комиссии произносит: «Вы, молодой человек, невнимательны. Обернитесь». Я обернулся и вижу мемориальную доску. Оказывается именно в здании, где сдавался экзамен, была произнесена упомянутая речь. Результат — четвёрка. Это при семи кандидатах на одно место аспиранта! Я решил, что мне пора со-

бираться домой в Магнитогорск. Но выяснилось, что пятёрки никто из соискателей не получил.

Так, в октябре 1955 года я стал, как оказалось, последним аспирантом Н.Т. Гудцова и начал жизнь в седьмой лаборатории ИМЕТ им. А.А. Байкова.

Я — аспирант в лаборатории №7.

Выбор темы моей диссертационной работы Николай Тимофеевич сделал очень быстро и чётко: разработка перлитной теплоустойчивой стали для пароперегревательных труб тепловых электростанций. Тема была актуальной и финансировалась прекрасно на основе Постановления ЦК партии и Совета министров.

Обсуждение плана работы происходило на квартире Гудцова в высотном доме на Котельнической набережной. Хочется об этом сказать несколько слов. Квартира была огромной (я видел лишь часть квартиры — четыре-пять комнат) и, пожалуй, сравнить её я мог только с коттеджем, в котором жил директор Магнитогорского металлургического комбината. «Хобби» Николая Тимофеевича были редкие статуэтки, которыми в его домашнем кабинете были плотно заставлены столы, тумбочки, полки. У меня промелькнула не вполне хорошая мысль: пожалуй, правильно я сделал, что пошёл в науку. Может быть, придёт время, когда и я в таких апартаментах буду жить?

Лаборатория «Металловедение чёрных металлов», возглавляемая Николаем Тимофеевичем, имела номер «семь». Этот номер сохранился и до сегодняшнего времени, хотя происходили некоторые изменения в её названии, и уже много лет она называется лаборатория «Конструкционных сталей и сплавов им. Н.Т. Гудцова».

Коллектив лаборатории в год моего появления в ИМЕТ был, по современным меркам, очень большой: более пятидесяти человек. Он был составлен из нескольких групп, каждая из которых имела свою тему. Актуальность ряда тем была несомненна, однако были и работы, которые инициировали сверху, а с научных позиций они были безграмотные или не соответствовали имеющимся в лаборатории условиям труда. Примером первых может служить разработка стали для памятника В.И. Ленину на вершине Дворца советов. Главным требованием к этой стали было то, что она должна была иметь золотистый цвет.

Попытаюсь перечислить основные подразделения, работавшие в лаборатории. Ведущее место занимали сотрудники, работающие по созданию сплавов для использования при высоких температурах. Можно сказать, что исследования были сосредоточены на сплавах, базовой системой которых была фазовая диаграмма Fe-Cr-Ni. Сейчас сплавы, соответствующие практически всем фазовым областям этой системы, хорошо изучены, но в середине пятидесятых годов прошлого века изучение свойств таких сплавов, конечно, представляло интерес.

Н.Т. Гудцов был заместителем председателя Научного совета Академии наук СССР по жаропрочным материалам (возглавлял совет И.П. Бардин), а учёным секретарём секции металлических материалов этого Совета был к.т.н. И.Ф. Зудин. Он с большим энтузиазмом занимался планами секции и организацией ежегодных конференций по жаропрочным сплавам, а также подготовкой к изданию трудов этих конференций.

Я был подключён к группе сотрудников, которую возглавлял Иван Феофанович Зудин. В группе было два лаборанта. Первая — Нина Ивановна Гелахова, с которой я после окончания аспирантуры проработал много лет, вплоть до её безвременной кончины. Благодаря её помощи я освоил металлографическую технику и вообще освоился в коллективе лаборатории, а впоследствии она стала одним из моих верных помощников. Второй — Юрий Иванович Киселёв — участник Великой Отечественной войны, прекрасный художник, но большой любитель спиртного. Побороть этот его недостаток мне так и не удалось, а из-за его склонности к практически ежедневному потреблению спиртного, в том числе спирта, необходимого лаборатории для технических целей, я, впоследствии, будучи уже заведующим лабораторией, даже получил выговор.

Единственный доктор технических наук в лаборатории — Кирилл Афанасьевич Осипов — занимался теорией жаропрочности. Он работал над развитием представления о процессе ползучести с позиций гипотезы о разрушении упорядоченной кристаллической структуры, аналогичном плавлению, или аморфизации, на микро участках границ зёрен под действием напряжений при повышенных температурах. До конца пятидесятых годов он не признавал существования дислокаций в металлах и сплавах, резко выступая на заседаниях Учёного совета ИМЕТ против дислокационных теорий пластической деформации, которые развивал и пропагандировал член-корреспондент АН СССР И.А. Одинг.

Меня дискуссии между ними прямо коснулись на кандидатском экзамене, который принимала комиссия в составе Ивана Августовича Одингга, Кирилла Афанасьевича Осипова и Ивана Феофановича Зудина. До сих пор помню, как мне пришлось обходить в ответах на вопросы «острые углы», чтобы не вызвать дискуссии между экзаменаторами. Удалось! А сидели они на экзамене по разные стороны от меня, а не вместе — передо мной, как принято на экзаменах.

Большую по объёму, но основанную на методе «проб и ошибок», работу, посвященную разработке и созданию жаропрочных и жаростойких сплавов на основе хрома, выполнял к.т.н. Пётр Фёдорович Фесечко. С ним работали два квалифицированных лаборанта-плавильщика. Было изучено влияние на литейные свойства сплавов различных легирующих элементов, как раздельно, так и в комплексах. В рассматриваемое мной время уже была отработана технология получения из исследуемых сплавов пластин разной величины толщиной 3-5 мм, с квадратным отверстием в середине способом литья по выплавляемым моделям. Эти пластины пред-

назначались для канала магнито-гидродинамических (МГД) генераторов. Практика использования их в модельном МГД-генераторе, над созданием которого работал Институт высоких температур АН СССР, показала, что для получения положительного баланса между вырабатываемой энергией и энергией, затрачиваемой для работы МГД-генератора, необходимо было иметь электропроводные материалы, способные работать при температурах выше температуры плавления сплавов хрома. В связи с этим попытки использовать эти сплавы в рабочих условиях успехом не увенчались.

Сплавами, содержащими до 25 – 30 % хрома и примерно такое же количество никеля, занимался к.т.н. Андрей Иванович Григорьев. Хочется отметить, что в его группе работал хозлаборант Павел Иванович Куликов, участник Великой Отечественной войны, имевший целый ряд боевых наград. Он был человеком кристальной честности и высокой ответственности за качество порученной работы и обеспечивал бесперебойность получения всего, что необходимо для проведения исследований в большой металлургической лаборатории.

Не скрою, меня удивило наличие в лаборатории, по крайней мере, трёх тем, которые следовало бы выполнять в помещениях, специально подготовленных для работы с материалами, крайне опасными для здоровья и даже жизни людей. Видимо, были директивы неких инстанций, с которыми пожилой, страдающий излишней полнотой и связанной с ней сердечной недостаточностью Николай Тимофеевич не хотел, или просто не мог вступать в конфликт.

Изучением процессов изменения структурных состояний и фазовых превращений в жаропрочных сплавах с помощью радиоактивных изотопов занималась к.т.н. Мелитина Петровна Матвеева. Хорошо, что эта работа продолжалась относительно недолго. Она сосредоточилась на исследовании высокохромистых (до 50% Cr) сплавов никеля, а затем и сплавов на основе платины.

Исследованием бериллия и сплавов на его основе занимался к.т.н. Пётр Моисеевич Аржаный. В его группу входил три сотрудника. Комнату для работ с бериллием оборудовали вытяжными шкафами, в которых полировали и травили металлографические шлифы. Доступ в вытяжной шкаф был возможен только через резиновый занавес в резиновых рукавах и перчатках. Готовые для металлографического анализа образцы исследовали прямо в комнате без специальной защиты. Жаль, не помню, где выплавлялись бериллиевые сплавы: в институте, или вне его.

К.т.н. Мария Николаевна Гавзе проводила эксперименты для исследования взаимодействия сталей и сплавов с ртутью. В год моего появления в лаборатории она готовила к публикации совместную с Н.Т. Гудцовым монографию «Воздействие ртути как теплоносителя на сталь в энергетических установках».

Особое место в лаборатории занимала группа к.т.н. Алексея Ивановича Пронова. Он вёл исследования, связанные с развитием процессов непре-

рывной разливки стали. Это определяло его контакты с металлургами больше, чем с металловедом. Был он человек очень скромный, но это не умаляло его авторитет среди металлургов, как в ИМЕТ, так и в отраслевых институтах металлургического профиля.

Моя работа началась удачно. Иван Феофанович Зудин, будучи секретарём Научного совета, имел постоянные контакты со многими учёными, жившими как в Москве, так и за её пределами, в частности, в Ленинграде, на Урале и Украине. Он познакомил меня с теми из них, кто непосредственно занимался проблемами разработки теплоустойчивых перлитных сталей. Прежде всего, должен назвать директора Института качественных сталей ЦНИИЧермет, профессора Михаила Васильевича Приданцева, который впоследствии сыграл большую роль в моём развитии, как учёного. Не могу не упомянуть также заместителя директора ЦНИИТМАШ Ивана Романовича Крянина, с которым я общался и в последующие годы, в частности, когда участвовал в разработке материала для конструкций модельного термоядерного реактора с сильным магнитным полем. Общение с такими специалистами оказало мне большую помощь в работе над кандидатской диссертацией.

Первые результаты выполнения плана работы, утверждённого Н.Т. Гудцовым, я успел показать ему, посетив его в больнице (кажется, это была клиника Первого медицинского института). В палате, рядом с кроватью стояло много любимых Николаем Тимофеевичем маленьких статуэток. Он внимательно прочитал тот материал, который я подготовил. Работа была им одобрена и вошла в первую, написанную мной, небольшую монографию «К вопросу о легировании теплоустойчивой стали на основе альфа-железа», которая была напечатана в 1959 году Издательством Академии наук СССР (авторы Н.Т. Гудцов, О.А. Банных и И.Ф. Зудин), под редакцией Ивана Августовича Одингга.

Академик Н.Т. Гудцов скончался 29 января 1957 года и был похоронен на Новодевичьем кладбище. Я был его последним аспирантом. Лаборатория сохранила свой седьмой номер, а возглавил её, по просьбе директора ИМЕТ И.П. Бардина, член-корреспондент АН СССР И.А. Одингг, совместив эту должность с должностью заведующего лабораторией прочности (№10).

Иван Августович не стал существенно реформировать лабораторию, и она несколько лет оставалась в том виде, который описан выше. Закончились только работы по золотистой стали, изотопам и бериллиевым сплавам.

В 1958 году я успешно защитил кандидатскую диссертацию, которую заканчивал под руководством Ивана Августовича. У меня с ним сложились хорошие деловые отношения. О нём, как человеке, могу сказать коротко – джентльмен, в самом высоком смысле этого слова.

Лаборатория прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов ИМЕТ РАН (лаборатория №10) История лаборатории

А. Г. Колмаков

В 1953 году вице-президент АН СССР, академик И.П. Бардин, который был в то время директором Института металлургии им. А.А. Байкова АН СССР, предложил выдающемуся ученому металлочеловеку, члену-корр. АН ССР И.А. Одинггу организовать лабораторию прочности металлических материалов. Иван Августович Одинг гармонично сочетал в себе ученого металлочеловека, технолога и инженера.

Он родился 7 июня 1889 года в г. Риге. В 1913 г. поступил в Петроградский технологический институт на механический факультет. Здесь же он проработал до 1930 г. в должности ассистента. В 1937 г. И.А. Одинг защитил докторскую диссертацию, а в 1938 г. ему было присвоено звание профессора. В начале Великой Отечественной войны он работал на Невском машиностроительном заводе, выполнявшем заказы военных — защитников Ленинграда. В 1942 г. И.А. Одинг был эвакуи-



Иван Августович Одинг.

рован в Москву и назначен директором Центрального научно-исследовательского института тяжелого машиностроения (ЦНИИТМАШ).

Перед коллективом ЦНИИТМАШа была поставлена грандиозная задача – создать перспективную газовую турбину. Здесь и проявился талант не только Одинг-руководителя, но и ученого, поставившего и решившего ряд крупных проблем. В 1946 г. И.А. Одинг был избран членом-корреспондентом АН СССР. В связи с этим, он перешел на работу в Институт Машиноведения АН СССР, заняв должность заместителя директора и заведующего Отделом прочности. Здесь он, в рамках отдела, организовал лабораторию ползучести. В этот период в отделе были проведены важные исследования в области физики прочности и ползучести металлов, которые затем были продолжены в Институте металлургии им. А.А. Байкова (ИМЕТ).

Под руководством И.А. Одинг, Лаборатория прочности металлических материалов ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, с момента своей организации, отличалась от подобных лабораторий методологическим подходом к анализу прочности, включающим междисциплинарный анализ различных явлений, происходящих в металлах под нагрузкой, таких как усталость, ползучесть, релаксация напряжений, хрупкое разрушение и др.

Основные результаты научных исследований И.А. Одинг опубликованы в восьми монографиях и более чем в 200 научных статьях. Фундаментальный вклад И.А. Одинг внес в развитие дислокационной теории металлов. Он был первым из советских ученых, признавших и понявших перспективность идей теории дислокаций для развития современных представлений о роли дислокаций в формировании свойств металлов. В 1959 г. Иван Августович написал книгу «Теория дислокаций в металлах и ее применение». Важным этапом в развитии прикладных вопросов теории дислокаций было издание в 1969 г. коллективной монографии «Теория ползучести и длительной прочности» (Одинг И.А., Иванова В.С., Бурдукский В.С., Геминев В.Н.), переведенной на английский язык. В исследованиях И.А. Одинг большое внимание уделял изучению природы усталостного разрушения металлов. Его книга «Допускаемые напряжения и циклическая прочность металлов» выдержала четыре издания.

После смерти И.А. Одинг, в 1964 г. Лабораторию прочности металлических материалов ИМЕТ РАН возглавила его ученица, профессор, д.т.н. Вера Семеновна Иванова. Вера Семеновна родилась 5 мая 1923 в г. Смоленске. После окончания школы, она поступила в Московский энергетический институт, который окончила в 1948 г. По окончании института Вера Семеновна работала, под руководством И.А. Одинг, в институте Машиноведения АН СССР и затем, вместе с ним, перешла на работу в ИМЕТ РАН. В 1962 г. В.С. Иванова защитила докторскую диссертацию «Структурно-энергетическая теория усталости металлов» и, по ее материалам, выпустила в 1963 г. монографию «Усталостное разруше-



Вера Семеновна Иванова.

ние металлов». За более чем 50-летнюю работу в ИМЕТ РАН (в том числе, 25 лет — в качестве заведующего лабораторией) В.С.Ивановой и ее учениками было опубликовано множество работ. Эти труды, в виде многочисленных монографий и статей, дали мощный импульс развитию в России таких научных направлений, как дислокационная теория прочности конструкционных металлических материалов, теория механико-термического упрочнения, создания композиционных материалов с металлической матрицей, механика разрушения металлических материалов. Также продолжались интенсивные исследования по развитию теории усталостного разрушения металлов. В 1975 г. Вера Семеновна, вместе со своим учеником В.Ф. Терентьевым, выпустила монографию «Природа усталости металлов», которая была переведена на японский язык. В.С. Иванова — автор более десяти монографий и 400 статей. Многие ее ученики стали докторами наук. Выдающаяся творческая деятельность В.С. Ивановой подтверждена присуждением ей звания Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

В 1989 г. Лабораторию № 10 ИМЕТ РАН возглавил ученик Веры Семеновны Ивановой, профессор, д.т.н. Владимир Федорович Терентьев. В.Ф. Терентьев родился 2 октября 1933 г. в г. Ашхабаде Туркменской ССР. После окончания школы, в 1951 г. он поступил в Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана. По окончании МВТУ им. Н.Э. Баумана, в 1957 г. Владимир Фёдорович по распределению был направлен в качестве инженера-технолога на новосибирский завод «Тяжстанкогидропресс» им. А.И. Ефремова. Вскоре он переходит



Владимир Федорович Терентьев.

на работу в Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина. Там он проходит путь от инженера до заместителя начальника отдела, занимается научными изысканиями.

В 1962 г. В.Ф. Терентьев поступает в аспирантуру Института металлургии им. А.А. Байкова АН ССР. Он стал первым аспирантом профессора Веры Семеновны Ивановой в Лаборатории прочности металлических материалов, которую в то время возглавлял чл.-корр. АН СССР Иван Августович Одинг. В 1986 г. Владимир Федорович защитил докторскую диссертацию по теме: «Закономерности накопления повреждений в ОЦК-металлах и сплавах при усталости», а в 1989 г. д-р техн. наук В.Ф. Терентьев был назначен заведующим Лабораторией прочности металлических материалов, которой руководил в течение 17 лет. В настоящее время он работает в ИМЕТ РАН в должности главного научного сотрудника.

Научные интересы и достижения В.Ф. Терентьева связаны с развитием теории механических свойств и изучением механизмов пластической деформации металлических материалов (природы физического предела текучести, эффекта Баушингера и др.). Им была предложена физически обоснованная классификация периодов и стадий процесса усталостного разрушения металлов и сплавов, изучена особая роль поверхностных слоев в зарождении усталостных трещин и формировании физического предела усталости. По вопросам теории механических свойств, и в частности, усталостного разрушения металлических материалов, в последние годы В.Ф. Терентьевым (и с его участием) написано несколько

монографий, в том числе: «Усталостная прочность металлов и сплавов» (М.: Интермет Инжиниринг. 2002. 288 с.); «Усталость металлических материалов» (М.: Наука. 2003. 254 с.); «Усталость высокопрочных металлических материалов» (Совместно с профессором А.Н. Петуховым. М.: ИМЕТ РАН – ЦИАМ. 2013. 515 с.); «Усталость металлов» (Совместно с к.т.н. С.А. Кораблевой. М.: Наука. 2015. 484 с). Последняя монография посвящена чл.-корр. АН СССР Ивану Августовичу Одингу, создателю Лаборатории прочности металлических материалов в ИМЕТ РАН.

Научную работу профессор В.Ф. Терентьев всегда сочетал с педагогической и научно-организационной деятельностью. Им было подготовлено более 10 кандидатов наук. В течение 25 лет он был профессором кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В 2005 г. Лабораторию прочности металлических материалов возглавил ученик профессора В.Ф. Терентьева, д.т.н. Алексей Георгиевич Колмаков, и с этого года Лаборатория №10 ИМЕТ РАН стала называться, Лабораторией прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов ИМЕТ РАН.

А.Г. Колмаков родился 17 августа 1964 г. в Москве. Закончив учебу в средней школе, поступил в Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана. После окончания института в 1988 г., три года работал инженером в Научно-исследовательском и конструкторском институте энерготехники (НИКИЭТ) им. Н.А. Доллежала, а затем поступил в аспирантуру ИМЕТ РАН. Здесь он успешно защитил сначала кандидатскую диссертацию, а затем — докторскую диссертацию. В 2016 году Алексея Георгиевича избрали членом-корреспондентом РАН и назначили заместителем директора Института.

В настоящее время А.Г. Колмаков успешно руководит Лабораторией №10, которая выполняет большой объем научно-исследовательских работ в области теории механических свойств металлических, керамических и композиционных материалов.



Алексей Георгиевич Колмаков.

В частности, под руководством А.Г. Колмакова, методом, экструзии получены новые композиционные наплавочные прутки на основе сплава баббита Б83, содержащего керамические частицы карбидов бора и кремния, а также субмикронные частицы бора, и изготовлены покрытия из них. Методом горячего прессования создан перспективный композиционный материал триботехнического назначения на основе сплава Б83, армированного керамическими частицами SiC и модифицированной шунгитовой породой, который, по сравнению с традиционным литым сплавом, при соизмеримых значениях коэффициента трения, обладает повышенными износостойкостью и сопротивлением схватыванию. Разработана технология получения перспективных сплавов с эффектом памяти формы и сверхэластичностью, на основе титана, для производства малоинвазивных изделий медицинского назначения типа «стент» и «кава-фильтр» — NiTiTa и наноструктурный TiNi, с повышенным уровнем коррозионных свойств и биосовместимости, по сравнению с микроструктурным никелидом титана.

Исследованы особенности механического поведения при статическом и циклическом деформировании коррозионностойкой аустенитно-мартенситной трип-стали ВНС-9Ш, идущей на изготовление ответственных изделий авиационной техники. Трип-эффект у этой стали проявляется до скорости деформации — 1 мм/мин. Пластическая деформация связана с тремя основными процессами: скольжения, двойникования и образования мартенсита деформации. Поэтому появлялись: протяженная площадка текучести и эффект Портевена – Ле Шателье на стадии деформационного упрочнения.

За годы существования Лаборатории №10 подготовлено несколько десятков кандидатов наук, многие из которых впоследствии стали докторами наук. Выпущено несколько десятков монографий. Лаборатория проводит регулярную Международную конференцию «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» и Научные чтения «Механические свойства современных конструкционных материалов», посвященные памяти основателя лаборатории члена-корр. РАН СССР И.А. Одинга. Лаборатория также принимала активное участие в создании в 2005 г. журнала «Деформация и разрушение».

В настоящее время в Лаборатории №10 работает отряд молодых ученых, которые в своих исследованиях сохраняют традиции научной школы, заложенные первым ее руководителем — членом-корреспондентом Академии наук Иваном Августовичем Одингом.

Несколько фотографий из моего архива

О.А. Банных

Нельзя не вспомнить, что международные связи у ИМЕТ им. А.А. Байкова, за исключением сложного периода, когда во главе Института стоял Анатолий Иванович Манохин, были хорошими.

На фотографии 1, относящейся ко времени директорства академика Николая Владимировича Агеева, можно видеть его и меня. Мы принимаем директора Шведского королевского металлографического института профессора Роланда Кисслинга. В этом институте я проходил полугодную стажировку. Следует, видимо, показать хотя бы одну фотографию этого времени 2. Сотрудники Института в десять утра традиционно пьют



Фото 1.



Фото 2.

кофе. Напротив меня – Стен Модин, рядом со мной его жена Хельфрид. И он, и она были неординарными специалистами в области металлографии. За другим столом (в глубине) профессор Матс Хиллерт, заслуги которого перед наукой о металлах и сплавах, конечно, всем материалововедам известны. Он всегда был на работе одет, как щёголь.

Хорошая фотография из того времени, когда я был избран президентом Международного общества по термической обработке (3). На ней показаны профессор Томас Белл, пост президент этого общества (слева от меня), я, а также — учёный секретарь этого общества Вуд (оба из Великобритании). Фотография выполнена в Бирмингемском университете, где тогда работал Белл, а я находился в научной командировке.



Фото 3.

Евгений Михайлович Савицкий приглашал многих иностранных учёных. Он тепло принимает японскую делегацию, в присутствии Н.М. Жаворонкова (фото 4 и 5). По одну сторону стола – наши участники (4). Роберт Карасев, любимый ученик академика Самарина, ведёт протокол. Рядом с ним — академик Жаворонков, затем — замечательный человек, бывший фронтовой лётчик Геннадий Дмитриевич Шнырёв (один из заместителей директора). На другой стороне стола – японцы (их, к сожалению, по фотографии не могу узнать) (5).



Фото 4.



Фото 5.

Ещё одна фотография, на которой Николай Павлович Лякишев и я — с руководителями Института РИСТ в Поханге (Южная Корея) (6). С этим институтом ИМЕТ связывали хорошие отношения и даже – хозяйственные договора. По их техническому заданию мы разработали высокопрочную феррито-аустенитную сталь, не содержащую молибден, который был заменён вольфрамом. Полагалось закончить работу совместным патентом, но (вот восточная хитрость!), когда дело дошло до этого этапа, они с сожалением сообщили нам, что японцы уже запатентовали стали такого типа. Для нас это не было серьёзным огорчением, так как в условиях СССР вольфрам, вместо более дешёвого молибдена, для феррито-аустенитных сталей использовать было невыгодно.

Целый ряд фотографий относится к тому периоду времени, когда Президент АН СССР Анатолий Петрович Александров привёл к нам в институт Анатолия Ивановича Манохина. Это произошло после заседа-



Фото 6.

ния Учёного Совета, на котором Манохин заявил, что главными задачами в работе ИМЕТ должны быть помощь ТулаЧерМету (директором которого он был, по совместительству) в пуске второй очереди восьмого цеха, а также разработка проекта ядерного металлургического комплекса (ЯМК). Как ни странно, эти неожиданные заявления были одобрены всеми выступившими членами Учёного Совета, кроме меня. Я сказал, что важнейшей задачей института АН СССР является развитие фундаментальной науки. Манохин был просто взбешён после моего выступления и практически объявил мне — своему первому заместителю, войну. Был приглашён в ИМЕТ Анатолий Петрович Александров. Он приехал вместе с академиком — секретарём нашего Отделения, Николаем Михайловичем Жаворонковым (он был на моей стороне, но, по понятным причинам, вынужден был молчать об этом). Произошла резкая дискуссия, в которой меня поддержали несколько известных учёных, работавших в ИМЕТ.

На первой фотографии — А.И. вводит гостей в курс дела (7). На заднем плане — мои «сторонники»: Кирилл Афанасьевич Осипов и Гиви Николаевич Звиададзе.



Фото 7.



Фото 8.

Затем выступил А.П. (8). Он потребовал полной поддержки директора в его начинаниях. Видно грустное лицо академика Николая Владимировича Агеева, который много лет руководил Институтом. Я Анатолия Петровича, как Президента АН СССР, уважал, но согласиться с ним в нашей конкретной ситуации не мог.

Выразительно третья фотография (9). А.И., прикрываясь ладонью, тихонько говорит мне: «вот какие дела».

Визитом А.П. дело не кончилось. Последовало приглашение к нам директора ВНИИМЕТМАШ, академика Александра Ивановича Целикова и даже заместителя министра чёрной металлургии Серафима Васильевича Колпакова (они были членами Учёного Совета ИМЕТ). На одной из них (10) о наших разногласиях рассказывает он, а на другой – я (11). Оценок ситуации со стороны гостей, как помнится, не последовало.



Фото 9.

Нет фотографии у меня, но осталась в памяти моя встреча с академиком Валерием Алексеевичем Легасовым, состоявшаяся, по его инициативе, в Курчатовском институте, где он был заместителем директора, сразу же после визита к нам А.П. Александрова. Он уговаривал меня включиться в работу по ЯМК. В А. Легасов был выдающийся человек, но последовавшая авария в Чернобыле сломила его дух. Всё же я оказался прав в том, что время для ЯМК тогда ещё не пришло.

Хочется показать фотографию, на которой Президент уже Российской Академии наук Юрий Сергеевич Осипов вручает мне золотую медаль РАН им. Д.К. Чернова (12). Это, конечно, была большая награда за работы по



Фото 10.



Фото 11.



Фото 12.

высокоазотистым сталям. Я всегда жалел, что её нельзя разделить пополам, и одну половину, конечно, заслужил будущий профессор Виктор Михайлович Блинов, мой ближайший помощник в течение десятков лет (и до сих пор!).

Следующую фотографию можно поместить отдельно (лаб.7). Я, Юлий Константинович Ковнеристый (в то время – моя правая рука), Иван Феофанович Зудин с удовлетворением смотрим на результат по окислостойкости безникелевой стали, разработанной нами для применения в металлургии и азотной промышленности. Образец, после выдержки при $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, практически чист от окалина.

Хочется показать фотографию, которая была сделана на юбилее Николая Павловича Лякишева. Игорь Васильевич Горынин, директор ЦНИИ КА «Прометей» обсуждает со мной вопросы развития сотрудничества наших институтов. Между нами в течение многих лет были тёплые, доверительные отношения.



Фото 13.



Фото 14.

Бурханов Геннадий Сергеевич,

*член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор,
дважды лауреат Государственной премии СССР и
лауреат Государственной премии РФ.*

Видный ученый в области физикохимии и технологии получения высокочистых неорганических материалов на основе тугоплавких и редких металлов. Им сформулированы основы металловедения высокочистых тугоплавких и редких металлов и сплавов. Г.С.Бурханов принадлежит к поколению, которое создавало оборонную и технологическую мощь нашей страны. Сочетание теоретических исследований с решением прикладных задач является отличительной особенностью его творческой деятельности. Ему принадлежат заслуги в развитии физико-химической теории очистки металлов и роста металлических монокристаллов, исследовании закономерностей изменения свойств металлических веществ, в зависимости от химического и фазового состава, параметров структуры и различного рода внешних воздействий.

В статье Г.С. Бурханов рассказывает о большом творческом научном пути возглавляемой им лаборатории, о наиболее интересных научных разработках, о самоотверженности и творческой увлеченности ее сотрудников. На основе выполненных в лаборатории фундаментальных исследований разработан большой спектр многофункциональных материалов, применение которых позволило решить ряд важных для страны научно-технических задач.

Лаборатория физикохимии тугоплавких и редких металлов и сплавов

Член-корр. РАН Бурханов Г.С.

История создания, научные разработки и факты

В 1950 году, по инициативе академика Белорусской АН Сергея Ивановича Губкина, в структуре Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова создается Лаборатория механических испытаний. С.И. Губкин развивает свою научную школу и новое научное направление, в котором вопросы теории и практики пластической деформации связываются с методологией физико-химического анализа. Лабораторию возглавил ученик и соавтор многих работ Сергея Ивановича, доктор химических наук, профессор Савицкий Евгений Михайлович (впоследствии член-корр. АН СССР). Сложившаяся в послевоенные 45 – 50-е годы международная обстановка внесла коррективы в тематику лаборатории. Основным содержанием ее работ становится «урановая» тематика.

Эксперименты велись в специальной «горячей» лаборатории. Сотрудники работали, по словам Е.М. Савицкого, в «мобилизационном режиме», осознанно принося своё здоровье на алтарь Отечества. С «урановой» тематикой было связано и начало работ с редкоземельными металлами – химическими аналогами актиноидов. Особое внимание уделялось церию, иттрию, гадолинию, самарию и некоторым другим, близким по своим свойствам актиноидам. В дальнейшем эти работы получили в лаборатории большое развитие — в фундаментальном и прикладном аспектах.

В 1953 г. лаборатория переводится из ИОНХ АН СССР в ИМЕТ. Новые задачи изменяют объекты исследования, тематику и название лаборатории — «редких металлов и сплавов», в дальнейшем — «физикохимии тугоплавких и редких металлов и сплавов», более точно отражающее объекты исследования и научный профиль. В ее составе вошла и группа благородных металлов с д.х.н. А.А. Рудницким, которая внесла большой вклад в развитие термоэлектрических методов изучения превращений в металлах и сплавах и измерения температуры.

Согласно принятой классификации, к редким относят элементы с ограниченными сырьевыми ресурсами, относительной малотоннажностью производства и широким спектром областей применения, рис.1 [1]. После перехода в ИМЕТ «урановая» тематика передается в Сектор топливных и реакторных материалов Академии наук, расформированный в 90-ые годы. В 1984 году, в связи с кончиной Е.М. Савицкого, лабораторию возглавил автор настоящей статьи. С момента создания лаборатории из нее вышли десятки докторов и более 100 кандидатов наук, три сотрудника были избраны в АН СССР/РАН.

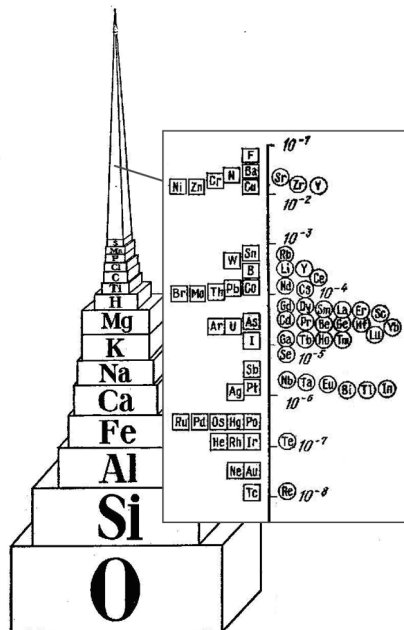


Рис. 1. Объекты лаборатории.

Приоритетные направления исследований:

- физико-химический анализ редких металлов и сплавов;
- глубокая очистка и кристаллизация металлических систем;
- многофункциональные материалы на основе тугоплавких металлов и соединений;
- эффективные плоские мембраны из сплавов палладия для извлечения высокочистого водорода из парогазовых смесей;
- магнитотвердые и сверхпроводящие материалы.

Научная методология – физико-химический анализ во взаимосвязи с физикой конденсированного состояния, термодинамикой, электронной теорией металлов, информационными технологиями [2].

Международные научные связи

По инициативе лаборатории, ИМЕТ РАН совместно с АО НПО «Композит» один раз в 2 года проводят, с участием зарубежных научных школ, Международную конференцию в г. Суздаль «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества» — с элементами научной школы для молодежи, рис.2. Успешно выполнялись также совместные работы лаборатории с научной школой во Вроцлаве, основа-



Рис. 2. Президиум международной конференции «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества», Суздаль 2012г.



Рис. 3. Исполнители проекта ERA.NET RUS Plus Innovation (Международная Лаборатория сильных полей и низких температур ПАН, г. Вроцлав, 1 – 2 октября 2015 г.).

телем которой был академик В. Тшебятковский — выдающийся организатор польской науки. На рис. 3 — исполнители Международного (Россия — Польша — Германия) проекта ERA.NET RUS Plus «Разработка низкотемпературных магнитотвердых материалов и высокополевых сверхпроводников с высокими критическими токами на основе соединений железа для инновационных технологий» в Международной Лаборатории сильных полей и низких температур (г. Вроцлав).

В настоящее время, в рамках Федеральной целевой программы приоритетных направлений России на 2014 – 2020 годы, совместно с Техническим университетом (VSB) г. Остравы (Чехия) ведется работа по проекту: «Разработка физико-химических и технологических основ для создания ресурсосберегающего способа получения высокоэнергетических и высококоэрцитивных постоянных магнитов (Nd,R)-Fe-B (R=Pr, Tb, Dy, Ho) с пониженным содержанием редкоземельных компонент». Соисполнители проекта – АО «Спецмагнит» и кафедра физического металловедения МИСИС.

Творческие контакты поддерживались с выдающимися американскими химиками Ф. Спеддингом, А. Дааном, К. Гшнейднером (в области актиноидов, трансурановых и редкоземельных элементов) (рис. 4 и 5).

Ряд монографий сотрудников лаборатории были изданы в США, Англии, Германии, Израиле. В 1986 г., совместно с немецкими учеными,



Рис. 4. В центре, слева — направо: Ф. Спеддинг и Е.М. Савицкий. США, 70-е годы.



a



б

Рис. 5. Визиты К. Гшейднера в ИМЕТ АН СССР 60-е (а) и 80-е (б) годы.

Издательством «Металлургия» выпущена монография «Тугоплавкие металлы и сплавы», под редакцией Г.С. Бурханова и Ю.В. Ефимова.

Научные разработки

Физико-химический анализ металлических систем

Исследовано более 300 химических диаграмм с участием редких металлов, данные о которых содержатся в справочниках и активно развиваемых компьютерных базах [2].

Установлено строго аддитивное изменение свойств квантовой природы в области твердых растворов и гомогенности промежуточных фаз (рис. 6) [3].

Предложены новые геометрические способы отображения сложных химических диаграмм, разработан метод сингулярной триангуляции [4].

Осуществлен прогноз еще не синтезированных соединений, на основе данных о свойствах их химических элементов [5]. Ещё в 70-е годы, впервые, для физико-химических объектов были заложены идеи и методы обучения ЭВМ распознаванию образов [6].

Сформировались такие понятия, как размерно-структурный и примесный факторы, которые продолжают развиваться в наших исследованиях. Размерно-структурный фактор включает: геометрию образца, дисперсность структуры, физическую границу перехода наночастицы от кластерного в конденсированное состояние, различные типы кластеров [7].

Высокая каталитическая и химическая активность наночастиц позволяет осуществить реакции, которые не протекают с массивными реагентами; например, синтезировать соединения алюминия и меди со

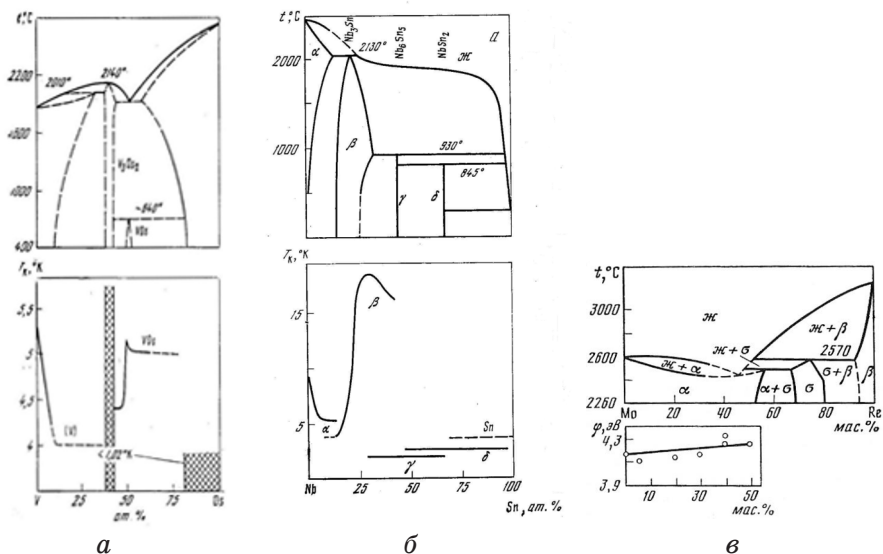


Рис. 6. Изменение температуры перехода в сверхпроводящее состояние сплавов ванадий – осмий и ниобий – олово (а); изменение работы выхода сплавов молибден – рений (б).

щелочными металлами, вольфрама и кремния с цинком [8,9]. При этом все они носили сильно экзотермический характер, например, для AlNa $\Delta H \sim 70$ ккал.

Обнаружен еще один эффект, связанный с размерным фактором. Нанесение на сверхпроводящую подложку из ниобия тонкой медной пленки, соизмеримой с когерентностью куперовской пары, приводит к возникновению в ней сверхпроводимости.

Примесный фактор может быть эффективным способом управления свойствами материалов или играть негативную роль, ухудшая их технологические свойства, маскируя вклад основного вещества из-за побочных эффектов, особенно при низких температурах и в сильных магнитных полях. С развитием фундаментальных исследований и нанотехнологий, ужесточаются требования к чистоте вещества [10]. По Г.Г. Девятым различают вещества технической, особой (ОЧВ) и высокой (ВЧВ) чистоты, а также абсолютно чистые (АЧВ) по отдельной примеси. Только незначительная часть металлов имеет чистоту, отвечающую уровню высокочистых веществ, среди них галлий и алюминий, а основная часть, в том числе и редкоземельные, относится к особочистым веществам [11]. Несмотря на достигнутые успехи, предстоит еще много сделать для их более полного разделения и достижения уровня ВЧВ. Достигнуть уровня АЧВ по отдельной примеси, даже для наиболее чистых веществ, — задача

исключительно трудная. В рамках проблемы детектирования солнечных нейтрино предложена методика внесения в массу галлия тестируемой примеси ^{71}Ge на уровне концентрации примеси $10^{-29} - 10^{-24}$ ат.%, близкой к уровню чистоты АЧВ по реакции $^{71}\text{Ga} + \nu \rightarrow ^{71}\text{Ge}$, и ее полного удаления. Определение атомов ^{71}Ge проводилось в глубинной шахте Баксанской нейтринной обсерватории в экранированном помещении, обеспечивающим проникновение только нейтрино. Итоговый результат совместной работы — Ga можно эффективно очищать не только от германия, но и от других примесей путем их концентрации в оксидной пленке [12].

Наряду с примесным составом, в понятие чистоты металлического вещества стали входить типы и плотность кристаллографических дефектов. Раздельное влияние примесей и кристаллографических дефектов оказалось сопоставимым [3].

Установлено индивидуальное влияние примеси того или иного химического элемента и типа кристаллографического дефекта на конкретное свойство. Влияние примесей на теплоемкость РЗМ тем значительнее, чем больше отличаются по массе атомы примеси от атомов основного вещества и чем выше потенциал их взаимодействия с этим веществом, по сравнению с потенциалом взаимодействия между его атомами [10].

Примесный фактор влияет на геометрический комплекс химической диаграммы, отражающей области первичных твердых растворов и промежуточных фаз, их появление или исчезновение, характер и последовательность протекающих фазовых превращений.

Наряду с примесным составом и содержанием кристаллографических дефектов, понятие чистоты вещества включает изотопный состав, который определяет не только его ядерные, но и теплофизические свойства, плотность. При криогенных температурах обнаружен ядерный вклад в теплоемкость моноизотопных РЗМ с большим ядерным магнитным моментом (возрастает с массой). У церия с нулевым ядерным моментом этот эффект не наблюдается [13].

Глубокая очистка и кристаллизация

Методы глубокой очистки металлов от примесей основаны на различии в межмолекулярном взаимодействии и классифицируются на дистилляционные, сорбционные, кристаллизационные и термодиффузии [10]. Высокий уровень экспериментальных и теоретических разработок дистилляционных методов обеспечил эффективную очистку редкоземельных металлов [14,15]. Мы можем конкурировать с отечественными и зарубежными фирмами, особенно по содержанию газообразующих примесей.

Для очистки тугоплавких и платиновых металлов в лаборатории используется зонное рафинирование. Дальнейшее развитие получила тео-

рия зонного рафинирования, позволяющая оптимизировать ее режимы [16].

Морфология фронта кристаллизации – важнейший фактор, определяющий эффективность очистки и совершенство структуры растущего кристалла. Впервые выполнены экспериментальные исследования концентрационного переохлаждения тугоплавких систем. Рассмотрены условия перехода от плоского фронта кристаллизации к ячеистому и дендритному, вопросы автоколебательной кристаллизации, анизотропии скорости роста. Построены графики $X_0 - (\sqrt{T_</math>/ $v^{1/2}$), отражающие условия переходов для систем W–V, W–Re, W–C. Здесь X_0 – содержание допируемого элемента, $\sqrt{T_</math> – температурный градиент жидкой фазы, v – скорость кристаллизации [10].$$

Высокочистые редкоземельные металлы как объекты фундаментальных исследований

Большой интерес представляет использование редкоземельных металлов в качестве одного из компонентов химических соединений.

На основе соединений RMe_5 , R_2Me_{17} , R_2Fe_{14} В продолжаются разработки новых магнитных материалов с повышенными гистерезисными свойствами и температурно-временной стабильностью.

Большое внимание привлекают фазы Лавеса $R_xR_{1-x}(Fe,Co)_2$ с гигантской магнитострикцией при комнатной и криогенной температурах, а также с большим магнитотепловым эффектом [17,18].

Синтезированы фазы с переменной валентностью ($CeNi_5 - CeCu_5$, $CeCo_5 - CeCu_5$), которые могут быть элементами памяти в системах информации, термостойкими пленочными резисторами, высокоомными элементами сопротивления.

Синтезированы цветные соединения RPd и RPd_3 для исследования их оптических и магнитных свойств.

Высокочистый $PrNi_5$ используется для получения сверхнизких температур — до 0,001 К (моноизотопный празеодим имеет большой ядерный магнитный момент).

Тугоплавкие металлические монокристаллы

По инициативе ИМЕТ АН СССР, в 60-е годы начинаются работы по выращиванию и изучению свойств монокристаллов тугоплавких металлов и сплавов, что было связано с новыми требованиями специальной техники к функциональным металлическим материалам. Были получены монокристаллы практически всех тугоплавких металлов. Они стали не только объектом фундаментальных исследований, но и материалами нового поколения техники [19]. С использованием зонного рафинирования, получены монокристаллы сплавов молибдена и вольфрама с рением,



Рис. 7. Академик А.П. Александров знакомится с плазменной технологией выращивания монокристаллов.

молибдена с ниобием и другие — при пониженном содержании примесей, высокой однородности химического состава и стабильности свойств.

Наряду с электронно-лучевой, была разработана плазменно-дуговая зонная плавка, позволившая получить крупные и профилированные монокристаллы тугоплавких металлов (диаметром до 50 и длиной до 300 мм), а также монокристаллы веществ любой тугоплавкости с температурой плавления выше, чем у вольфрама. Монокристаллы тугоплавких металлов и сплавов оказались перспективными объектами ядерной физики.

На рис. 7 — акад. А.П. Александров знакомится с плазменной технологией выращивания тугоплавких монокристаллов [20]. Для повышения эффективности очистки предложен дуплекс-процесс — зонная плавка с последовательным применением плазменно-дугового и электронно-лучевого нагрева. Особый интерес представляет использование плазмы щелочных и щелочноземельных металлов, которая выполняет многофункциональное назначение — нагрев, контроль атмосферы, легирование компонентами плазмы. Впервые в металлургическом процессе была использована металлическая плазма, которая резко повышала пластичность вольфрама.

Многофункциональные материалы на основе тугоплавких металлов и соединений

Этому направлению уделялось особое внимание целенаправленно для решения постоянно возникающих задач ракетно-космической и атомной техники [21-23]. Основные компоненты разрабатываемых сплавов – ит-

трий, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал молибден, вольфрам, рений.

Удачное сочетание высокой прочности, пластичности, коррозионной стойкости делает ниобий перспективной основой для высокотемпературных конструкционных материалов. Из легирующих элементов наиболее эффективные твердорастворные упрочнители ниобия — это вольфрам и молибден; титан, цирконий, гафний — дисперсионно твердеющие. На этой основе в лаборатории разработан наиболее высокопрочный, среди всех известных, ниобиевый сплав РН-6. Его длительная прочность за 100 часов, при 1200 °С — 110 МПа.

Вновь большое значение для атомной энергетики и ракетно-космической техники приобретают сплавы молибдена. Проводятся работы по их модернизации и разработке инновационных технологий. Одна из выполненных недавно, совместно с МАИ, работ — изготовление молибденовых электродов высокочастотных ионных двигателей — коррекции траекторий космических орбит.

Несмотря на ограниченность сырьевых ресурсов, исключительное значение могут приобрести танталовые сплавы с вольфрамом и молибденом, благодаря их высокой прочности, пластичности, коррозионной стойкости.

Особый интерес представляют разработанные в лаборатории жаропрочные сплавы вольфрама и молибдена с рением, получившие широкую известность (ВР-27ВП и МР-47ВП), являющиеся рекордсменами по тугоплавкости и жаропрочности среди металлических сплавов [24]. Рений — единственный наиболее эффективный элемент, который может быть допирован в вольфрам и молибден до предела насыщения твердых растворов (30 и 50 масс.%, соответственно), при одновременном увеличении пластичности и прочности [25]. Одна из важнейших причин «рениевого» эффекта — нейтрализация охрупчивающего действия карбидов и оксидов, вследствие изменения их растворимости и морфологии [26]. Повышение степени чистоты сплавов вольфрама и молибдена с рением приводит к еще большему росту их технологической пластичности, при сохранении повышенного сопротивления ползучести в широком диапазоне температур. Изучается присутствие «рениевого» эффекта на других системах рения с переходными металлами.

Продолжается поиск путей дальнейшего роста жаропрочности материалов для работы в более экстремальных условиях.

Тугоплавкие монокарбиды и дибориды переходных металлов

Все разработанные на сегодняшний день наиболее жаропрочные сплавы тугоплавких металлов не могут длительно эксплуатироваться при температурах выше 1000 °С. Поэтому внимание привлекают монокарбиды и дибориды переходных металлов IV – V групп периодической системы,

отличающиеся наибольшей тугоплавкостью и высокими кинетическими свойствами, присущими металлическому состоянию [27]. Температуры плавления монокарбидов гафния и тантала 3900 и 3800 °С, соответственно, диборида гафния HfB_2 всего на 130 °С ниже, чем у вольфрама. Все изоморфные пары монокарбидов и диборидов, отвечающие объемному правилу Юм-Розери, обладают неограниченной взаимной растворимостью.

Особый интерес представляет исследование системы двух самых тугоплавких монокарбидов гафния и тантала, в которой обнаружено соединение HfTa_4C_5 с рекордной тугоплавкостью (> 4000 °С), среди всех известных синтезированных веществ. Проводится активный поиск способов и технологий, позволяющих использовать монокарбиды и дибориды переходных металлов в качестве основных компонентов композиционных материалов.

На основе карбидов и боридов переходных металлов были разработаны высокотемпературные термодпары (до 2500 °С), термоэммиттеры, микросхемы и другие функциональные материалы [28,29]. Показана хорошая адгезия этих соединений на арсениде галлия, сталях, стеклах, керамике и перспективность применения в качестве элементов микросхем. Рассматривается возможность использования диборидов и монокарбидов переходных металлов в качестве защитных покрытий конструкционных и функциональных материалов.

Тугоплавкие эвтектики

На стыке 70 – 80 г. прошлого столетия, на базе разработанной плазменной технологии, в лаборатории были выполнены эксперименты по направленной кристаллизации тугоплавких эвтектик $\text{W}-\text{W}_2\text{C}$ и $\text{Nb}-\text{Nb}_2\text{C}$ и получены, через жидкую фазу, своеобразные композиты, с исключительными результатами по прочности и сопротивлению разрушению [20,22]. Получена новая информация о физико-химической природе эвтектики. Установлено сопряжение ее металлической и карбидной фаз кристаллографическими плоскостями с малыми индексами, и, как следствие, — их высокое сопротивление зарождению и развитию трещин в переходной зоне контакта. Острый максимум, который первые исследователи ошибочно принимали за химическое соединение, теперь можно объяснить появлением сильной межатомной связи в переходной контактной зоне кристаллографических плоскостей эвтектических фаз.

Еще несколько слов об одном оригинальном «эвтектическом» эксперименте того периода, но уже с легкоплавкими доэвтектическими составами. Эвтектическая составляющая выплавлялась из сплава, а оставшиеся от эвтектики пустоты заполнялись веществом любой природы — от органики до металлов. Создавалась возможность управления широким спектром свойств.

Прецизионные сплавы платиновых металлов

В лаборатории с 1970 года начинается исследование взаимодействия металлов платиновой группы (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) с другими переходными металлами. Освоено получение высокочистых монокристаллов платиновых металлов. Разработаны потенциометрические и контактные материалы. Широкое применение получил потенциометрический сплав ПдВ-20 (Pd — 20 % W). Создавались эталонные образцы, оказывалась консультационная поддержка контролирующим органам.

Палладий — единственный водородопроницаемый металл, на основе которого разработаны мембранные материалы фильтрующих элементов.

Эффективные мембраны из сплавов палладия для извлечения высокочистого водорода из водород-содержащих газовых смесей

Извлечение водорода из водородосодержащих парогазовых смесей, с помощью плоских мембран из сплавов палладия, является успешно развиваемым лабораторией способом получения наиболее чистого водорода (99.9999 об. %), реализуемым в одну стадию, при наименьших эксплуатационных и капитальных затратах [25]. Это эффективный, экологически безопасный и ресурсосберегающий способ.

Проведенное комплексное исследование мембранных характеристик сплавов PdInRu, PdRu, PdCu и PdY позволило рекомендовать каждый из них для эффективной работы в определенных газовых средах [30]. Из этих сплавов были получены вакуумноплотные фольги толщиной до 30 мкм, и на их основе разработаны и созданы опытнопромышленные фильтрующие элементы с плоскими мембранами. Проводилось изучение термоконцентрационной дилатации, результаты которого имеют первостепенное значение при конструировании мембранных элементов. Наименьший коэффициент дилатации оказался у сплава PdRu, диапазон его рабочих температур: 150 – 500 °С. На рис. 8 показаны фильтрующий элемент из сплава PdRu и модуль из них, производительностью 500 м³/ч [31]. Оптимизированы режимы извлечения высокочистого водорода из водородосодержащих газовых смесей. Обнаружено резкое (на порядок) возрастание водородопроницаемости палладия при допировании его иттрием до 7 масс.% — иттриевый эффект.

Показана возможность разделения изотопов водорода фильтрующими элементами из сплавов палладия с рутением.

Основные направления магнитных разработок лаборатории

Продолжается поиск новых магнитотвердых материалов с более высокими характеристиками, по сравнению с уже достигнутыми на Nd₂Fe₁₄B. Добиться превышения рекордного значения ((BH)_{max} = 460 кДж/м³) является, по нашему мнению, вполне реальной задачей, не имеющей принципиальных теоретических ограничений. Просматриваются некоторые пути ее решения.

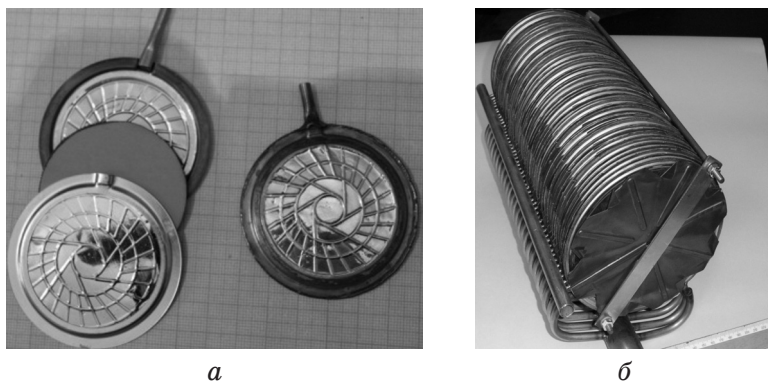


Рис. 8. Фильтрующие элементы (а) и модуль диффузионной очистки (б) из сплавов Pd-Ru производительностью 500 м³/час.

По-прежнему актуальным остается снижение содержания редкоземельных металлов в постоянных магнитах, вплоть до полного их исключения для ряда применений.

Альтернативой разработкам постоянных магнитов является вмораживание магнитного поля в сверхпроводники 2-го рода (>15 Тл против 1,5 Тл — максимального достижения для постоянных магнитов).

Совместно с АО «Спецмагнит» разработан высокоэнергетический магнит на основе $(Nd_{1-x}Pr_x)_2Fe_{14}B$ для низких и криогенных температур, с частичным замещением неодима празеодимом - для снижения температуры спин-переориентационного перехода и роста стабильности [33].

Предложен способ изготовления термостабильных редкоземельных магнитов, который включает выплавку и гидридную технологию [32].

Одно из успешных направлений — развитие разработок и производства, совместно с АО НПО «Магнетон» (г. Владимир), монокристаллических постоянных магнитов на основе многокомпонентной системы Fe-Co-Ni-Cu-Al-Ti [29]. Монокристаллы из этих сплавов позволили создать 4-х полюсные магниты с максимальным значением по полюсам и повышенной однородностью магнитного поля, что совершенно недостижимо на магнитах с поликристаллической структурой. Эту уникальную особенность монокристаллических магнитов используют при изготовлении мощных бесконтактных электродвигателей с повышенной плавностью хода — для стыковочных узлов космических аппаратов. Другое их преимущество — высокая температурно-временная стабильность, которая значительно превосходит стабильность всех известных спеченных постоянных магнитов. Монокристаллические магниты успешно применяются в современных ракетных комплексах: «Тополь-М», «Искандер», «Булава» и др. Используются они и в морской навигации для гражданских и боевых кораблей (рис. 9) [34].



Рис. 9. Старт ракеты «Булава» с подводной лодки (из доклада акад. Семенова на Президиуме РАН. Снимок заимствован из журнала «Вестник РАН»).

Развитие сверхпроводимости и новые факты

С 60-ых по 90-е годы поиск новых сверхпроводников идет среди систем с металлической проводимостью, и их критическая температура не выходит за пределы криогенной области. Первые технические сверхпроводники, разработанные в лаборатории, — провода из сплавов Nb–Ti, Nb–Zr, Nb–Ti–Zr и соленоиды из них.

Следующий этап был связан с разработкой технологий многожильных сверхпроводящих кабелей в медной матрице (фазы со структурой β -вольфрама (типа A15) – Nb₃Sn, Nb₃Al, Nb₃Ge) [35]. Наряду с кабельной продукцией, разрабатывались пленочные сверхпроводники со структурой типа B1 на основе NbN. Они отличались рекордными значениями критических полей и токов. Оригинальной разработкой лаборатории в начале 80-х годов стали сверхпроводники из фаз Шевреля (PbMo₆S₈, SnMo₆S₈, в том числе, с добавками редкоземельных металлов) в виде длинномерных проводов. Они отличались также достаточно высокими сверхпроводящими параметрами ($J_K \sim 2 \cdot 10^8$ Ам/м² в поле 8 Тл при 4.2 К; $B_{K2} \sim 40$ Тл).

Открытие купратных, а затем и других оксидных сверхпроводящих систем инициировало поиск ВТСП — соединений. Многие из них содержали ферромагнитный компонент. Совместно с акад. А.М. Прохоровым были синтезированы и подробно изучены свободные от примесных фаз высокочистые бориды типа RERh₄B₄ [36]. В зависимости от входящего в них редкоземельного металла, они могли быть сверхпроводниками, кооперативными магнетиками или совмещать сверхпроводимость и магнетизм. На таких высокочистых сверхпроводниках обнаружены новые интересные факты, которые приводились в докладе на Президиуме РАН (рис. 10 и 11).



Рис. 10. Доклад на Президиуме РАН чл.корр. РАН Г.С. Бурханова.



Рис. 11. Акад. А.М. Прохоров и чл.корр. РАН Г.С. Бурханов после доклада на Президиуме РАН. (Снимок заимствован из журнала «Вестник РАН»).

Возникновение сверхпроводимости на фоне ферромагнетизма и резкое возрастание с отклонением от параболической зависимости верхнего критического поля ($B_{K2}(T)$), при переходе в антиферромагнитное состояние, обнаружено на соединениях $DyRh_xRu_{1-x}B_4$ (тип $LuRu_4B_4$; этот результат был отмечен как одно из достижений РАН (рис. 12) [37]). Анализ данной ситуации, с использованием функции Гиббса, подтвердил повышение термодинамической стабильности сверхпроводника при магнитном фазовом переходе ферромагнетик — антиферромагнетик [38]. Совмещение двух

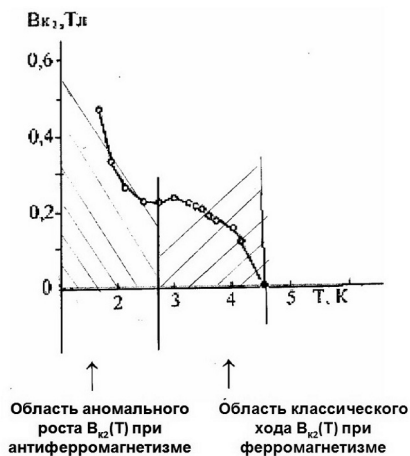


Рис. 12. Влияние магнитной подсистемы на аномальный рост верхнего критического поля $H_{c2}(T)$ тройного борида родия $DyRh_4B_4$.

указанных систем в однофазном образце оказалось возможным использовать как один из подходов для повышения устойчивости и критической температуры сверхпроводящего перехода. Этот результат коррелирует с более высоким значением параметра порядка $2\Delta(0)/k_B T_K$, равным 4 для $Du_{0.8}Y_{0.2}Rh_{3.8}Ru_{0.2}B_4$ (триплетного сверхпроводника), по сравнению с значением 3,2 для синглетных сверхпроводников (Δ энергетическая щель). Перед нами — дополнительное доказательство вероятности появления нового типа упорядоченной электронной системы сверхпроводника с более прочной межэлектронной связью, по сравнению с куперовскими парами).

Другая аномалия магнитных сверхпроводников, выходящая за рамки классической теории БКШ, заключается в появлении у них парамагнитного эффекта Мейснера.

Интерес к аномальным явлениям в новых сверхпроводниках объясняется не только стремлением глубже понять их природу, но и найти новые подходы к росту их стабильности и критической температуры.

Аномальные эффекты при интеркалировании слоистых структур были получены на селениде железа и дисульфиде молибдена [39].

При облучении ионами водорода образца селенида железа, состоящего из двух пространственно разделенных, но находящихся в контакте фаз — парамагнитной $FeSe_{0.88}$ и ферромагнитной $FeSe$, установлено уменьшение ширины сверхпроводящего перехода $FeSe_{0.88}$ и его сохранение под воздействием внешнего магнитного поля намагниченной ферромагнитной фазы (1 – 1,5 Тл).

При внедрении ионов водорода между слоями кристаллической решетки массивного образца MoS_2 , наряду с Ван-дер-Ваальсовскими сила-

ми, возникают Н-связи, что приводит к формированию гидрида $\text{MoS}_2\text{H}_{0,38}$ и резкому (на порядок) скачку удельного электросопротивления.

Воздействие на пленочный полупроводник MoS_2 непрерывного потока ионов водорода, в условиях динамического равновесия, приводит к гигантскому возрастанию электропроводности (на 4 порядка) и исчезновению этого эффекта, с прекращением воздействия. Предполагается, что инжектируемые к поверхности пленки протоны создают значительное количество свободных носителей зарядов.

Основные итоги работы лаборатории

1. Изучено свыше 300 химических диаграмм с участием тугоплавких, благородных, платиновых и редкоземельных металлов, которые содержат необходимую информацию для разработки материалов с заданными свойствами и технологий их производства.

2. Дальнейшее развитие получили геометрические методы отображения химических диаграмм, теория и методы обучения ЭВМ распознаванию образцов, взаимосвязь физико-химического анализа с электронной теорией металлов.

3. На базе большого экспериментального материала и методологии физико-химического анализа разработаны основы металловедения сплавов тугоплавких и редких металлов.

4. Дальнейшее развитие получили размерноструктурный и примесный факторы, в их взаимосвязи. Сформировано новое направление в химии высокочистых веществ: «Высокочистые и монокристаллические металлические материалы».

5. Создается новый класс редкоземельных магнитов для низких и криогенных температур. Одно из успешно развиваемых направлений – высокостабильные монокристаллические постоянные магниты. Синтезированы новые магнитные сверхпроводники с аномальными свойствами.

6. Разработаны палладиевые сплавы и плоские мембраны из них с высокой водородопроницаемостью, жаропрочностью и коррозионной стойкостью, эффективные фильтрующие элементы и модули на любую требуемую производительность, обеспечивающие получение водорода рекордной чистоты (99,9999 об. %).

7. Выполнен большой комплекс работ, связанных с оборонной тематикой, которые были удостоены Государственных премий.

Группа сотрудников лаборатории, во главе с Е.М. Савицким, была удостоена Государственной премии СССР за 1968 г. (рис.13), совместно с НПО «Исток» и «Плутон».

Госпремия СССР за 1986 г в области науки и техники присуждена Г.С. Бурханову (совместно с НПО «Луч») — «За создание новых сплавов».

Госпремия РФ за 1999 г в области науки и техники присуждена Г.С. Бурханову (совместно со специалистами НПО «Магнетон») — «За разработку и промышленное освоение новой ресурсосберегающей техно-



Рис. 13. Коллектив сотрудников лаборатории с Е.М. Савицким – руководителем работы Гос. Премии СССР.



Рис. 14. Вручение Гос. Премии РФ чл.корр. РАН Г.С. Бурханову.

логии производства литых кобальтосодержащих постоянных магнитов, в том числе монокристаллических» (рис. 14).

За последние годы, совместно с лабораторией № 15 (д.т.н. В.С. Юсупов), выполнен успешно ряд контрактов для разработок ракетно-космической и атомной техники. По ряду фундаментальных исследований налажены творческие контакты с лабораторией академика К.А. Солнцева.

Литература

1. М.Е. Дриц, П.Б. Будберг, Г.С. Бурханов, А.М. Дриц, В.М. Пановко. Справочник. Свойства элементов. Под ред. М.Е. Дрица. М. Металлургия 1985, 672 с.

2. Г.С. Бурханов. Физико-химический анализ в металловедении. Журнал неорганической химии, 2010, 55 (11) с.1803-1815.
3. Е.М. Савицкий, Г.С. Бурханов. Редкие металлы и сплавы. Физико-химический анализ и металловедение. М. Наука, 1980, 255 с.
4. А.М. Захаров. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. М. Металлургия, 1978, 293 с.
5. Г.С. Бурханов, Н.Н. Киселева. Прогнозирование интерметаллических соединений. Успехи химии, 2009, 78 (6), с. 615-633.
6. Н.Н. Киселева. Компьютерное конструирование неорганических соединений. Использование баз данных и методов искусственного интеллекта. М. Наука, 2005.
7. Г.С. Бурханов, Ю.С. Бурханов. Современные подходы к созданию функциональных металлических материалов. Журнал функциональных материалов, 2008, 2 (1), с.4-14.
8. Ю.С. Бурханов, Г.С. Бурханов. Металлы, 2009, 5, с.441
9. Ю.С. Бурханов, Г.С. Бурханов. О возможности химического взаимодействия цинка и олова с кремнием и его диоксидом. Химическая технология, 2010, 2, с.72-75.
10. Г.Г. Девярых, Г.С. Бурханов. Высокочистые тугоплавкие и редкие металлы. М. Наука, 1993, 222 с.
11. Г.Г. Девярых, Ю.А. Карпов, Л.И. Осипова. Выставка – коллекция веществ особой чистоты. М.Наука, 2003, 236 с.
12. Г.С. Бурханов, В.А. Артемьев, С.М. Киреев. О возможности извлечения единичных атомов примеси из макроскопических веществ, ДАН, физическая химия, 2011, 439 (5), с. 1-4.
13. Г.С. Бурханов. Редкие металлы и их металлические фазы – потенциальные объекты ядерной резонансной спектроскопии. Известия РАН серия физическая, 2013, 77(6), с. 718-725.
14. Г.С. Бурханов, Н.Б. Кольчугина, Ю.С. Бурханов. Высокочистые редкоземельные металлы - стратегический резерв для создания нового поколения материалов функционального назначения. Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение Функциональные материалы: сб. - М.: Изд-во МГУ, 2005, с. 13-33.
15. Ю.С. Бурханов, Г.С. Бурханов, Ю.К. Ковнеристый. Термодинамический анализ дистилляционных процессов очистки металлов. ДАН физическая химия, 2006, 409 (6), с. 242-246.
16. Г.Г. Девярых, Ю.С. Бурханов, Г.С. Бурханов. Высокочистые вещества, Оптимизация параметров зонного рафинирования. 1991, 6, с.48-58.
17. Политова Г.А., Бурханов Г.С., Терешина И.С., Каминская Т.П., Чжан В.Б., Терешина Е.А. Влияние легирования алюминием и железом на структуру, магнитные и магнитокалорические свойства многокомпонентных сплавов Tb-Dy-Нo-Co. Журнал технической физики, 2017, 87 (4), с. 557-562
18. Politova G.A., Pankratov N.Yu, Vanina P.Yu, Filimonov A.V., Rudskoy A.I., Burkhanov G.S., Plyushin A.S., Tereshina I.S. Magnetocaloric effect and magnetostrictive deformation in Tb-Dy-Gd-Co-Al with Laves phase structure. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2018, DOI: 10.1016/j.jmmm.2017.11.016

19. Н.П. Лякишев, Г.С. Бурханов. Металлические монокристаллы. Элиз М, 2002, 310.
20. Г.С. Бурханов, В.М. Шишин, В.А. Кузьмищев, Н.Н. Сергеев, Г.Э. Шнырев. Плазменное выращивание тугоплавких монокристаллов. М. Металлургия, 1981, 194 с.
21. Г.С. Бурханов. Конструкционные материалы на основе редких металлов. Металлы, 2001, 5, с.57-61.
22. И. В. Горынин, Г.С. Бурханов, Б.В. Формаковский. Перспективы разработки материалов на основе тугоплавких металлов и соединений. Вопросы металловедения. 2012, 20 (7), с. 5-15.
23. Г.С. Бурханов, Ю.С. Бурханов. Современные подходы к созданию функциональных материалов. Журнал функциональных материалов, 2008, ч.2, с.47-56.
24. Е.М. Савицкий, М.А. Тылкина, К.Б. Поварова. Сплавы рения. М.Наука, 1965. 323 с.
25. К.Б. Поварова. Конструкционные материалы вольфрама и рения. В кн. Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова. 60 лет М.:ЭЛИЗ, 1998, с.201-212
26. E.M. Savitsky, G.S. Burkhanov, V.M. Kirillova. Analytical methods high melting metals. Berlin, Heidelberg. Springer Verlag. 1982, p.107-149.
27. Г.С. Бурханов, В.А. Дементьев. Тугоплавкие монокарбиды и дибориды переходных металлов – перспективные компоненты высокотемпературных композиционных материалов. Вопросы материаловедения, 2017, 2 (50), с. 57-67.
28. Г.С. Бурханов. Кристаллизация карбидов и боридов переходных металлов из их расплавов//ЖВХО.-1985.Т.30, №6.-С.485-493 Журнал Менделеев
29. И.П. Куритный, Г.С. Бурханов, Б.И. Стадник. Материалы высокотемпературной термометрии. М. Металлургиздат, 1981, 208 с.
30. Г.С. Бурханов, Н.Б. Горина, Н.Р. Рошан. Сплавы для водородной энергетики. Росс.хим. журнал российского химического общества им. Д.И. Менделеева, 2006, 4, с. 36-40.
31. G.S. Burkhanov, N.B. Gorina, N.B. Kolchugina, N.R. Roshan. Palladium-Based Alloy Membranes for Separation of High Purity Hydrogen from Hydrogen – Containing Gas Mixtures. Platinum Metals Review 2011, 55(1) p. 3 - 12.
32. Г.С. Бурханов, А.А. Лукин, Н.Б. Кольчугина, Н.Е. Ключева, К. Скотницева. Роль добавок гидрида тербия в формировании микроструктуры и магнитных свойств спеченных магнитов системы Nd-Pr-Dy-Fe-B. Физика и химия обработки материалов, 2012, 1, с. 70-73.
33. Патент. №2493628, Российская Федерация, МПК H01F 1/053 B22F 3/12. Способ изготовления термостабильных магнитов / Бурханов Г.С., Лукин А.А., Перевощиков П.С., Сергеев С.В., Кольчугина Н.Б., Дормидонтов А.Г.; заявитель и патентообладатель - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (RU) и ООО «Магниты и магнитные системы» (RU). № 2012130133 заявл. 17.07.2012; положительное решение 06.05.2013, зарегистрирован 20 сентября 2013 г.

34. И.В. Беляев, Г.С. Бурханов, Монокристаллические постоянные магниты. Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение Функциональные материалы: сб. - М.: Изд-во МГТУ, 2005. с. 237-244.
35. Е.М. Савицкий, Ю.В. Ефимов, Н.Д. Козлова и др. Сверхпроводящие соединения переходных металлов. М. Наука, 1971, 214 с.
36. A.M. Prokhorov, G.S. Burkhanov, S.A. Lachenkov. Complex borides with a ferromagnetic component: Development of the problem of magnetic superconductors. Material Research Innovations. 2001, 5 (1), p. 15-20.
37. Г.С. Бурханов, С.А. Лаченков, Е.П. Хлыбов. Особенности фазовых переходов магнитных сверхпроводников $(\text{Dy}_{0.8}\text{Y}_{0.2})\text{Rh}_4\text{B}_4$, Металлы, 2010, 3, с. 79-83.
38. Г.С. Бурханов, С.А. Лаченков, Е.П. Хлыбов. Анализ взаимосвязи магнитной и сверхпроводящей подсистем соединений $\text{RE}(\text{Rh}_{1-x}\text{Ru}_x)_4\text{B}_4$ на примере $\text{DyRh}_{3.8}\text{Ru}_{0.2}\text{B}_4$ и $\text{HoRh}_{3.8}\text{Ru}_{0.2}\text{B}_4$. ДАН техническая физика, 2015, 460 (4), с. 1-5.
39. G.S. Burkhanov, S.A. Lachenkov, M.A. Kononov, A Giant Increase in the Electrical Conductivity of the High-Resistivity Film MoS_2 Semiconductor under Continuous Proton Injection. Doklady Physics, 2018, 63 (7), p.279-281.

Жаропрочные конструкционные сплавы на основе вольфрама, рения и алюминидов переходных металлов

К.Б.Поварова

*ИМЕТ РАН
povarova@imet.ac.ru*

К.Б.Поварова: родилась 09.09.1933 г., г. Москва. 1951 – 1956 г. — Московский ордена Трудового Красного Знамени институт стали имени И.В. Сталина, с 1956 г. по наст. вр. ст. лаб., инженер, м.н.с, с.н.с., в.н.с., г.н.с. - Институт металлургии АН СССР (ныне — Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. 1963 г. – к.т.н, 1983 г. - д.т.н., 1992 г. – профессор. 1968 - Государственная премия СССР в составе творческого коллектива — за работу в области металлургии; 1996: премия им. П.П. Аносова РАН — за цикл работ «Материаловедение конструкционных сплавов нового поколения на основе интерметаллических соединений», совместно с А.А. Ильиным и Е.Н. Кабловым (ныне оба — действительные члены РАН); 2001: Премия Правительства Российской Федерации в составе творческого коллектива — за разработку и создание новой техники.

Аннотация

В статье отражены результаты исследований, проводившихся в ИМЕТ им. А.А. Байкова АН СССР (позднее ИМЕТ РАН) в области создания жаропрочных конструкционных сплавов, а также сплавов с особыми физико-химическими свойствами на основе тугоплавких металлов рения, вольфрама (с 1950-1960-х годов), и алюминидов переходных металлов Ni₃Al, NiAl, TiAl, RuAl и тяжелым сплавам на основе вольфрама (с 1990-х годов и по настоящее время). Анализ накопленных данных, а также выполненные авторами теоретические, экспериментальные и прикладные работы позволили сформулировать некоторые физико-химические принципы создания конструкционных сплавов и композиционных материалов (КМ) на указанных основах, их изготовления и обработки, определить системы легирования и благоприятные структурно-фазовые состояния. Это позволило вплотную подойти к направленному конструированию сплавов и КМ с заданным уровнем свойств. Приведены конкретные примеры реализации указанных принципов. Созданы и внедрены литейные и деформируемые сплавы на основе тугоплавких металлов с уникальными характеристиками кратковременной, длительной и удельной прочности в широком интервале температур (20-2400 °С) для особо тяжело нагруженных деталей, способных работать в вакууме или в инертной атмосфере при температурах и напряжениях, при которых материалы на более легкоплавких основах работать не в состоянии. Созданы литейные и деформируемые порошковые сплавы и композиты на основе указанных алюминидов, способные работать на воздухе и в продуктах сгорания топлив при температурах выше рабочих температур (и даже выше температур плавления) никелевых суперсплавов. Проведенные работы отмечены Государственной премией СССР, Премией Совета министров СССР, Премией Правительства РФ и Премией Президиума РАН им. П.П.Аносова.

0. Выбор профессии. В 1951 г. серебряная медалистка Кира выбирала профессию, чтобы твердо стоять на ногах и никогда ни от кого не зависеть. Экономическое образование было отвергнуто папой (в финансовом управлении Министерства сельского хозяйства СССР он курировал ВАСХНИЛ, ВДНХ, заповедники и опытно-селекционные станции), поскольку «у нас в стране экономики нет, а есть планирование и бухгалтерия». Медицинское образование отвергла мама (фельдшерница-акушерка по образованию, операционная сестра во время ВОВ, медсестра в школе), поскольку была уверена, что дочка не сможет долго преданно смотреть на профессора и повторять «да, профессор, конечно, профессор» и т.д. Где-нибудь сорвется и скажет, все, что думает. Институт связи был отвергнут отцом из-за сомнительного звучания названия. Взяла выбор института в

свои руки. На Мехмат МГУ не прошла во втором туре. МЭИ и МВТУ им. Баумана – на днях открытых дверей показались неуютными, казенными, скучными. Решила, вслед за подругой (золотой медалисткой), и, по-видимому, за ее мальчиком, поступить на обогащительный факультет в Горный институт! Приехала с документами по адресу Ленинский проспект, д. 6, где была когда-то Горная академия, а в 1951 г. обретались три Института. И в первой приемной комиссии (Нефтяной институт) и во второй (Горный институт) усатые загорелые дядьки (гг. Баку и Донецк??), умильно глядя, сказали примерно так: «Деточка, ты такая беленькая, с косичками, в розовом платьице – тебе не надо сюда поступать. Тут грязная, трудная и скучная работа». В третьей приемной комиссии - Московского ордена Трудового Красного Знамени института стали имени И.В. Сталина были высокие потолки, лепнина, старинные резные столы и обитые кожей стулья, растения и везде изумительные скульптуры каслинского чугунного литья. «А чем я буду заниматься?» – «А если сплавить один металл с другим, получится новый сплав, можно изучать его свойства!!!». Собеседование, зачисление и далее 5 лет. Алгебра, начерталка, сопромат, электротехника, металлургия, проектирование печей, металловедение, термообработка спецсталей, набивка опок и литье,ковка гаек и болтов, строгание, сверление шлифовка и др. Летние практики в течение одного месяца: обогащительные фабрики, фабрики ферросплавов, доменный, мартеновский, прокатный и прочие цеха металлургических комбинатов в гг. Днепропетровск и Запорожье, закалка токами высокой чистоты шестеренок и цианирование задних полуосей автомобиля Москвич на МЗМА (летом-то рабочие в — отпуск, а студентке все равно делать нечего), все цеха Уральского машиностроительного завода (Т-34!) и стрельбище (уральская снежная зима в г. Нижний Тагил). На выходе: дипломная работа - проект цеха термической обработки листов броневых сталей (новейшее оборудование, только что разработанное в проектных организациях, две линии оборудования для закалки, отжига и правки, фундамент и прочие конструкции, включая крышу, грузовые краны, газ, водоснабжение, вентиляцию, электричество, склад готовой продукции, бытовки и что-то еще). И, по распределению, - в ИМЕТ им. А.А.Байкова АН СССР.

1. Немного истории. В 1953 г. из ИОНХ АН СССР в ИМЕТ АН СССР была переведена маленькая (6 человек) Лаборатория физикохимии тугоплавких и редких металлов и сплавов, под руководством молодого д.т.н., профессора Евгения Михайловича Савицкого (позже члена-корреспондента АН СССР). В 1954-56 гг. лаборатория расширилась примерно до 30 сотрудников, преимущественно за счет «краснодипломников», пришедших, в основном, из Института стали (МИС). В их числе были: Г.С. Бурханов и Ч.В.Копецкий — будущие члены-корреспонденты РАН, И.В.Буров, К.Б.Поварова — будущие д.т.н., Ю.В.Ефимов, К.Н.Иванова, И.А.Цыганова — будущие к.т.н. и др. Весьма разностороннее образование, которое в те годы получали выпускники МИС (МИСиС), а главное

- острое чувство нового, организаторский талант и умение Е.М.Савицкого работать с людьми, подмечая их сильные и слабые стороны, заставляя их раскрывать свои способности, позволило этим инженерам-металлургам, преимущественно по специальности «металловедение и термическая обработка», не только освоить принципиально новую тематику, но и создать свои новые направления работ. Но славную историю Лаборатории №12 (мы гордились ею и скромно называли ее гвардейская) в этом юбилейном сборнике отразит ее руководитель – Г.С.Бурханов, член корреспондент РАН, возглавивший эту лабораторию после Е.М. Савицкого, который не только сохранил наработанное, но и создал и успешно развивает совершенно новые направления работ. Поэтому ограничусь маленькими личными воспоминаниями и немного тем, что связано с признанием в мире работ СССР по сплавам рения.

В 1956 г. в Лаб. №12 из МИСиС были направлены по распределению 2 инженера-металлурга, по специальности «термическая обработка». Тогда для каждой специальности составлялись 2 списка: (1) - заявки от исследовательских институтов и заводов (со всего СССР) и (2) список студентов, которые выбирали из 1-го списка, куда хотели бы пойти. Первыми в списке студентов шли участники ВОВ, потом те, кто сочетал учебу с активной общественной деятельностью (например, член комитета ВЛКСМ или даже партбюро), потом красnodипломники и далее - по убыванию успехов в учебе. Е.М. Савицкий сразу же взял на работу Игоря Бузова, а Киру Поварову пытался обменять на какого-нибудь «мальчика». Потом выяснилось, что у Е.М. Савицкого была твердая убежденность, что «возьмешь девочку, а она будет рожать за счет государства» (у него самого были 3 дочери, одна из которых Евгения потом успешно работала в одной из лабораторий ИМЕТ). Кстати, в СССР не поощряли протекционизм, при котором дети работали под началом и по тематике своих папочек. Официально приветствовались только «рабочие династии». Жизнь все расставила по местам: шесть женщин-ученых: В.В. Барон, В.Ф. Терехова, М.А. Тылкина, К.Н. Иванова, К.Б. Поварова, В.П. Полякова – лауреаты Государственной премии СССР, рядом со своими тремя коллегами – мужчинами Е.М.Савицким, Ч.В. Копецким, Г.С. Бурхановым (счет – 6:3; но мужчины – все будущие члены АН СССР, а женщинам можно не беспокоиться).

В Лаборатории № 12 группой, руководимой к.т.н. (потом д.т.н.) М.А.Тылкиной (активная, инициативная, жизнерадостная, с большим чувством юмора и склонная к выражениям типа «декольте на 24 персоны», которая собрала работоспособный молодежный коллектив), был выполнен комплекс работ по изучению двойных и тройных диаграмм состояния с участием рения, которые вошли в справочники. Были выявлены 4 «ренийевых эффекта», реализованные при создании уникальных ренийсодержащих сплавов с вольфрамом и молибденом. Монография по сплавам рения [1] была переведена в США с выплатой гонорара (в «чеках



Рис. 1. Коллектив ученых ИМЕТ РАН с коллегами из других организаций, получивший в 1968 г. Государственную премию СССР за разработку новых материалов для специальной техники. Нижний ряд, слева направо: В.Ф.Терехова (ИМЕТ, РЗМ), Е.М.Савицкий (ИМЕТ, руководитель), М.А.Тылкина (ИМЕТ, рений), Е.В. Чибисова, А.С. Гладков, средний ряд: К.Б.Поварова (ИМЕТ, рений), В.П.Полякова (ИМЕТ, благородные металлы), Г.С.Бурханов (ИМЕТ, монокристаллы), верхний ряд: А.М. Левин, Ч.В.Копецкий (ИМЕТ, монокристаллы), К.Н. Иванова (ИМЕТ, сплавы ниобия).

без полосы», на которые в известных магазинах «Березка» можно было купить все..., на что хватало чеков). Вклад этой группы ученых в развитие сплавов рения был отмечен в 1997 г. на Всемирном симпозиуме «Rhenium and Rhenium Alloys», посвященном 70-летию открытия рения, который проводило в США (1997, Флорида, г. Орлэндо) The Minerals, Metals and Materials Society. В качестве почетных гостей были приглашены (полностью за счет принимающей страны, включая экскурсии в Диснейленд и на мыс Канаверал (!) М.А.Тылкина и К.Б.Поварова [2]. Как признание вклада Советского Союза в развитие производства и разработку сплавов рения, были также приглашены, на различных условиях, некоторые ученые из former USSR (бывшего СССР) Узбекистана, Казахстана и Украины. Данные о четырех «рениевых эффектах» (особенности влияния рения на сплавы хладноломких металлов молибдена, вольфрама, хрома и никеля, а также жаропрочные сплавы на основе никеля и алюминидов никеля),

о разработанных на их основе сплавах для нужд спецтехники, производство которых было организовано на предприятиях большой страны от г. Ташкента (на востоке) до городов Ленинграда и Калининграда (на западе), несколько более детально отражены в предыдущем юбилейном сборнике [3]. В 2018 г приятно (и немного грустно) было случайно услышать, что высокорениевые сплавы молибдена и вольфрама (между прочим, разработанные М.А. Тылкиной, К.Б. Поваровой, Л.Л. Ждановой и Н.К. Казанской) производятся и используются и сейчас для производства торсионов (гироскопы для авиации и космоса) и катализаторов разложения гидразина (для малоразмерных двигателей малой тяги, используемых для корректировки положения спутников на орбите). В 1990-е годы все исследования по сплавам рения были свернуты.

В 1960-е годы, в связи с бурным развитием авиационно-космической техники и ракетостроения, резко возрос интерес к сплавам тугоплавких металлов, предназначенным для работы в вакууме и нейтральных средах при температурах и нагрузках, при которых другие материалы на более легкоплавких основах работать не в состоянии. Энтузиасты вообще предлагали заменить сплавами тугоплавких металлов (W, Ta, Mo, Nb) более легкоплавкие жаропрочные никелевые сплавы. Однако, скоро выяснилось, что все эти сплавы не обладают жаростойкостью, в т.ч. в продуктах разложения топлива, а сплавы на основе тяжелого, но самого тугоплавкого металла — W ($T_{пл}=3400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\rho=19,3\text{ г/см}^3$), как и сплавы других переходных металлов VI группы (Mo, Cr) обладают существенным недостатком — низкой пластичностью при температурах ниже температуры пластично-хрупкого перехода ($T_{п/х}$) даже в монокристаллическом состоянии. Это обусловлено, прежде всего, особенностями ОЦК кристаллической структуры металлов с долей ковалентной межатомной связи. В поликристаллическом материале технической чистоты наибольший вклад в хладноломкость дает зернограничная хрупкость, которая обусловлена низкой прочностью границ зерен из-за сегрегации нерастворимых или слабо растворимых элементов и примесей, образования пленок легкоплавких оксидов или элементов, грубых включений W_2C , Me_xO_y в спеченных, литых и рекристаллизованных W-сплавах. Для создания конструктивных сплавов и КМ на основе тяжелых тугоплавких металлов (W) и реализации заложенных в этих материалах возможностей было необходимо одновременно повышать как их жаропрочность, так и характеристики низкотемпературной пластичности.

В руководимой Е.М.Савицким Лаборатории №12 разработка сплавов вольфрама была поручена К.Б. Поваровой и ее единственному сотруднику П.В. Макарову (лаборант, м.н.с, к.т.н., потом руководитель отделения фирмы LECO (USA) по странам Восточной Европы и бывшего Советского Союза). Это было так. После защиты кандидатской диссертации по сплавам рения, м.н.с. Поварова К.Б очень хотела стать старшим научным сотрудником (тогда никаких н.с, в.н.с и г.н.с. не было). Е.М. Савицкий

спросил: «Будете сидеть у Тылкиной или возьмете новую тему? Есть на выбор две темы: сплавы вольфрама или интерметаллиды». Это означало отказ от перспективных и уже хорошо продвинутых, в т.ч. с участием самой Поваровой (разработка, получение, применение) молибден-вольфрам-ренийевых сплавов. Надо было начинать нулевой цикл (ознакомление с состоянием дел, поиск хоть каких-то образцов того, что где-то кем-то производится, а дальше — куда сумеешь выплыть). «Конечно — вольфрам, тяжелый, хрупкий, но все-таки самый тугоплавкий и очень нужный, а эти непонятные интерметаллиды — так они тоже хрупкие, и проблемы те же».

В те годы активно развивалась концепция необходимости повышения чистоты тугоплавких металлов по примесям внедрения. В Лаб. № 12 были получены особочистые по примесям монокристаллы, обладавшие запасом пластичности (Г.С. Бурханов), но оставался открытым вопрос об изготовлении и применении крупногабаритных изделий, в т.ч. сложной формы, из металла технической чистоты. В связи с этим, работы слегка расширившейся группы (рис. 2) решено было направить на изыскание легирующих элементов (ЛЭ), нейтрализующих или ослабляющих вредное влияние примесей, и разработку способов получения и обработки промышленных сплавов вольфрама технической чистоты, поскольку, все равно, в реальных условиях получения, обработки и эксплуатации пластичность, обусловленная высокой чистотой, утрачивается.



Рис. 2. «Вольфрамовая» группа (нижний ряд: П.В.Макаров, К.Б.Поварова, Е.К.Заварзина; верхний ряд: С.С.Лукьянчикова, Ю.О.Толстобров).

Снижение хладноломкости сплавов на основе W технической чистоты потребовало проведения комплекса мероприятий технологического и физико-химического характера. В качестве технологических методов снижения зернограницной хладноломкости и понижения Тп/х сплавов на основе W было рекомендовано снижение общей концентрации примесей (очистка шихты на всех этапах производства), снижение удельной концентрации примесей на границах зерен и дефектах, перераспределение примесей при измельчении зерна слитка или спеченной заготовки в процессе термомеханической обработки (устранение наследственной литейной структуры). В качестве физико-химических методов было использовано взаимодействие ЛЭ с примесями: конкурентное замещение (вытеснение) примесей на границах зерен, при введении 0,1 – 0,3 мас.% Fe, Ni, Pd, Ru или Re; конкурентное связывание кислорода в тугоплавкие оксиды, при введении 0,001-1,0 % PЗМ, Ti (раскисление), и конкурентное связывание углерода в тугоплавкие карбиды металлов IV группы (ZrC, HfC), образующих в W наноразмерные частицы, в отличие от грубых крупных выделений W₂C. Было установлено, что повышение, как характеристик прочности, так и низкотемпературной пластичности, при введении 20 – 30 (25 – 27) ат.% Re — («рениевый эффект-1») и 1,5 – 4 % Re («рениевый эффект-2») сохраняется и в сплавах, упрочненных фазами внедрения, в том числе с HfC, ZrC, Y₂O₃ и др. Было установлено, что для повышения жаропрочности необходимо формирование в равновесии с W наноразмерных частиц термодинамически стабильных тугоплавких карбидов металлов IV группы HfC, ZrC, для формирования которых достаточно 0,1-0,3 ат.% металла, тогда как для стабилизации наиболее тугоплавкого карбида TaC необходимо введение в W не менее 8-10 ат. % Ta, что снижает температуру плавления сплава и делает такое легирование неэффективным. Даже при малой объемной доле наноразмерные частицы MeC тормозят движение дислокаций, что замедляет развитие процессов возврата и рекристаллизации и обеспечивает сохранение упрочнения, по крайней мере, до 2200-2400°С или 0,6-0,7 Тпл W. Упрочнение порошкового вольфрама субмикронными частицами тугоплавких оксидов не столь велико, как при карбидном упрочнении вакуумплавленных сплавов, но сохраняется до более высоких температур, поскольку тугоплавкие термодинамически стабильные оксиды не растворяются в вольфраме. Кроме того, формирование частиц оксидов приводит, при определенном строении межфазной границы, к ветвлению трещины, изменению ее направления и торможению распространения, обеспечивая, таким образом, повышение вязкости разрушения.

Проведенный комплекс работ по сплавам вольфрама позволил сформулировать физико-химические принципы создания литейных и порошковых сплавов вольфрама технической чистоты [4] и создать 2 группы вакуумплавленных сплавов вольфрама, представляющие собой твердые растворы на основе W, высоколегированные и низколегированные рени-



Рис. 3. Большеразмерные детали из разработанных вольфрамовых сплавов, полученные по литейной технологии. Прочность литых сплавов различного состава, при 1800, 2000 и 2300 °С, колеблется в пределах 350-450, 220-350 и 150-200 МПа соответственно.

ем и молибденом, в том числе, дополнительно упрочненные тугоплавкими термодинамически стабильными карбидами ZrC, HfC, и сплавы на тех же основах, раскисленные иттрием и титаном, а также создать несколько порошковых сплавов со структурой, стабилизированной тугоплавкими оксидами. Некоторые ответственные, тяжело нагруженные крупногабаритные детали сложной формы, полученные из разработанных литейных сплавов вольфрама для специальной техники приведены на рис. 3.

Уникальная прочность и удовлетворительная пластичность ($\delta \sim 5-25\%$), при комнатной температуре, хладноломких сплавов на основе W были достигнуты, путем деформации литого материала технической чистоты, при постепенно понижающихся температурах. При горячей, теплой и холодной деформации с промежуточными отжигами, зерна вытягиваются в волокна, образуется совершенная наноразмерная ячеистая структура. Измельчение всех элементов микроструктуры, при термомеханической обработке, обеспечило уменьшение концентрации примесей на границах зерен и размера микротрещин, что привело к понижению $T_{н/х}$, улучшению обрабатываемости, повышению вязкости разрушения (K_{1C}) и характеристик прочности (σ_b) сплавов, сочетающих твердорастворное упрочнение с дисперсным упрочнением. Измельчение всех структурных элементов и упрочнение происходят в гетерофазных сплавах W+MeC (Me=Oy) более интенсивно, чем в однофазных сплавах W. На проволоках диаметром 300→50 мкм из сплавов с твердорастворным легированием 1 – 4 мас.% Mo и/или Re и карбидным упрочнением 0,1 – 0,3 мас.% HfC, ZrC и с твердорастворным легированием 20 – 30 мас.% Mo и/или Re достигнуты значения прочности σ_b 3200-4500 МПа и

4000-6000 МПа, соответственно, что соответствует удельной прочности ~15-30 км. Деформационное упрочнение сохраняется, по крайней мере, до температур 0,4-0,52 Тпл. Удельная жаропрочность (σ_b (кг/мм²) / ρ (г/см³)) сплавов W, в которых реализовано твердорастворное, деформационное и дисперсионное упрочнение при 1200, 1700 и 2000 °С, составляет 6–8, 2,0 – 2,7 и 1,5 – 2,0 км соответственно, что превосходит таковую для любых других металлических сплавов. Проведенные работы физико-химического и прикладного плана отражены в монографии [5], в докторской диссертации К.Б.Поваровой и в кандидатских диссертациях П.В. Макарова, Е.К.Заварзиной, Н.К.Казанской, Ю.О.Толстоброва и М.А.Хмельковой, в одной коллективной монографии по тугоплавким металлам (в компании с ведущими зарубежными учеными) и в ряде отечественных и зарубежных публикаций. За разработку порошковых сплавов вольфрама технической чистоты Е.М.Савицкий (всю жизнь ратовавший за высокочистые материалы), в составе коллектива НПО «Тулачермет» (г. Тула), был удостоен премии Совета министров СССР. Сразу же следует отметить, что вся работа по сплавам вольфрама оказалась возможной, только благодаря плодотворному и тесному сотрудничеству с лучшими специалистами, имевшими соответствующее специализированное оборудование для дуговой и гарниссажной плавки (А.П. Попов, г. Ленинград), горячей экструзии (Л.С. Косачев, г. Подольск),ковки, прокатки и волочения (Л.Г. Кабакова, УзКТЖМ, Узбекистан), получения крупногабаритных деталей (типа «рули») по порошковой технологии (Б.А. Ольшанский, НПО Тулачермет), и многими другими специалистами из гор. Чирчик, Тула, Ленинград и Калининград, т.е. всего Советского Союза.

Попутно хочу отметить один важный момент. На протяжении многих лет активно работал Научный совет АН СССР по проблеме «Физико-химические основы получения новых жаростойких неорганических материалов», организованный лауреатом Нобелевской премии, академиком Н.Н. Семеновым, позже возглавлявшийся академиком И.В.Тананаевым. На протяжении ряда лет К.Б. Поварова являлась бесменным учёным секретарём секции «Металлические материалы», которой руководил член-корреспондент АН СССР Е.М.Савицкий, а после его смерти – д.т.н., член-корреспондент, академик РАН О.А.Баных. Совет неформально объединял ученых-материаловедов всей страны, каждый год организовывались выездные сессии в исследовательские или учебные центры (от гг. Улан-Уде до Киева, Минска, Ленинграда, Риги, Таллина, в его работе участвовали академики: Б.Е. Патон, М.М.Шульц, И.В.Горынин, О.А.Баных, члены-корреспонденты: Е.М. Савицкий, Ч.В. Копецкий и другие. Под эгидой Совета секция «Металлические материалы» проводила Всесоюзные совещания по жаропрочным сплавам и покрытиям», что облегчало контакты, завязывание деловых связей.

4. Сплавы и КМ на основе алюминидов переходных металлов. В 1985 г., после смерти Е.М. Савицкого, в результате реорганизации и

упорядочения тематики по жаропрочным материалам в ИМЕТ, группа К.Б. Поваровой и часть сотрудников ренийевой группы вместе с тематикой были переданы в Лабораторию конструкционных сталей и сплавов №7, которой руководил д.т.н., а позднее член-корреспондент и далее академик РАН О.А.Баннх. В новой лаборатории работы по сплавам вольфрама и рения для твердотопливных и жидкотопливных ракет успешно продолжались. О.А. Баннх принял пополнение доброжелательно, предоставил возможность работать, как привыкли у Е.М. Савицкого, вник в суть дел и предложил сотрудничество в решении одной из проблем, касавшихся катализаторов разложения гидразина. Использование энергодисперсионного анализа поверхностных слоев катализаторов, проведенное И.Д. Марчуковой (Лаб. №7), позволило выявить механизм каталитического действия катализаторов (рис. 4а) из проволоки (рис. 4б) из сплавов W-Mo-Re. Было установлено, что, в процессе ранее разработанной специальной химико-термической обработки, на поверхности происходит образование изоморфных нитридов вольфрама и молибдена, которые, собственно, отвечают за каталитические свойства (рис. 4б, 4в).

Было показано, что рений, не участвуя в катализе, обеспечивает высокую прочность и пластичность проволочного носителя из сплава, в отличие от хрупких и непрочных керамических носителей. Были начаты работы по получению из сплавов W-Mo-Re тонкостенных трубок для новых изделий, совместно с Узбекским комбинатом тугоплавких и жаропрочных сплавов (г. Чирчик), Институтом электросварки им. Е.О. Патона (г. Киев) и Днепропетровским трубным заводом.

Развал СССР и резкое сокращение, а потом и прекращение финансирования работ РАН по жаропрочным сплавам на основе тугоплавких металлов для ракетно-космических целей привело к кардинальному изменению тематики группы. Начались работы по интерметаллидам (Е.М. Савицкий оказался провидцем, хотя в 60-е годы эта работа была бы невозможна, т.к. отсутствовала технологическая база, да и возможности жаропрочных никелевых сплавов еще не были до конца реализованы).



Рис. 4. Каталитические элементы (а – в) из высокоренийевого сплава Mo-10Mo-45Re, поверхность каталитических элементов после окислительно-восстановительной обработки в специальных средах (в, г).

В конце 1980-х - начале 1990-х годов в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные материалы» [6], которая начала функционировать под руководством директора ИМЕТ РАН академика Н.П. Лякишева, группой К.Б. Поваровой были начаты работы по созданию особолегких жаропрочных сплавов на основе ИМ — алюминидов никеля и титана для авиационных двигателей. В те же годы, в результате реорганизации, часть сотрудников Лаб. №21 была также присоединена к руководимой О.А. Банных Лаб. №7, включая бывшего зав. лаб. №21, д.т.н. С.Б. Масленкова. Начиная с 1989 г., группа жаропрочных конструкционных сплавов работала в составе: К.Б. Поварова (руководитель направления и работ по созданию жаропрочных конструкционных материалов на основе тугоплавких металлов и легких тугоплавких ИМ), к.т.н. Е.К. Заварзина, Ю.О. Толстобров, Н.К. Казанская (тугоплавкие металлы), д.т.н. И.В. Буров, к.т.н. Г.С. Браславская, А.Г. Николаев, С.А. Филин (алюминиды титана и никеля) и выпускники МАТИ им. К.Э. Циолковского, прошедшие в ИМЕТ РАН всю цепочку — «бакалавр, магистр, аспирант/соискатель, к.т.н.»: А.В. Антонова, А.А. Дроздов, А.Е. Морозов.

Создание конструкционных сплавов на основе алюминидов переходных металлов было начато с изучения характера физико-химического взаимодействия в системах алюминид-ЛЭ или легирующая фаза, установления корреляции между химическим и фазовым составом сплавов, их структурой, сформировавшейся при получении и/или термомеханической обработке, и физико-механическими и служебными свойствами. Актуальность этих работ тогда и теперь определяется необходимостью повышения рабочих температур (траб) наиболее теплонагруженных деталей создаваемых перспективных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), стационарных энергетических установок (ЭУ), теплотехнического оборудования, а также необходимостью развития гиперзвуковых технологий и демонстрации их возможностей для пилотируемых много-разовых авиационно-космических аппаратов, ракетной техники и новых типов двигателей — прямоточных воздушно-реактивных и жидкостных ракетных (ГПВРД и ЖРД), элементов защиты ГЛА.

Проведенный комплекс исследований позволил разработать физико-химические принципы создания конструкционных особо жаропрочных легких сплавов на основе ИМ [7.]. Основное положение - новые жаропрочные конструкционные сплавы на основе тугоплавких алюминидов переходных металлов ($t_{пл} = 1438-2100$ °С), с упорядоченной до температуры плавления структурой, предназначенные для работы при температурах, превышающих рабочие температуры (и в ряде случаев температуры плавления) современных суперсплавов на основе никеля, должны сохранять гетерофазную структуру, стабильную до $T_{solidus}$ сплава. Было показано, что наиболее термически стабильными являются гетерофазные сплавы и композиционные материалы (КМ) с интерметаллидной матрицей (ИММ),

в которых отсутствуют или ослаблены процессы растворения упрочняющих фаз или компонентов КМ при рабочих температурах. Это реализуется, если обе фазы сплава (или оба компонента КМ) находятся в равновесии на псевдобинарных разрезах эвтектического типа тройных или многокомпонентных диаграмм состояния. Самоорганизующаяся при сплавообразовании (кристаллизации расплава или при твердофазном взаимодействии) структура «естественного эвтектического композита» является чрезвычайно термостабильной, вплоть до температур начала плавления. Между фазами кристаллизующейся эвтектики существует максимально возможное структурное соответствие, что определяет хорошую когезию фаз. Формирование, в равновесии с ИМ, вязкой структурной составляющей (фаз с неупорядоченной кристаллической структурой, желательно г.д.к., как имеющей наибольшее число систем скольжения и, следовательно, наиболее пластичной) обеспечивает как упрочнение ИММ, так и облегчает передачу скольжения через границы зерен ИМ, а также обеспечивает не только упрочнение, но и низкотемпературную пластичность, высокую вязкость разрушения и технологичность гетерофазных сплавов на основе ИМ [8]. Другие пути повышения низкотемпературной пластичности, связанные с попытками изменить электронное строение и увеличить долю металлической составляющей межатомной связи путем легирования, успеха не имели. Что касается попыток улучшить низкотемпературную пластичность, путем формирования при термомеханической обработке мелкозернистой структуры, то это может быть использовано для жаропрочных сплавов, только как промежуточная обработка (формование в режиме сверхпластичности), поскольку материал с микронным или наноразмерным зерном при высоких температурах демонстрирует низкое сопротивление ползучести и низкую жаропрочность. Твердорастворное легирование гетерофазных сплавов на основе ИМ должно обеспечить упрочнение как интерметаллидной основы, так и фаз с неупорядоченной структурой по двум механизмам: (1) при низких и средних температурах упрочнение тем больше, чем больше различие в атомных размерах и электронном строении замещаемого атома (Al и/или переходный металл — Ti, Ni, Ru) и легирующего элемента (ЛЭ); (2) при температурах выше 0,60–0,65 Tпл упрочнение связано с замедлением диффузионных процессов при легировании тугоплавкими «медленными, тяжелыми» металлами (W, Re, Ta, Mo, Ru, Hf). Однако при выборе ЛЭ для твердорастворного упрочнения необходимо учитывать их влияние на характеристики пластичности и технологичность ИМ. И естественно, для повышения длительной прочности, сопротивления ползучести и долговечности сплавов на основе ИМ, необходимо формирование металлографической и кристаллографической текстуры, уменьшение протяженности поперечных границ зерен или их исключение. Этот прием давно и успешно используется в промышленности, например, для повышения свойств лопаток ГТД из никелевых жаропрочных суперсплавов (ЖС), полученных направленной

кристаллизацией (НК), или для получения направленной рекристаллизацией (НР) «непровисающего» вольфрама (порошковые сплавы типа ВА) для нитей накаливания электрических ламп.

Действенность разработанных принципов и правильность разработанных подходов к созданию конструкционных жаропрочных сплавов на основе легких тугоплавких ИМ была подтверждена созданием сплавов на основе γ -Ni₃Al и моноалюминидов β NiAl (γ TiAl, β RuAl), разработкой технологических процессов их получения. Работы по созданию и внедрению в авиационное двигателестроение сплавов на основе алюминидов никеля, проведенные ФГУП ВИАМ и рядом двигателестроительных заводов были отмечены Премией Правительства РФ (рис. 5). Возможно, это единственный случай, когда в авторский коллектив работы, выдвигаемой ФГУП ВИАМ на соискание правительственной премии, были включены двое ученых (К.Б.Поварова и Н.К. Казанская) из Института РАН (т.е. не из института или предприятия авиационной промышленности, внедряющих разработки ВИАМ).

С 2016 г. вследствие передачи руководства Лаб. № 7 от академика РАН О.А. Банных к к.т.н. И.О. Банных, из Лаб.№ 7 были выведены группы д.т.н. М.В. Костиной (азотистые и другие стали, д.т.н. К.Б. Поваровой (интерметаллиды, тугоплавкие) и д.т.н Л.Р. Ботвиной (разрушение материалов) — во вновь созданную лабораторию физикохимии и механики металлических материалов № 19, руководимую М.В. Костиной.



Рис. 5. Коллектив, после награждения Премией Правительства РФ в Белом доме: слева направо: Б.С. Ломберг (ВИАМ), К.Б. Поварова (ИМЕТ РАН), Н.К. Казанская (ИМЕТ РАН), В.Е.Хайченко (КОБМ), О.А. Базылева (ВИАМ), В.П. Бунтушкин, руководитель коллектива (ВИАМ), А.Д. Рекин (ЦИАМ).

Следует отметить, что основные направления работ по сплавам на основе интерметаллидов изменялись, по мере накопления данных о строении и свойствах сплавов, развития технологической базы и формирования конкретных требований потребителей. Рассмотрим некоторые результаты.

Сплавы на основе γ -Ni₃Al системы Ni-Al-Cr-Ti-Hf-W-Mo-Re-РЗМ, разработанные в содружестве с (совместно с к.т.н. В.П. Бунтушкиным и к.т.н. О.А. Базылевой, ФГУП ВИАМ), являются более легкими и жаростойкими, чем жаропрочные никелевые суперсплавы второго и третьего поколений, благодаря более высокому содержанию алюминия и более низкому (в 1,5 – 2,3 раза) содержанию тяжелых тугоплавких металлов [9, 10]. Выбранные составы экономно легированных литейных (γ -Ni₃Al+ γ Ni) сплавов содержат такое количество компонентов, которое обеспечивает неизменность фазового состава сплава и, следовательно, его высокую термостабильность, а также обеспечивает пластичность. Дальнейшее упрочнение литейных сплавов, получаемых направленной кристаллизацией (НК), повышение их долговечности, выносливости при циклических нагружениях и стойкости к термоудару может быть достигнуто путем стабилизации структуры этих сплавов и дополнительного упрочнения нано- и микродисперсными частицами дополнительных фаз. Выполнен комплекс работ, связанных с получением высококачественных интерметаллидных сплавов с монокристаллической структурой и выбором режимов их термической обработки, изучением особенностей распределения легирующих элементов (ЛЭ) и характера дендритной микроликвации в монокристаллических отливках с ячеисто-дендритной структурой, эволюции структуры, при испытаниях в различных температурно-временных условиях и схемах нагружения. Разработан способ выплавки сплавов, обеспечивающий равномерное распределение компонентов в заготовках и монокристаллах, характеризующийся поэтапным введением элементов в шихту и расплав, при вакуумной индукционной плавке, с учетом их реакционной способности. Это позволило предотвратить образование охрупчивающих сплавы крупных частиц топологически плотно упакованных (ТПУ) фаз, аккумулирующих тугоплавкие ЛЭ, и обеспечило формирование наноразмерных выделений дополнительных фаз, которые стабилизируют дендритно-ячеистую структуру литейных НК сплавов типа ВКНА и укрепляют межфазные границы. Это способствовало повышению характеристик кратковременной прочности на 10 – 20 %, долговечности — на 20 – 30 % при 1000 – 1200 °С [11, 12]. Исследовано влияния градиента и скорости кристаллизации на структуру и свойства, при кратковременных и длительных испытаниях при температурах до 1100 – 1200 °С, показало, что повышение G и R приводит к уменьшению размера всех фаз и структурных составляющих конкретного сплава в 1,6 – 3,0 раза, но не влияет на морфологию фаз и структурных составляющих, их взаимное расположение [13]. Показано, что, варьируя G и R, можно достичь оптимальных

значений таких параметров структуры монокристаллов, как объемная доля и периоды кристаллических решеток γ' - и γ -фаз, а также мисфит, которые во многом определяют высокие характеристики жаропрочности сплавов на основе алюминидов никеля Ni₃Al типа ВКНА/ВИН и позволяют достичь высоких характеристик жаропрочности.

Изучение влияния реакционно и поверхностно активных РЗМ на жаропрочность сплавов на основе Ni₃Al и анализ систем Ni-Al-RE позволило установить, что РЗМ локализуются на дефектных участках структуры, границах раздела разного рода, а также взаимодействуют с примесями, образуют тугоплавкие оксиды и влияют на зарождение и рост кристаллов при затвердевании. Независимо от того, какой механизм является более действенным, увеличение содержания La от 0,015 % до 0,2 и 0,3 масс. % или введение 0,3 % Sc повышают в 2 – 3 раза долговечность при 1100 °С монокристаллов сплавов типа ВКНА-25 [13]. Одним из важных факторов, определяющих структуру и свойства монокристаллов литейных никелевых и ИМ сплавов, не подвергающихся деформации, является дендритная микроликвация, т.е. неравномерное распределение при кристаллизации легирующих элементов (ЛЭ) по сечению дендритной ячейки, при однородном распределении элементов по высоте монокристалла и его поперечному сечению [14]. Монокристаллы интерметаллидных ($\gamma'+\gamma$)-сплавов на основе γ' -Ni₃Al типа ВКНА сохраняют гетерофазную структуру вплоть до *tsolidus*, минуя однофазную γ область. Это исключает проведение гомогенизации по типу никелевых сплавов, путем длительного отжига в однофазной γ области. Гомогенизация интерметаллидных ($\gamma'+\gamma$)-сплавов возможна, за счет устранения или ослабления дендритной ликвации, путем растворения γ' -Ni₃Al первично и выравнивания состава осей дендритов и междендритных пространств. Изучение особенностей изменения характера дендритной микроликвации в монокристаллах ($\gamma'+\gamma$) сплавов на основе γ' -Ni₃Al типа ВКНА, при воздействии высоких температур при ТО и при испытаниях на ползучесть и долговечность, позволило установить корреляцию между степенью дендритной микроликвации, структурно-фазовым состоянием и характеристиками жаропрочности монокристаллов. Разработаны режимы низко- и высокотемпературной термической обработки, позволяющие повысить долговечность монокристаллов сплавов типа ВКНА, при 1100 – 1200 °С, в 2 раза. Выявлена природа аномальной устойчивости дендритной ликвации рения, по сравнению с другими компонентами сплавов типа ВКНА, и роль дополнительных (Cr,Mo,Re)-содержащих фаз в формировании характеристик жаропрочности сплавов, при 1100 – 1300 °С. Сплавы ВКНА/ВИН способны длительно работать при температурах до 1100 – 1200 °С и кратковременно — до 1250 – 1300 °С. Применение интерметаллидных сплавов позволит повысить ресурс лопаток в 3 – 4 раза и дисков в 1,5 – 2 раза, снизить стоимость сплава на 25–30% [15]. По длительной прочности, при 1100 °С и тем более 1200 °С, сплавы типа ВКНА превосходят наиболее продвинутое зарубежные

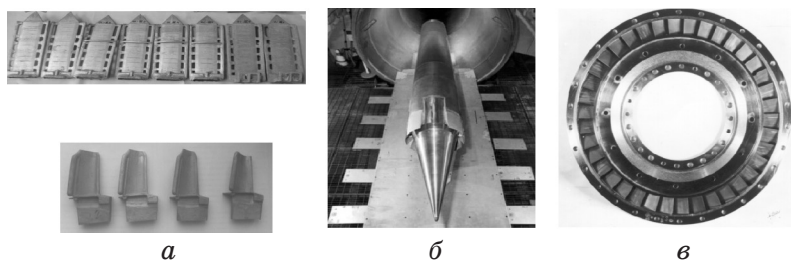


Рис. 6. Проставки реактивного сопла и отливки рабочих неохлаждаемых лопаток из сплава ВКНА-1В на основе Ni3Al (а); фрагмент ГПВРД с деталями из NiAl-Y₂O₃ (б) и сопловой аппарат с НР лопатками из NiAl-Y₂O₃ (в) алюминидов никеля.

сплавы на основе Ni3Al IC221M (ORNL, USA) и IC6SX (Lockheed Martin Energy Res., USA). Некоторые образцы деталей двигателей из сплавов типа ВКНА, произведенные на опытной базе ФГУП ВИАМ, приведены на рис. 6а.

Сплавы на основе моноалюминидов TiAl, RuAl NiAl, RuAl. Моноалюминиды никеля и рутения (о.ц.к. типа В2 кристаллическая решетка, $T_{пл}$ 1640 и 2100 °С, плотность $\rho \sim 5,86$ и $\rho = 7,97$ г/см³ соответственно), развиваемые совместно с ФГУП ЦНИИЧЕРМЕТ (О.А.Скачков), предназначены для получения из них металлургических полуфабрикатов и высокотемпературных элементов, работоспособных при температурах 1400-1800оС в окислительной среде трансзвуковых и сверхзвуковых газовых потоков, для теплонапряженных конструкций. Разработанные термостабильные сплавы-композиты типа β NiAl/Y₂O₃, с направленно рекристаллизованной квазимонокристаллической структурой, предназначены для работы при температурах до 1500°С, для теплозащиты и в слабонагруженных деталях (воздухозаборники, корпуса, сопла перспективных гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей, передних кромок обшивки планера, теплозащитных панелей аэрокосмических систем многоразового использования) [16-18]. Другим удачным примером термостабильных композитов могут служить особолегкие композиты « γ -TiAl /сапфировое волокно», разработанные совместно с ИФТТ РАН для работы при температурах до 850°С [19]. Некоторые образцы деталей из сплавов-композитов NiAl-Y2O3, произведенных в ООО Научно-технического центра «Материалы и Технологии» ФГУП ЦНИИЧЕРМЕТ, приведены на рис. 6б, 6в.

Работы группы жаропрочных сплавов на основе интерметаллидов (рис.7) отмечены 1999 г. Премией Аносова (1999 г., д.т.н. К.Б. Поварова совместно с д.т.н Ильиным А.А. и Кабловым Е.Н, Премией Правительства РФ (2001 г., К.Б. Поварова, Н.К. Казанская, совместно с ВИАМ), медалью

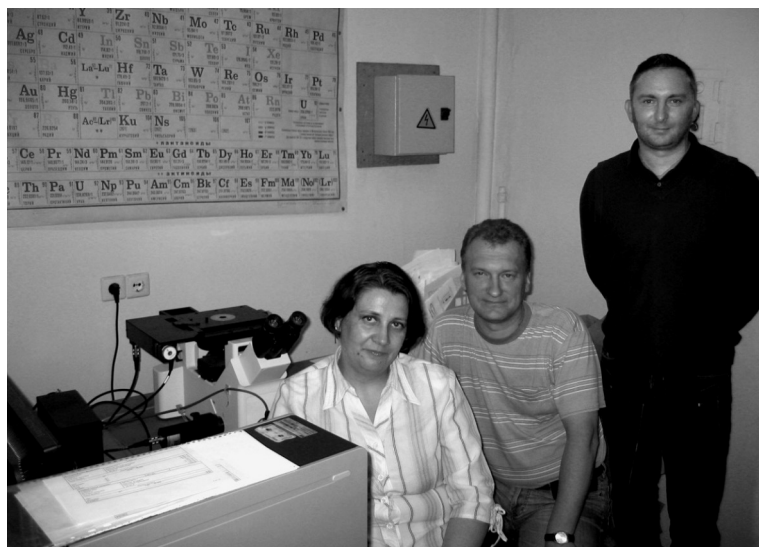


Рис. 7. Группа молодых ученых, работающих над созданием конструкционных материалов на основе ИМ, слева направо: А.В.Антонова, А.А.Дроздов, А.Е.Морозов.

С.Т. Кишкина (2006 г., К.Б. Поварова), грантом Президента РФ (2007г. А.А. Дроздов, К.Б. Поварова), стипендиями молодым ученым за работы для ВПК (2011 – 2012 гг. А.А. Дроздов. А.Е. Морозов).

Защищены кандидатские диссертации (2006 г., А.В. Антонова, сплавы и композиты на основе TiAl; 2006 г. А.А. Дроздов сплавы и композиты на основе алюминидов никеля; 2014 г. А.Е. Морозов, сплавы на основе RuAl), в настоящее время готовятся к защите: кандидатская диссертация М.А. Булахтиной и докторская диссертация А.А. Дроздова.

Работы группы проводятся по грантам РФФИ (начиная с 1993 г.), госконтрактам с Федеральным агентством по науке и инновациям, Федеральным агентством по образованию (в рамках различных ФЦНТП и ФЦП).

4. Заключение. Представленный материал дает некоторое представление о том, как, усилиями каких людей развивалась и продолжает развиваться наука в некоторых подразделениях ИМЕТ АН СССР (РАН). Это — маленький фрагмент нашей истории, где отмечены некоторые успехи и стыдливо обойдены молчанием неудачи (научные или связанные с позициями отдельных людей или организаций). Следует отметить также, что в статью не включены данные о результатах работ по созданию тяжелых сплавов системы W-(Ni-Fe-Co) для сердечников бронебойных подкалиберных снарядов, которые частично отражены в монографии [Черняк

Г.Б., Поварова К.Б. «Вольфрам в боеприпасах», изд. ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ», 2014. 360 с.], выпущенной под эгидой ФГУП «ЦНИИХМ», и продолжают сейчас, а также данные по текущим работам 2016–2018 гг. по разработке физико-химических принципов формирования термостабильных структурно-фазовых состояний в интерметаллидных сплавах нового типа на основе $\text{NiAl-Ni}_3\text{Al-Ni}$ с низкой плотностью и повышенной жаростойкостью — для работы без защитных покрытий (грант РФФИ), по теоретическому и физико-химическому моделированию и экспериментальному изучению твердофазного соединения жаропрочных деформируемых никелевых дисковых сплавов с лопаточными интерметаллидными сплавами на основе $\gamma\text{-Ni}_3\text{Al}$ в монокристаллическом состоянии, применительно к изготовлению целиковых конструкций, объединяющих диски с лопатками в узлы типа «блиск» (blades and disk) (совместно с ИПСМ РАН, в рамках грантов РФФИ и РНФ).

Литература

1. Савицкий Е.М., Тылкина М.А., Поварова К.Б. Сплавы рения. М. Наука. 1965.
2. Povarova K.B., Tylkina M.A. Physicochemical principles of design of rhenium alloys // Rhenium and rhenium alloys // Proceedings of International symposium on rhenium and rhenium alloys. USA, Orlando, Florida. 1996, p. 647-659.
3. Поварова К.Б. Жаропрочные конструкционные сплавы на основе вольфрама, рения и алюминидов переходных металлов // Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН – 75 лет. Сб. научных трудов под ред. академика К.А. Солнцева. М.: Интерконтакт наука. 2013г. С. 238-259.
4. Поварова К.Б. Физико-химические принципы создания жаропрочных сплавов на основе тугоплавких металлов; Свойства сплавов тугоплавких металлов // В кн. Тугоплавкие металлы и сплавы. М. Металлургия. 1986, с. 152-255.
5. Савицкий Е.М., Поварова К.Б., Макаров П.В. Металловедение вольфрама. М. Металлургия. 1978, 224 с.
6. Лякишев Н.П., Банных О.А., Поварова К.Б., Тишаев С.И. Металлические материалы в Государственной научно-технической программе “Перспективные материалы” // Известия АН СССР, Металлы. 1991, № 6, с. 5-16.
7. Поварова К.Б. Физико-химические принципы создания термически стабильных сплавов на основе алюминидов переходных металлов // Материаловедение. 2007. №12. С.20-27 (начало); 2008. №1. С.60-67 (окончание).
8. Поварова К.Б., Казанская Н.К., Дроздов А.А., Антонова А.В. Изучение возможности создания термически стабильных конструкционных материалов на базе алюминидов переходных металлов систем Ni-Al-X, Ru-Al-X,

- Ti-Al-X, где X - легирующий элемент или фаза // *Металлы*. 2005, № 2, с. 78-87.
9. Поварова К.Б. Литейные сплавы на основе Ni3Al и способ их выплавки / К.Б. Поварова, О.А. Базылева, Н.К. Казанская, А.А. Дроздов // *Заготовительные производства*. 2010. № 1. С. 29-35
 10. Поварова К.Б., Базылева О.А., Дроздов А.А., Казанская Н.К., Морозов А.Е., Самсонова М.А. Конструкционные жаропрочные сплавы на основе Ni3Al: получение, структура и свойства // *Материаловедение*. 2011, № 4, с. 39-48.
 11. К.Б. Поварова, А.А. Дроздов, О.А. Базылева, Ю.А. Бондаренко, Булахтина М.А., Аргинбаева Э.Г., Антонова А.В., Морозов А.Е., Нефедов Д.Г. Влияние способа получения монокристаллов сплавов на основе Ni3Al на макро- и микрооднородность распределения компонентов, структуру и свойства // *Металлы*. 2014. №3. С.40-51.
 12. Поварова К.Б., Базылева О.А., Дроздов А.А., Морозов А.Е., Аргинбаева Э.Г., Антонова А.В. / Влияние термической обработки на дендритную ликвацию и жаропрочность монокристаллов интерметаллидных сплавов на основе Ni3Al, легированных рением. / *МиТОМ*. 2018. №9.
 13. К.Б. Поварова, Ю.А. Бондаренко, А.А. Дроздов, О.А. Базылева и др. Влияние направленной кристаллизации на структуру и свойства монокристаллов сплава на основе Ni3Al, легированного Cr, Mo, W, Ti, Co, Re и PЗМ // *Металлы*. 2015. №1. С.50-58.
 14. Дроздов А.А. Дендритная ликвация в монокристаллах интерметаллидных сплавов на основе Ni3Al, легированных Cr, Mo, W, Ti, Co, Re / А.А. Дроздов, К.Б. Поварова, А.Е. Морозов, А.В. Антонова, М.А. Булахтина // *Металлы*, 2015, № 6, С. 48-55
 15. Поварова К.Б., Базылева О.А., Ночовная Н.А. Физико-химические подходы к формированию термостабильных структурно-фазовых состояний в сплавах на основе алюминидов никеля, легированных тугоплавкими и активными металлами, с повышенными физико-механическим и эксплуатационными характеристиками для работы при температурах до 1200-1300°C (Презентация) // *Всероссийская научно-техническая конференция «Фундаментальные и прикладные исследования в области создания литейных жаропрочных никелевых и интерметаллидных сплавов и высокоэффективных технологий изготовления деталей ГТД» 9.11.2017 г., ФГУП «ВИАМ»*
 16. Povarova K.B., Skachkov O.A. Preparation, Structure, and Properties of Ni3Al and NiAl Light Powder Alloys for Aerospace // *2006 Powder Metallurgy World Congress and Exhibition. September 24-28, 2006. Bexco, Busun, Korea. Publications Ltd: Switzerland, UK, USA. Material Science Forum. 2007, v. 1, p. 1585-1588.*
 17. Povarova K.B., Skachkhov O.A., Drozdov A.A., Makarevich O.N., Morozov A.E. Effect of preparation methods of NiAl powders on the structure and properties of NiAl alloys and composites. // *Proceedings of Powder Metallurgy*

PM2010 World Congress. 10-14 october 2010. Fortezza da Basso Centre. Florence. V. 5. P. 312-319

18. Поварова К.Б., Дроздов А.А., Казанская Н.К., Морозов А.Е., Антонова А.В. Физико-химические подходы к разработке сплавов на основе NiAl для высокотемпературной службы // *Металлы*, 2011 г., №2. С. 48-61
19. K. B. Povarova, A. V. Antonova, A. A. Drozdov, O. A. Skachkov, S. T. Mileiko. Oxide-reinforced composites with intermetallic matrix based on nickel and titanium monoaluminides // *Proceedings of 15th European conference on composite materials. (ECCM15, Venice, Italy), 2012. V.4. P.1-8.*

О практической реализации результатов исследований новых высокопрочных немагнитных сталей

С 1969 года в Лаборатории № 7, под общим научным руководством Ю.К. Ковнеристого и О.А. Банных, проводились исследования по созданию дисперсионно-твердеющих ванадийсодержащих сталей для высоконагруженных немагнитных изделий. Проблема повышения конструкционной прочности немагнитных сталей, путем экономного и эффективного использования легирующих элементов, в то время была одной из важнейших в материаловедении. Существенными недостатками применяющихся до 1969 года немагнитных сталей являлись: относительно низкие статическая и циклическая прочность, вязкость разрушения и износостойкость. Между тем, для развития энергетического, транспортного и криогенного машиностроения, судостроения, приборостроения, нефтяной и газовой промышленности, необходимо было использование высокопрочных, вязких и пластичных, немагнитных экономнолегированных сталей, способных, например, работать без деформации в сильных магнитных полях, а также не искажать магнитные поля, определяющие работоспособность приборов и конструкций. В результате проведенных до 1983 года исследований, были развиты научные основы создания дисперсионно-твердеющих ванадийсодержащих немагнитных сталей высокой прочности, что позволило повысить прочностные свойства от 2 до 6 раз, по сравнению с традиционными немагнитными сталями, и обеспечить возможность их использования в качестве материала тяжело нагруженных немагнитных деталей машин и конструкций различного назначения. Эффективность научных принципов легирования была подтверждена разработкой более 20 марок новых высокопрочных немагнитных сталей, защищенных авторскими свидетельствами и удовлетворяющих разнообразным и сложным требованиям (по физико-механическим, химическим и специальным свойствам), предъявляемым новой техникой. Созданию на основе этих принципов легирования нового класса конструкционных сталей для высоконагруженных изделий способствовали созданные в Институте почти идеальные условия для проведения научных исследований: возможность заказа большого количества слитков лабораторных плавок в МИСиС и на заводе «Электросталь», изготовление в СКБ Института необходимого количества образцов для проведения испытаний на растяжение, ударную вязкость, циклическую прочность и вязкость разрушения, предоставление лабораториям 10, 13, 14, 15 достаточного времени для проведения механических испытаний и структурных исследований. Кроме того, важно отметить творческое участие в этих работах сотрудников лаборатории №7 (О.П. Черногоровой, Н.М. Старостиной, Н.И. Гелаховой, аспирантов Г.М. Малкиной, М.А. Каблуковской, Н.А. Кликовкиной). Для создания про-

мышленной технологии выплавки,ковки, прокатки, штамповки, обработки резанием, термической и химико-термической обработки изделий из немагнитных сталей, на металлургических и машиностроительных заводах также были хорошие условия. Руководство этих организаций предоставляло необходимое оборудование, а их научно-технический персонал принимал активное и творческое участие в разработке технологии обработки и изготовления изделий из новых высокопрочных аустенитных сталей, разработанных в ИМЕТ. Решались сложные задачи использования действовавшего заводского оборудования, не предназначенного для производства изделий из высокопрочных аустенитных сталей, без срыва плана производства изделий из низколегированных и высокоуглеродистых сталей. К сожалению, в процессе опытного опробования новых сталей полностью избежать такого срыва не удалось. На трубопрокатном заводе в г. Никополе, по заказу п/я 7703, при изготовлении опытной партии труб диаметром 200 мм из разработанной в ИМЕТ РАН стали 40Г14Н8Х3Ю (ЭП-769), не удалось обеспечить стабильный процесс изготовления труб без грубых внутренних и внешних дефектов. Сначала качественные трубы получали под восторженные аплодисменты сотрудников прокатного цеха, так как впервые были изготовлены отечественные высокопрочные немагнитные трубы диаметром 200 мм, а затем - под неприятные для создателей стали восклицания, когда процесс прошивки заканчивался на середине длины заготовки диаметром 200 мм (при этом большие куски металла этой заготовки разлетались по всему прокатному цеху). Основной причиной нестабильности процесса получения труб была недостаточная мощность главного двигателя прошивного стана, не предназначенного для изготовления труб из высоколегированных сталей. Руководство завода сначала приняло решение не продолжать разработку технологии получения труб из стали ЭП-769. Однако, благодаря предложению главного технолога завода по предварительному сверлению отверстия диаметром 700 мм в заготовке диаметром 220 мм из стали ЭП-769, был разработан стабильный процесс получения труб диаметром 200 мм из этой стали. Для изготовления гильз цилиндров немагнитного двигателя была изготовлена большая партия труб из стали ЭП-769. Это позволило заменить сталь 60Г18Ф3, гильзы цилиндров из которой получали в результате расточки внутренней части заготовки, при этом 90% металла уходило в стружку.

Определенные сложности были при разработке технологии штамповки шестерен диаметром 350 мм из стали ЭП-769. По заводской технологии сначала не удавалось получать такие шестерни. Однако, благодаря предложенной нами технологии, был обеспечен стабильный процесс получения качественных шестерен из высокопрочной немагнитной стали. Для изготовления нового немагнитного двигателя из стали ЭП-769, на п/я М-5939 впервые были разработаны новые технологии азотирования,ковки и прокатки более 190 наименований деталей немагнитного дизеля.

По основной характеристике - общей немагнитности - новый дизель превосходил отечественные и зарубежные двигатели. На п/я М-5939, А-7703 и А-7494 было освоено производство деталей дизеля из стали ЭП-769. Разработанные нами новые высокопрочные немагнитные стали и технологии их термической обработки, пластической деформации и азотирования

позволили:

— совместно с НПО ЦНИИТМАШ, ПО Невский завод и ФИАЭ создать термоядерную установку Т-14, силовые бандажи которой были изготовлены из суперпрочной немагнитной стали 70Г16Н7МФ3;

— изготовить в НПО Криогенмаш из стали 40Г20Н13Ф детали криогенной техники;

— из стали 40Х12Г16Н7МС на БЗРП — проволоку диаметром 0,08 — 5 мм с пределом прочности 3200 МПа;

— из стали 50Г18Н13Ю5Ф в ИФВД АН СССР — сосуды высокого давления;

— из стали 100Г18Н8Ф4 — в п/я Р — 6762 износостойкие немагнитные детали;

— из стали ЭП-769 немагнитные баллоны в п/я Г-4150.

За цикл работ по созданию научных основ легирования, разработки технологии и организации производства из новых немагнитных сталей для высоконагруженных изделий новой техники, В.М. Блинов, О.А. Банных в 1989 г. были удостоены Государственной премии СССР.

*Гл.н.с. ИМЕТ РАН,
д.т.н., проф. В.М. Блинов*

И это не всё, что хотелось бы вспомнить

д.т.н., проф. Шефтель Е.Н.

Моя научная творческая жизнь началась с поступления в очную аспирантуру ИМЕТ в декабре 1964г. Получив сообщение о зачислении, я пришла на прием к руководителю моей работы, профессору Приданцеву Михаилу Васильевичу, который был в то время директором нашего Института. Михаил Васильевич принял меня. Привожу дословный текст состоявшейся беседы. М.В.: “Слушаю вас”. Я: “Михаил Васильевич, я поступила к Вам в аспирантуру и хотела бы получить рекомендацию по теме работы”. М.В.: “Вот эти аспиранты! Поступили, приходят к руководителю, дай им тему, предложи план...”. После нескольких секунд молчания продолжил: “Основное научное направление нашего института — жаропрочность, металл можете выбрать любой из тех, которыми занимаются в институте (в то время в ИМЕТе тематика лабораторий, в основном, была ориентирована на один из металлов и сплавов на его основе). На каком металле остановитесь, в соответствующей лаборатории будете выполнять работу (директор!)”. После этого он добавил: “Сейчас у нас декабрь, придёте ко мне в начале апреля (1965 г.) с названием темы, планом работы и, желательно, с первыми экспериментами”. На этом разговор закончился. Так я пустилась в свободное плавание. Хотелось остаться в своей Лаборатории 7, в которой я уже работала. В Лаборатории 7 основными объектами исследований были стали и сплавы ниобия (группа, руководимая Еленой Валентиновной Васильевой, занималась проблемой окисления ниобия и его сплавов). Свою дипломную работу в Институте Стали, после учёбы в котором была распределена в ИМЕТ, я выполняла на очень интересном и мало изученном в то время молибдене, поэтому мне хотелось “не расставаться” с тугоплавкими металлами. И я решила: “Остаться в своей лаборатории и выбрать для исследований ниобий”. Я должна была найти актуальную тему, связанную с проблемой жаропрочности. Но при этом она не должна была пересекаться с тематикой окисления, поскольку последней занималась Васильева Е.В., а моим руководителем она не была (немаловажный человеческий фактор!).

В начале 60-х гг. XX века во многих развитых странах проводились работы по изучению свойств тугоплавких металлов и разработке конструкционных сплавов на их основе, при этом серьёзной проблемой была очистка их от газообразующих примесей (кислород, азот, углерод), которые охрупчивали металл. Работая с литературой, я наткнулась на работу [Hobson D.O. Aging Phenomena in Columbium-Base Alloys. High Temperature Materials II. Metallur. Soc. AIME, 1963, vol.18, p.325-334], в которой было показано, что присутствие кислорода в ниобии, в котором всегда присутствует в виде примеси цирконий (попадает из руды), не только не приводит к охрупчиванию ниобия, но способствует повы-

шению жаропрочности. Предполагалось, что эффект связан с образованием дисперсных выделений оксидов циркония. И я подумала: “Буду вводить кислород в ниобий, контролируя содержание циркония, и исследовать формирующуюся при этом структуру и жаропрочные свойства сплавов”. Многие, с кем я советовалась, удивлялись моему решению, как можно вводить в ниобий кислород, от которого стараются избавиться. Но я рискнула и в 1970г. защитила кандидатскую диссертацию на тему “Исследование дисперсионного упрочнения ниобия тугоплавкими оксидами циркония и гафния”, а научное направление “Дисперсионное упрочнение конструкционных сплавов ниобия тугоплавкими оксидами, нитридами, карбидами Ti, Zr, Hf, а затем, совместно карбидами и интерметаллидами” стало одним из научных направлений лаборатории №7. Группой, в которой выполнялись эти исследования, руководил Всеволод Константинович Григорович (рис. 1). Результаты работы по этому направлению были обобщены в монографии “Дисперсионное упрочнение тугоплавких металлов” (В.К. Григорович, Е.Н.Шефтель), в кандидатской диссертации Усмановой Галины Шавкатовны “Дисперсионное упрочнение ниобия и его сплавов нитридами циркония и гафния”, в моей докторской диссертации “Упрочнение жаропрочных Nb- и износостойких Fe- сплавов с ОЦК-решёткой оксидами, нитридами, карбидами металлов IVA группы”, в обзорах, опубликованных в отечественных и зарубежных научных журналах. Полученные в группе результаты использовали ведущие отраслевые организации, занимающиеся созданием сплавов на основе Nb с требуемым уровнем свойств.

“Подводные течения”, появившиеся в нашей лаборатории, совпавшие с приходом группы, занимавшей сплавами на основе вольфрама, к сожалению, усилились настолько, что в 1998 г. была закрыта тематика, связанная с Nb сплавами. А жаль! Сейчас во всех развитых странах и в



Рис. 1. Григорович В. К. и Шефтель Е. Н., 1993 г.

России снова появился огромный интерес к сплавам на основе Nb и его интерметаллидам, в связи с остро стоящей в авиации и космической технике задачей создания жаропрочных жаростойких сплавов с рабочими температурами не ниже 1350°C. Наш коллектив, если бы судьба сложилась по-другому, мог внести весомый вклад в решение этой задачи.

Раздался в нашу группу звонок из Министерства Черной металлургии СССР (это было в 1975 году). “Мы знаем, что вы успешно повышаете прочность конструкционных Nb-сплавов за счет дисперсионного упрочнения. Не могли ли бы вы помочь ЦНИИЧЕРМЕТу решить важнейшую проблему — повысить износостойкость магнитомягкого сплава Сендаст-ВИ (система Fe – Si – Al), из которого в нашей стране изготавливают видео-головки для студийных видеомagneтофонов всех телецентров СССР? К сожалению, сплав характеризуется низкой износостойкостью, поэтому видео-головки при работе с магнитной лентой, на которой записана информация, быстро истираются. Приходится за валюту покупать в США более износостойкие головки”. Сразу после этого звонка в Министерстве точного машиностроения, которому подчинялся завод-изготовитель видео-головок, один высокопоставленный чиновник мне сказал, что, если удастся повысить износостойкость сплава Сендаст-ВИ хотя бы на 15-20, он станет перед нами на колени.

Мы сделали это! Наш дисперсно-упрочнённый тугоплавкой карбидной фазой сплав по износостойкости в 2-3 раза превышал сплав Сендаст-ВИ.

Головки, изготовленные из разработанного и выплавленного в нашем институте дисперсно-упрочнённого сплава, установленные в эфирных аппаратных телецентра “Останкино”, во время Олимпиады 1980г., которая проходила в Москве, буквально, по словам директора технического телецентра “Останкино”, спасли ситуацию. Дело в том, что нагрузка на телевидение была тогда огромной, был израсходован весь запас отечественных и купленных в США за валюту головок. Поскольку остановка телевидения не допускалась, в эфирные аппараты поставили лежащие у них и ждавшие своей очереди для натуральных испытаний головки из нашего сплава, которые обеспечили бесперебойную работу телевидения. К сожалению, внедрить в отрасль наш сплав ответственные за это организации и люди побоялись, слишком много “трудностей” с этим могло быть связано — уменьшились или прекратились бы поездки, связанные с закупкой головок в США; на Новосибирском заводе точного машиностроения, где вручную изготавливали головки для всех телецентров страны, увеличилась бы затрата времени рабочего на изготовление головки из очень износостойкого сплава, а значит надо было вносить изменения в расценки по изготовлению головок (возникла бы необходимость проведения соответствующих бюрократических мероприятий в Комитете Стандартов и Цен), в общем.... много возни, а государственные деньги считать в то время не любили!

И еще одно НО! Разработанный сплав был нами защищён авторским свидетельством (Авт. св. № 524854 от 22.04.76 Григорович В.К., Шефтель Е.Н., Шефтель Н.И., Маторин В.И.), которое, к сожалению, публиковалось в открытой печати. Буквально через несколько месяцев появился японский патент, который заявлял дисперсно-упрочнённый тугоплавкими немагнитными фазами магнитомягкий сплав с повышенной износостойкостью и широчайшим зонтиком по составам (японцы молодцы, сразу “подхватывают” новенькое!). Так, формально, наш приоритет был потерян.

Однако, весть о нашей разработке “долетела” до фирмы Филипс. В 1993 г. Николай Павлович Лякишев, в то время директор ИМЕТ, Олег Александрович Банных, заведующий Лабораторией № 7, принимали главного менеджера исследовательских лабораторий фирмы Филипс (Phil. Res. Lab., г.Эйндховен, Голландия) (Dr. J.P. Hurault) и руководителя отдела магнитных материалов этой фирмы (Dr. J.W. Smits), которые приехали с предложением совместной работы по созданию дисперсно-упрочнённых магнитомягких сплавов, но не объёмных, получаемых литьём, а плёночных, получаемых методом магнетронного напыления (в то время началась эра миниатюризации устройств электроники). В результате переговоров было принято решение о выполнении совместной работы в рамках контракта. Это было важное решение, поскольку в те годы наука и, в частности наш Институт, переживала финансовые трудности, а также контракт открывал возможность продвижения нашей разработки в другие страны. Для ознакомления с технологией изготовления видео-головок в исследовательских лабораториях фирмы Филипс и обсуждения деталей планируемого контракта, меня пригласили приехать к ним. Кстати, как они мне сказали, я была первым человеком из бывшего СССР, посетившим их научный центр.

Работа по контракту продолжалась два года. На полученные от фирмы Филипс деньги, перечисленные на специально открытый тогда валютный счёт ИМЕТ, по словам директора института Н. П. Лякишева, удалось выплачивать зарплату сотрудникам института. Наша группа, занимавшаяся этой работой, помимо обычной зарплаты получила свой первый компьютер.

Верну читателя к описанному выше событию, связанному с закрытием нишевой тематики в нашей лаборатории №7. Вынужденный переход на другую тематику обернулся для нас возможностью работать по одному из наиболее перспективных в XXI веке научных направлений — развитие научных основ создания нанокристаллических дисперсно-упрочнённых магнитомягких плёночных материалов на основе сплавов Fe для многофункционального применения в устройствах микроэлектроники (рис. 2). Сегодня эта научная проблема является одним из научных направлений нашей Лаборатории №7.



Рис. 2. Сотрудники лаборатории №7, занимающиеся проблемой развития научных основ создания магнито-мягких нанокристаллических плёночных материалов на основе сплавов Fe, сентябрь 2018 г. Слева направо: Теджетов В. А., Шефтель Е.Н., Усманова Г.Ш., Харин Е.В.

Моя жизнь более 50-ти лет связана с Лабораторией №7, которой более сорока лет руководил Олег Александрович Банных. В 1954 или 1955 году в стенной газете “Металлург”, которую выпускали в Магнитогорском горно-металлургическом институте (Олег Александрович заканчивал



Рис. 3. Ведущие ученые Всесоюзного Института Лёгких Сплавов (ВИЛС) приехали поздравить академика Банных О. А. с его 70-летним юбилеем, 27 сентября 2001 г. Слева направо: Польшкин И. С., Юдковский С.И., Банных О. А., Шефтель Е.Н., Фридман А. Г., Фаткулин О. Х.

этот ВУЗ), были помещены стихи (мне повезло встретить человека, учившегося в то время в этом институте и запомнившего это стихотворение):

“Диплом инженера ему не предел,
Он должен стремиться к знанию,
И мы верим, наступит день,
И он, как учёный, получит признание”.

Эти, довольно простенькие, стихи оказались пророческими. Помню защиту докторской диссертации Олега Александровича, которую мы отмечали вместе с его 40-летием, помню и празднование 70-ти летнего юбилея академика Банных О.А. со множеством людей, приехавших и пришедших из разных научных, учебных и производственных организаций нашей страны, чтобы поздравить и выразить своё уважение О.А. (рис. 3).

Олега Александровича, как руководителя лаборатории, отличает важная, на мой взгляд, черта – он предоставляет учёному свободу выбора научного направления и способствует созданию условий для выполнения работ по этому направлению. Этим, несомненно, работа в Лаборатории №7 многих привлекала. В результате, наша лаборатория в различное время пополнилась такими научными направлениями как: “Термодинамический расчет и моделирование диаграмм состояния” (руководитель Удовский А.Л.), “Сплавы на основе вольфрама и интерметаллидов” (руководитель Поварова К. Б.), “Научные основы разрушения металлов и сплавов” (руководитель Ботвина Л.Р.).

Почти 30 лет моя научная работа, а, практически, и жизнь, были связаны с Всеволодом Константиновичем Григоровичем. Человек, который всю свою жизнь отдавал Науке, в которую был влюблён в самом высоком понимании этого слова. Его интересовали фундаментальные проблемы материаловедения. Не преходящие, уникальные научные обобщения, сделанные им, изложены в написанных им фундаментальных монографиях “Периодический закон Менделеева и электронное строение металлов”, “Жаропрочность и диаграммы состояния”, “Электронное строение и термодинамика сплавов железа”, “Металлическая связь и электронная структура металлов”. Книги, написанные в 60-70-х гг. прошлого столетия, в которых обобщаются научные данные, полученные в мировом научном сообществе к тому времени, дают адекватные объяснения эффектам, наблюдаемым теперь, в XXI веке, в металлах и сплавах, полученных высокими технологиями.

К Всеволоду Константиновичу часто приезжали и маститые, и молодые ученые с просьбой объяснить полученные ими экспериментальные данные. Необыкновенная способность аналитически мыслить и проникать в суть физического явления позволяли В.К. давать правильные и нетривиальные объяснения этим данным, объяснения, которые он с огромным удовольствием дарил людям. Иногда поражало то, что он мог увидеть в

представленных данных что-то абсолютно скрытое от всех. Помню один случай. В.К., будучи членом Диссертационного совета в МИСиС, слушает доклад. Защищающийся “смотрится” плохо, члены Совета выступают с критическими замечаниями, всё идет к тому, что будет плохое голосование. В.К. просит слова и говорит, что в работе показано (я сейчас не помню, что именно, ведь это было давно) что-то очень важное и интересное, чего не заметил даже сам диссертант. Ход защиты моментально изменился, голосование было в пользу диссертанта.

Всеволод Константинович часто делился своими мыслями со мной (и не только со мной!), говоря, что при этом он совершенствует те или иные свои представления о разных процессах и их взаимосвязи в металлах и сплавах. Эти беседы, а точнее монологи, мне многое дали — я научилась логически мыслить, связывать результаты своего эксперимента с фундаментальными представлениями материаловедения. Я горда, что есть монография “Дисперсионное упрочнение тугоплавких металлов”, написанная мной совместно с Всеволодом Константиновичем.

Хочется также вспомнить человека, с которым мне повезло встретиться в институте. Это Павел Кондратьевич Ощепков — заведующий Лабораторией №20 “Интроскопия” (здесь я начинала свою жизнь в ИМЕТ). Крупный учёный, изобретатель, один из основателей отечественной радиолокации и интроскопии, создатель аппаратуры для обнаружения самолётов с помощью электромагнитного луча, и при этом, замечательный человек. Помню как в мой первый день на работе П.К., держа меня за руку, привёл в комнату, где находилась группа ультразвуковой интроскопии. “Это новая сотрудница, где она будет сидеть?” — сказал П.К., обращаясь к руководителю группы Лушникову Геннадию Алексеевичу. Ему показали на свободный стол, стоящий вдоль стены, граничащей с бетатронным залом (в зале стоял ещё и линейный ускоритель). “Нет”, — сказал П.К. и продолжил: “Она сядет за тот дальний от стены стол, а кто-нибудь из мужчин (в комнате сидели только мужчины) пересядет за свободный”. Это, конечно, мелочь, но она осталась в моей памяти навсегда. Тогда я попала в коллектив одержимых наукой людей, там были талантливые изобретатели, физики, математики, прибористы, механики с “золотыми” руками. С лабораторией сотрудничали и работали в ней (ушедшие из жизни до моего прихода в лабораторию) известный учёный в области приборостроения, изобретатель профессор Улитовский Алексей Васильевич, предложивший новый способ получения литых микропроводов в стеклянной оболочке (метод Улитовского-Тэйлора), Гвай Иван Исидорович, один из создателей знаменитой “Катюши”. На базе этой лаборатории в 1963г. в Москве был создан институт “Интроскопии” (директор — П.К. Ощепков).

“Открыть окно в Европу”! Это произошло в результате участия специалистов в области диаграмм состояния и фазовых равновесий Института Металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова в международном Проекте “Критическая оценка тройных металлических систем” (Assessment Program of Ternary Alloy Systems). Наш институт, как один из ведущих в мире институтов, занимавшихся изучением фазовых равновесий и построением диаграмм состояния металлических систем, был приглашен участвовать в этом Проекте компанией Materials Science International Services (MSI GmbH) (Германия, Штутгарт, др. Гюнтер Эффенберг) и Макс-Планк институтом по исследованию металлов (Max Planck Institute for Metals Research) (Германия, Штутгарт, проф. Гюнтер Петцев). Подключив к работе специалистов в области фазовых равновесий и диаграмм состояния из московского университета, киевских Института физики металлов и Института проблем материаловедения, львовского университета, наш институт приступил в 1989 г. к работе по Проекту. Основные участники работ из нашего института: Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Добаткина Т.В., Будберг П.Б., Алексеева З.М., Лысова Е.В., Петров Д.А., Шефтель Е.Н., Либеров Ю.П., Шелимова Л. Е. Руководители работы по Проекту, выполнявшейся российскими и украинскими учёными, академик Лякишев Н.П. и академик Банных О.А., координатор Шефтель Е.Н. В Проекте принимали участие учёные из многих стран Германии, Англии, Франции, Бельгии, Китая, ЮАР.

Коротко о том, в чем заключалась работа. Каждый участник Проекта писал критический обзор всех опубликованных в мировой печати работ по определённой тройной металлической системе, например, Ag-Al-Mg. Как правило, выбранные системы представляли интерес с точки зрения прикладного значения. Все доступные литературные источники, касающиеся данной системы, подбирала команда MSI GmbH и почтой присылала оттиски участнику, работавшему над обзором по этой системе. В последние годы копии работ высылались электронной почтой. Очень часто это были оттиски публикаций, недоступных для учёных СССР и РФ, например, работы из библиотеки Конгресса США. Раз в году участники собирались на семинар, который проводился в Доме творчества общества Макс-Планка, расположенном в красивейшем месте Schlobe Ringberg в местечке Тегензее (Германия, Бавария) (рис. 4 и рис. 5). Во время семинара обсуждали подготовленные обзоры, совершенствовали методологию написания и оформления обзоров, слушали выступления приглашённых из различных европейских стран учёных-материаловедов и специалистов отраслевых предприятий, что позволяло быть в курсе актуальных, на то время, проблем материаловедения и выбирать для дальнейшей работы по Программе наиболее перспективные металлические системы.

В результате работы, за период 1991-2001 г.г. вышло несколько томов справочников “Ternary Alloys. A Comprehensive Compendium of Evaluated Constitutional Data and Phase Diagrams” (Materials Science International



Рис. 4. Замок на горе Рингберг, в котором расположен Дом творчества общества Макса-Планка (Schloße Ringberg), с видом на озеро Тегензее, Германия.



Рис. 5. Первое посещение учёными ИМЕТ — участниками Программы “Ternary Alloy Systems” Дома творчества общества Макса-Планка, Германия, сентябрь 1989г. Слева направо: (внизу) Бочвар Н. Р., Эффенберг М, миссис Принс, Шефтель Е.Н., Рохлин Л. Л., Либеров Ю.П., (сверху) Ран К., Будберг П. Б., Принс А., Лукас Л.

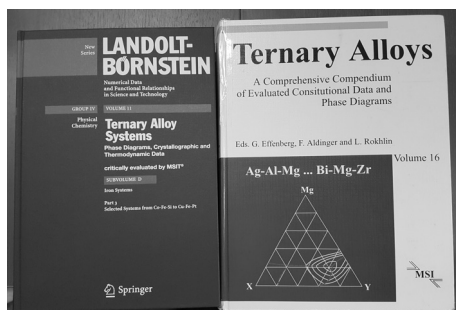


Рис. 6. Справочник “Ternary Alloys. A Comprehensive Compendium of Evaluated Constitutional Data and Phase Diagrams” (Materials Science International Services, GmbH, Stuttgart, FRG), издательство VCH Verlagsgesellschaft mbH и Энциклопедия Landolt-Boernstein “Ternary Alloy Systems. Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data critically evaluated by MSIT”, издательство Springer.

Services, GmbH, Stuttgart, FRG), в каждом содержалось около 200 обзоров по тройным системам. Справочники издавали в издательстве VCH Verlagsgesellschaft mbH (ФРГ), а распространялись они дистрибьютерами в ФРГ, Швейцарии, Англии, США. Наш институт получал бесплатно каждый том, стоимость которого доходила до 500 \$ US. За период 2004 – 2010 гг. вышла новая серия Справочников “Ternary Alloy Systems. Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data critically evaluated by MSIT” — Энциклопедия Landolt-Boernstein, издательство Springer. В каждом томе содержится 30 – 40 обзоров, включающих дополнительные, по сравнению с предыдущей серией справочников, данные о свойствах сплавов и данные, связанные с термодинамическими расчётами диаграмм состояния. Наш институт имеет 12 томов этих справочников (фото 6). В настоящее время продуктом Проекта, который продолжается более 25 лет, является электронная база данных, доступ к которой остается довольно дорогим.

Как участник Проекта, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова является членом международной комиссии по фазовым диаграммам металлических систем (APDIC — Alloy Phase Diagram Committee).

В заключение хочу поздравить всех работающих сегодня в Институте с 80-летним Юбилеем, вспомнить с уважением и благодарностью тех, кто создавал Институт и делал всё для его процветания, и пожелать будущим поколениям встретить 100-летний юбилей Института большими успехами в науке, посвящённой созданию новых, отвечающих требованиям времени материалов!

Всеволод Константинович Григорович (1917 – 1996)

К.В. Григорович

В 2017 году мы отмечаем 100-летие со дня рождения Всеволода Константиновича Григоровича (1917 – 1996), ведущего научного сотрудника лаборатории № 7 ИМЕТ РАН, удивительно талантливого, светлого человека, выдающегося ученого, настоящего патриота России. В его жизни, как в капле воды, отразились все основные события новейшей истории нашей Родины.

Всеволод Константинович Григорович родился 5 мая 1917 г. в городе Петрограде, вскоре после февральской революции. В июне семья переехала под город Ногинск, в поселок Затишье, где ранее, 19 августа 1916 г. был заложен первый в России электросталеплавильный завод «Электросталь». Его отец, Константин Петрович Григорович, выпускник Санкт-Петербургского Политехнического Института, был приглашен для проектирования и строительства главного электросталелитейного цеха завода.



Рис. 1. Всеволод Константинович Григорович.

В скором времени семья перебралась в Москву, так как в 1919 г. Константина Петровича Григоровича пригласили преподавать электрометаллургию в созданной в 1918 г. Московской Горной Академии, в которой он стал сначала профессором, а затем — заведующим кафедрой электроплавки.

29 сентября 1931 г. К.П. Григорович был назначен техническим директором Всесоюзного объединения качественных и высококачественных сталей и ферросплавов «Спецсталь». В состав объединения вошли заводы «Электросталь», «Серп и молот», «Красный Октябрь», Златоустовский завод и другие заводы, выпускающие качественные стали. Семья поселилась на Большой Калужской улице (так тогда назывался Ленинский проспект), в двухэтажном доме, напротив Горной академии. Всеволода отправили учиться в знаменитую «Хвостовскую» гимназию на Арбате, где он подружился с Николаем Беляевым, будущим генетиком и академиком СССР, и Николаем Кофенгаузом, будущим профессором. Эту дружбу Всеволод Константинович пронес через всю свою жизнь.

С детства Всеволод Константинович был очень любознательным, много читал, рисовал, занимался спортом. Он был старшим ребенком в семье, очень хорошо учился, интересовался поэзией, обожал А.С. Пушкина, читал огромное количество книг. Его мать, Прасковья Семеновна, каждый год возила детей отдыхать в Крым, где Всеволод познакомился с поэтом-декадентом Максимилианом Волошиным, который учил его рисовать акварелью. Он мог бы стать прекрасным художником, в семье сохранились его рисунки и несколько рисунков М. Волошина, которые сложно отличить. Для того, чтобы быстрее поступить в институт, Всеволод перешел на рабфак, в десятый класс, где в один год экстерном сдал экзамены за два года обучения и поступил в Московский институт стали. Он не пошел на кафедру своего отца, а выбрал для специализации кафедру металловедения и термообработки. Всеволод Константинович был чрезвычайно одарен – он учился только на отлично, прекрасно знал два языка – английский и немецкий и окончил институт с красным дипломом. Он увлекался поэзией, писал стихи, замечательно рисовал, отлично фотографировал, профессионально играл в волейбол с игроками сборной СССР, хорошо плавал и катался на лыжах. Вот одно из его сохранившихся стихотворений 1937 года, написанное в Коктебеле:

Лапы властно окунувши в море,
Вдаль направив неподвижный взгляд,
Днем и ночью от невзгод и горя
Сфинксы нас с тобою сторожат.

Охраняют солнечные троны
Реющие с клетотом орлы,

И лежат под солнцем полуденным
Грозно затаившиеся львы.

Зачарованы бездонной синью,
Мы сидим у «Золотых Ворот».
И смеется стаю дельфиньей
Моря улыбающийся рот

Обнаженные, сидим пред самой бездной
В мантиях из солнечных лучей,
Под сияньем нимба бесполезным,
Что еще желать, о свет моих очей?

Ты и я – ликующие боги!
И покорно синие валы
Нам ласкают бронзовые ноги,
Разбиваясь в пену у скалы.

Наверное, выбери Всеволод живопись или поэзию, то в каждой он смог бы сделать прекрасную карьеру. Но он собирался поступать в аспирантуру Института стали. В октябре 1938г. его отец, Константин Петрович Григорович, был арестован и получил, как враг народа, десять лет без права переписки. На самом деле, как после его реабилитации стало известно из рассекреченных архивов НКВД, К.П. Григорович был приговорен Верховной коллегией военного суда (тройкой) к высшей мере наказания и расстрелян 16.04.1939 г. Поражения в правах коснулись всех членов семьи: жену Прасковью Семеновну уволили с работы (она была врачом – акушеркой в 1-ой Градской больнице), дочь Нину исключили из Московского Университета. Не тронули только младшего сына-школьника – Костю. После окончания института Всеволод Константинович сдал на «отлично» экзамены в аспирантуру, пытаясь поступить к будущему академику А.Н. Бочвару, другу своего отца. Но, как сына врага народа, Всеволода в аспирантуру не приняли, и целый год он не мог никуда устроиться на работу. Его вызвали по повестке в военкомат, и он попросил военкома призвать его в армию. Однако, узнав, что не только отец будущего солдата, но и двое братьев отца объявлены врагами народа и уже арестованы, военком испугался и в призыве отказал. В 22 года Всеволод стал кормильцем большой семьи, подрабатывая, где возможно и чем возможно. Наконец, один из старых знакомых Константина Петровича Григоровича – директор второго Государственного подшипникового завода взял его рабочим в термическое отделение завода. Завод был оборонным, и Григоровича уже официально освободили от службы в армии.



Рис. 2. В.К. Григорович — начальник термического отделения 2 ГПЗ.

Вот еще одно стихотворение - «Предчувствие», написанное им в октябре 1940 года:

Небо ало, ветер стих,
Небывало вечер тих:
Даже трепетной осины
Лист не дрогнет ни единый.

Черным страхом сердце полно:
От востока на закат
Беспрерывно и безмолвно
Стаи черные летят...

Над просторами страны
Только крыльев колыханье,
Как зловещее дыханье
Наступающей войны...

К началу войны Всеволод Константинович уже стал начальником термического отделения завода. Завод осенью 1941 года отправили в эвакуацию, на Урал, но после победы в сражениях под Москвой, эшелоны с сотрудниками и оборудованием завода развернули обратно, и завод в кратчайшие сроки снова заработал.

Отец вспоминал такой эпизод. Однажды, в начале 1942 г. всех начальников цехов и подразделений завода внезапно вызвал на совещание директор. Рядом с бледным, взволнованным директором в кабинете сидел

полковник НКВД и стояли два автоматчика. На столе лежал разрушенный авиационный подшипник.

«Вот, — сказал директор завода, — произошла авария. Разбился самолет со всем экипажем и двумя членами нашего Правительства. Экспертиза установила причину аварии — разрушение подшипника, а подшипник-то наш — заводской! Будем разбираться и искать виновных».

Директор долго и горячо отчитывал всех подряд начальников цехов и лабораторий — за разгильдяйство, небрежность, отсутствие дисциплины... В это время все присутствующие молча разглядывали, передавая друг другу остатки разрушенного подшипника. Дошла очередь и до Всеволода Константиновича. Он взял в руки подшипник и сразу увидел, что характер излома указывает на типичный дефект термической обработки — пережог. Это как раз то, за что Всеволод Константинович отвечал на заводе — термическая обработка. Он подумал: отец — враг народа, два дяди — враги народа, теперь моя очередь. Григорович с детства был близоруким и очень хорошо видел вблизи. Он молча продолжал внимательно разглядывать подшипник и, увидев сбоку мелкие буквы маркировки, машинально поднял руку.

«Ну, что тебе? Подожди, Григорович, — сказал директор, — до тебя еще дойдет очередь».

«Товарищ директор, на маркировке подшипника указано SKF. Это же шведы, это не наш подшипник!».

После возникшей паузы директор объявил: «Совещание окончено, все свободны, идите работать!». Этот случай Всеволод Константинович запомнил на всю свою жизнь.

В марте 1942 года В.К. Григоровича назначили заместителем Главного металлурга завода, начальником Центральной лаборатории.

Во время войны, в 1942г, мой отец женился на подруге своей сестры Нины — Леночке, балерине Музыкального театра им. К.С. Станиславского и В.И. Немировича-Данченко, в которую он был влюблен с детства. Это была настоящая большая любовь, которую супруги пронесли через всю свою жизнь, дожив до «золотой» свадьбы. Войну семья прожила очень трудно, голодая, но отдавая все свои силы работе.

Второй (а может и первой!) любовью Всеволода Константиновича была наука. Еще работая на 2-ом ГПЗ, он увлекся новым тогда научным направлением - возможностями определения твердости и микротвердости - и все свое свободное время посвящал исследованиям. В 1948 г. Всеволод Константинович защитил кандидатскую диссертацию на эту тему. После защиты диссертации, в 1949 году его приняли, по совместительству, старшим научным сотрудником в НИИ подшипниковой промышленности.

В 1959 г. В.К. Григорович прошел по конкурсу и был принят на работу старшим научным сотрудником в Институт металлургии им. А.А. Байкова АН СССР, с окладом 3000 рублей, в закрытую лабораторию, которой руководил д.т.н. Олег Иванович Иванов. Лаборатория за-

нималась материалами для атомной промышленности. К этому моменту в семье В.К. Григоровича было уже трое детей. Всеволод Константинович с большим энтузиазмом взялся за работу и внес значительный вклад в развитие атомной промышленности, выполнив очень подробные фундаментальные исследования структуры и свойств сплавов системы цирконий-ниобий, которая впоследствии стала основой для оболочек ТВЭЛ. Государственную премию по закрытой тематике за этот внедренный в промышленность сплав получил А.А. Бочвар с сотрудниками ВНИИНМа, к которым по закрытой линии приходили отчеты НИР ИМЕТа.

Всю свою оставшуюся жизнь В.К. Григорович проработал в Институте металлургии им. А.А. Байкова Академии наук СССР. Институт стал тем местом, где он смог реализовать все свои самые смелые замыслы. Он был беззаветно предан науке и посвящал ей все свое время и силы. Он очень хорошо знал английский и немецкий языки, много читал и переводил статьи и книги. В 1963г. он перевел знаменитую книгу Б. Чалмерса «Физическое металловедение». Всеволод Константинович был истинным трудоголиком. Приходя домой после работы, он ужинал, отдыхал час — другой, потом садился за письменный стол, и — начинался праздник творчества. Он творил! Всеволод Константинович строил Новую Периодическую систему элементов Д.И. Менделеева, предложив свой способ размещения в ней лантаноидов и актиноидов, писал об этом статьи, а в 1966г. закончил свою первую книгу «Периодический закон Менделеева и электронное строение металлов». Он выступал с пленарным докладом о своих исследованиях на Менделеевском съезде. Он знал все о жизни и работе Д.И. Менделеева и его семьи. Он искал связи между диаграммами состояния и жаропрочностью сплавов и написал в 1969 году еще одну книгу — «Жаропрочность и диаграммы состояния». Его увлекла известная всему миру диаграмма железо-углерод — Всеволод Константинович существенно ее расширил и открыл много нового и неизвестного в известной всем системе, описав это в своей книге 1970 года — «Электронное строение и термодинамика сплавов железа». Он увлекся электронным строением металлов — и родилась еще одна книга 1988 г. — «Металлическая связь и электронная структура металлов», переведенная и изданная затем в Америке. В.К.Григорович один написал шесть монографий и еще одну — седьмую, в соавторстве с Е.Н. Шефтель и опубликовал более трехсот статей в научных журналах.

Все, что делал В.К. Григорович, он делал очень фундаментально, разбираясь во всех мелочах и деталях. Бог дал ему гениальный ум и изумительные аналитические способности, которыми он с удовольствием пользовался.

У Всеволода Константиновича был прекрасный характер, он был добродушным, веселым, доброжелательным и очень хорошо относился к людям. Он совершенно не умел хитрить, не был способен обмануть кого бы то ни было. У него было очень много друзей. В его доме и на даче в Подрезково каждую субботу и воскресенье собирались друзья и родствен-

ники. Все веселились, пели, музицировали, читали стихи. Всеволод Константинович, обладавший огромной эрудицией и энциклопедическими знаниями, увлекал всех своими историями про поэтов и поэзию, рассказами про ученых и путешественников, почти всегда с увлечением рассказывал о своих очередных изысканиях. Мы, его дети, эти лекции выслушивали регулярно и по нескольку раз.

В его семье всегда была атмосфера любви и взаимопомощи. Несмотря на небольшие ссоры, периодически возникавшие между ним и женой, они очень любили друг друга и были одним целым. После смерти жены Всеволод Константинович смог пережить ее только на три месяца...

Шелест Анатолий Ефимович

Д.т.н., проф., ведущий научный сотрудник ИМЕТ РАН

Родился 6 августа 1933 г. в г. Донецке, Украина. Доктор технических наук, профессор. Автор более 200 научных статей, 10 изобретений и 11 научно-методических пособий по прикладной математике и программированию. Специализация — пластическая деформация металлических материалов. Лауреат Ленинской премии (1966). В 1955 г. окончил Московский институт стали и сплавов (МИСиС), квалификация — инженер-металлург. В 1967 г. окончил МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности — «Математика». В 1955 – 1958 гг. — учился в аспирантуре ИМЕТ РАН. С 1958 г. работает в ИМЕТ. Им выполнены фундаментальные исследования, направленные на решение проблемы разработки новых и совершенствования существующих технологических процессов обработки давлением титановых сплавов. Были определены основные параметры теплой и горячей прокатки титановых сплавов. Обосновал новые постановки и решения ряда теоретических задач деформации материалов с переменными свойствами. Им разработаны методы определения температурных полей и напряжений, путем решения задачи теплопроводности при деформации для контактирующих тел ограниченных размеров, с учетом зависимости тепловыделений, сопротивления деформации и теплофизических свойств материала от условий деформирования. Он проводил на ряде металлургических заводов работы по получению листов из безникелевой аустенитной хромомарганцевой стали со сверхравновесным содержанием азота и сортовых заготовок из порошковой быстрорежущей стали. Награжден медалями, а также премией Болгарской академии наук и Софийского университета в области прикладных и технических наук (1981); почетный член Всероссийского музыкального общества. Член ученого совета Политехнического музея, член редколлегии журнала «Металлы» и секции редколлегии журнала «Цветные металлы». Любит музыку, увлекается плаванием. (Кто есть кто в металлургии России).

И.М.Павлов – ученый, учитель, человек

А.Е. Шелест

Среди выдающихся отечественных ученых, заложивших теоретические и практические основы современной металлургии, одним из первых, по праву, должно быть названо имя ученого-прокатчика Игоря Михайловича Павлова.

И.М. Павлов родился 23 июня 1900 г. в Сулине (ныне г. Красный Сулин Ростовской области). Он был третьим ребенком в семье (на 8 лет моложе брата и на 4 года моложе сестры). В это время его отец, М.А.Павлов (будущий академик АН СССР, Герой Социалистического труда) работал заведующим доменным производством на Сулинском заводе. Вскоре вся семья переехала в г. Екатеринослав (ныне г. Днепропетровск), где М.А. занял должность профессора в высшем горном училище. В своей книге “Воспоминания металлурга” он пишет [1]:

“Я постарался уехать из Сулина до морозов, так как летом у меня родился сынишка, и я боялся везти его в Екатеринослав зимой. Мой маленький сынишка, теперешний профессор-доктор, был завернут в мех и отлично вынес переезд”.

Следует заметить, что цитируемая книга увидела свет в 1943 году, когда ученому исполнилось 80 лет. Книга написана исключительно живым и образным языком. Но наибольшее впечатление производит сам автор, обладающий великолепной памятью, всесторонними инженерными знаниями и умением их рационально применять. Эти качества в полной мере были унаследованы его младшим сыном.

В 1904 году семья М.А.Павлова переехала в Петербург, М.А. стал профессором политехнического института и деканом металлургического факультета, который в 1923 году с отличием окончил И.М.Павлов. Его учителями были такие выдающиеся ученые, как Е.Л. Николаи, А.Ф. Иоффе, Н.С. Курнаков, Б.Н. Меншуткин, А.А. Байков, В.А. Кистяковский, Ф.Ю. Левинсон-Лессинг и др.

Получив квалификацию инженера-металлурга, Игорь Михайлович вначале работал инженером литейного цеха завода “Русский дизель”, а затем, до 1930 года — мастером литейного цеха, мастером, начальником прокатных цехов завода “Красный выборжец” (Ленинград). Работу на производстве он с 1926 года совмещал с преподавательской работой в Ленинградском политехническом институте, где в 1933 году организовал и возглавил кафедру технологии обработки цветных металлов и сплавов.

Деятельность И.М. Павлова в институте в качестве профессора и заведующего кафедрой продолжалась до 1942 года, когда после первой блокадной зимы, пережитой в Ленинграде, он был эвакуирован на Урал, где в 1942-43 гг. работал главным металлургом завода по обработке цветных металлов в г. Верхняя Салда Свердловской области. Здесь в труднейших

условиях военного времени им была проведена огромная работа по налаживанию производства продукции оборонного назначения.

Преподавательскую деятельность в высшей школе И.М. Павлов возобновил в 1943 году, возглавив кафедру прокатки в Московском институте стали. В 1946 году он был избран членом-корреспондентом АН СССР. С 1953 года И.М. Павлов совмещал руководство кафедрой с заведованием лабораторией пластической деформации металлических материалов Института металлургии им. А.А. Байкова АН СССР, где и проработал до своей кончины в 1985 году.

В самом начале творческого пути И.М. интересовали, примерно в равной степени, проблемы и литья, и обработки давлением. Об этом можно судить по публикациям И.М. в 1926-27 гг. Вот названия первых его статей: “Накопление примесей при повторных плавках”; “Шихта с компонентами непостоянного состава”; “К вопросам калибровки углового железа”; “Прокатка, волочение и выдавливание металлов в связи с теорией образования трещин”. Автором этих, больших по объему и глубоких по содержанию статей был молодой специалист, обладающий не только обширными знаниями, но и редкой способностью к аналитическому восприятию сложных процессов, со стремлением выделения в них главных решающих факторов и установления связей между ними. Собственно, в этом состоял его методологический подход к решению научно-технических проблем, включающий гармоничное сочетание элементов анализа и синтеза.

Постепенно проблемы обработки металлов давлением начинают превалировать над проблемами литья и, начиная с 1933 года, И.М. Павлов отдает себя полностью обработке металлов давлением и, в частности, теории прокатки. Уже вскоре результаты его оригинальных исследований были обобщены в монографии “Теория прокатки” (1934 год), явившейся крупнейшим событием в данной области.

О методологии И.М. Павлова в подходе к решению основополагающих научных проблем можно судить по такому примеру. Известно, что в теории продольной прокатки решающую роль играют характеристические углы: угол касания α , угол трения β и критический угол γ . В 1927 году С.Экелунд установил связь между этими углами в виде соотношения:

$$\sin\gamma = [\cos(\beta - \alpha) - \cos\beta] / 2\sin\beta, \quad (1)$$

полученного при упрощенных условиях процесса. Спустя 5 лет И.М. опубликовал свое оригинальное соотношение

$$\sin\gamma = [\sin(\alpha/2) \times \sin(\beta - \alpha/2)] / \sin\beta, \quad (2)$$

установленное аналитически и графически для процесса плоской прокатки [2]. Это соотношение позднее было приведено автором к более простой форме:

$$\gamma = (\alpha/2) \times (1 - \alpha/2\beta). \quad (3)$$

К анализу связи между характеристическими углами И.М. обращался неоднократно. В 1947 году он опубликовал статью о равновесии сил при

прокатке с уширением [3], в которой, с учетом трехмерной геометрии очага деформации, зависимость (3) приобрела следующий вид:

$$\gamma = C1(\alpha/2) \times [1 - C2C3(\alpha/2\beta)], \quad (4)$$

где коэффициенты $C1$, $C2$ и $C3$ призваны отразить влияние уширения. Позднее, на основании глубокого анализа равновесия сил в очаге деформации при прокатке, с учетом условий захвата и неравномерности сил трения, И.М., сохраняя структуру соотношения (4), в 1962 году доопределил физический смысл упомянутых коэффициентов и показал, что коэффициент $C1$ отражает изменение относительного значения сил трения в зонах отставания и опережения; коэффициент $C2$ — изменение величины равнодействующей R сил, направленных нормально к поверхности валков, относительно силы трения в зоне отставания; коэффициент $C3$ — изменение положения силы R [4]. Следует подчеркнуть, что проделанный И.М. анализ равновесия сил, опирающийся на интегрированные показатели, до до наших дней не утратил своей актуальности и был подтвержден результатами последующих многочисленных исследований.

И.М. постоянно уделял особое внимание неравномерности деформации при обработке металлов давлением, справедливо считая ее первоосновой многих важных явлений, сопровождающих процессы формоизменения. Обращение к данной теме мы находим в уже упоминавшейся одной из первых публикаций, посвященной теории образования трещин [5]. Именно тесная связь качества полуфабрикатов с условиями деформации вообще и с ее неравномерностью, в частности, определила значительное место, отведенное этому вопросу во всех монографиях И.М.Павлова [6-9]. Им была предложена наиболее полная классификация причин, приводящих к неравномерности деформации:

Трение по поверхности соприкосновения рабочего инструмента и деформируемого тела.

Особый характер приложения деформирующих сил (сосредоточенные и распределенные нагрузки, изгиб и пр.); наличие остаточных напряжений в теле.

Форма рабочего инструмента.

Форма тела перед деформацией.

Неоднородность свойств обрабатываемого металла (химический состав, структура, анизотропность, температура, наклеп и пр.).

И.М. при этом подчеркивал, что на практике, чаще всего, указанные причины возникают не изолированно, а в том или ином сочетании [9]. Кроме того, в ряде случаев некоторые причины могут проявляться и как прямое следствие неравномерности деформации. В первую очередь, это относится к остаточным напряжениям, образующим в теле потенциальное поле внутренних напряжений. И.М.Павловым предложены способы расчета и экспериментального определения остаточных напряжений, в зависимости от характера их распределения в теле, т.е. от масштабов их проявления, а именно:

— зональные, или напряжения первого рода, уравнивающиеся в отдельных зонах или частях тела;

— напряжения второго рода, уравнивающиеся в пределах отдельных зерен;

— напряжения третьего рода, уравнивающиеся внутри отдельных зерен.

Складываясь с активными напряжениями, направленными на формоизменение тела, остаточные напряжения могут привести к локальному или полному разрушению металла; после завершения обработки остаточные напряжения могут вызывать искажение формы тела. Все эти моменты, как уже подчеркивалось выше, имеют прямое отношение к качеству продукта обработки давлением.

В тесной близости с неравномерностью деформации находится теория “жестких концов”, предложенная И.М.Павловым и основывающаяся на положении о существовании связи и взаимодействия между внешними частями тела и непосредственно деформируемой его массой [5]. С позиций указанной теории, проведен анализ условий образования трещин на движущемся деформируемом теле, способствующий пониманию сущности самих процессов обработки металлов давлением. Позднее было показано, что “жесткие концы” оказывают существенное влияние на геометрические, скоростные и силовые условия в очаге деформации, разделяя процесс обработки на три основные стадии: начальную стадию, стадию установившегося процесса и завершающую стадию. Роль “жестких концов”, в конечном итоге, заключается в формировании ими граничных условий на поверхностях, ограничивающих очаг деформации. Придавая решающее значение этой функции “жестких концов”, И.М.Павлов в дальнейшем предложил использовать, наряду с традиционным, новое понятие — “внеконтактная область деформации” [9,10].

К числу новаторских достижений И.М.Павлова относится выполненный им анализ соотношений, характеризующих изменение геометрической формы и размеров тела при его деформации. Соотношения между высотной (H/h), продольной (L_2/L_1) и поперечной (B_2/B_1) деформациями в общем виде определяются законом постоянства объема, а при постоянстве высотной деформации, связью между продольной и поперечной деформациями служит уравнение равнобокой гиперболы. И.М.Павлов показал, что все виды, формы и отдельные случаи деформации, при условии $H/h = \text{const}$, укладываются только на данной гиперболе в виде отдельных ее участков или точек. Учитывая эти свойства рассматриваемой гиперболы, он назвал ее “гиперболой деформации” (рис.1) [7]. Как следует из рисунка, на гиперболе деформации две точки ($L_2/L_1 = 1$ и $B_2/B_1 = 1$) соответствуют схеме сдвига (DII), интервал между ними — схеме сжатия (DI), а внешние по отношению к этим точкам ветви гиперболы — схеме растяжения (DIII). Аналогичным образом И.М.Павлов определил положение различных технологических процессов обработки металлов давле-

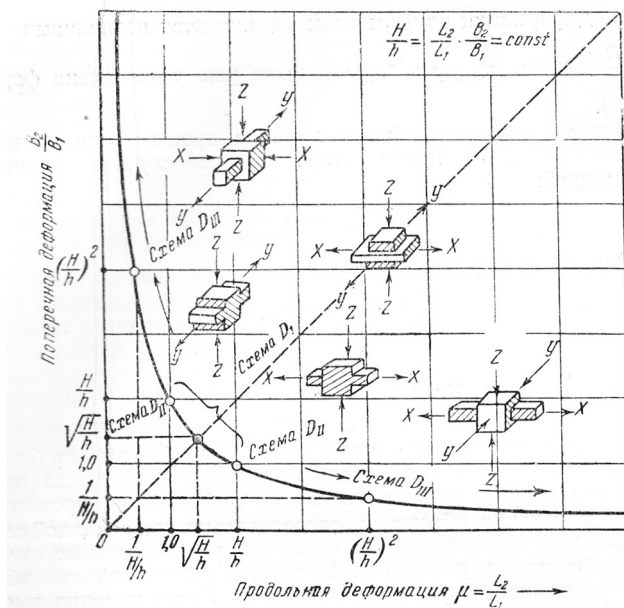


Рис. 1. Гипербола деформации.

нием на гиперболе деформации. Далее анализ продольной и поперечной деформации он дополнил введением переменной величины высотной деформации и, в итоге, пришел к криволинейной трехмерной поверхности, названной им “гиперболический параболоид деформации” [11].

И.М.Павлов при теоретическом рассмотрении сложных явлений, сопровождающих процессы обработки металлов давлением, всегда стремился к выделению и познанию их физического смысла, к анализу, прежде всего, качественных связей и к изложению своих умозаключений доступным языком. Можно признавать или не признавать такого рода подход, но нельзя отказать И.М. в оригинальности и добросовестности, хотя при этом он не был застрахован от возможных ошибок и заблуждений.

В 1965 году, когда И.М. представилась возможность тиражирования на ротапринте оттисков некоторых прежних работ, он выбрал следующие статьи, представляющие, по его мнению, наибольший интерес:

Физические условия пластической деформации в аспекте некоторых общих соотношений движения и трения (1965 г.).

Об условиях пластической деформации в связи с некоторыми векторными соотношениями (1965 г.).

К вопросу о взаимодействии обрабатывающего инструмента и пластически деформируемого тела (1949 г.).

Физические условия процесса прокатки (1964 г.).

О физической природе тензорных представлений в теории пластичности (1963 г.).

К вопросу о физической природе тензорных представлений в теории пластичности (1964 г.).

Первые четыре работы были с одобрением встречены специалистами и явились теоретической основой при разработке новых схем технологических процессов с использованием активного трения. Четвертая статья, напротив, вызвала ряд существенных возражений, и с ее критикой выступили некоторые ученые. Например, И.Я.Тарновский и А.А.Поздеев опубликовали свою критическую статью в том же журнале, в котором увидела свет статья И.М.Павлова — “Известия вузов. Черная металлургия” [12]. Они указывали на некорректность анализа И.М.Павловым напряженного состояния при раздельном рассмотрении шарового тензора и девиатора напряжений. В то же время следует отметить, что именно И.Я.Тарновский в 50-х годах, в период дискуссии о теории “жестких концов” был одним из самых горячих защитников позиции И.М.Павлова.

В творчестве И.М.Павлова большое место занимали экспериментальные исследования, так как он считал, что критерием истины является результат прямого эксперимента. И нужно отдать И.М.Павлову должное — он был неистощимым источником идей новых экспериментов и новых методик. При этом он всегда следил за тем, чтобы в экспериментах использовались современные образцы аппаратуры и измерительной техники — мездозы с различными типами датчиков, усилители постоянного тока, катодные и шлейфные осциллографы, инструментальные микроскопы, поляризационно-оптические установки и т.п. К числу предложенных им методов и устройств относятся: клещевой прибор трения; метод определения коэффициента трения по опережению; способ исследования скольжения металла по контактной поверхности, при прокатке с помощью качающегося штифта и подвижной линейки; метод “среза” для фиксации завершения установившейся стадии процесса прокатки; способ экстраполяции кривых сопротивления деформации для определения этой характеристики в условиях отсутствия трения; электроконтактный измеритель скорости металла (со стороны выхода при прокатке); сплошной и разрезной валковые торсиометры; метод определения минимальной длины “жестких концов” по кривой полного давления; способ построения истинных диаграмм рекристаллизации; метод вращающихся подшипников определения чистого момента прокатки; способ измерения сил трения в процессе осадки и скольжения металла; способ моделирования действия различных дефектов в металле как концентраторов напряжений и др.

Из этого, далеко неполного перечня видно, что определенная часть методик была направлена на изучение контактного трения между металлом и инструментом, которое имеет решающее значение в процессах обработки металлов давлением, и одновременно — на объективную оценку и выбор эффективных технологических смазок. В числе зависимостей коэффициента трения от других параметров деформации принципиальное значение имеет связь коэффициента трения со средним давлением (рис.2) [13]. Для

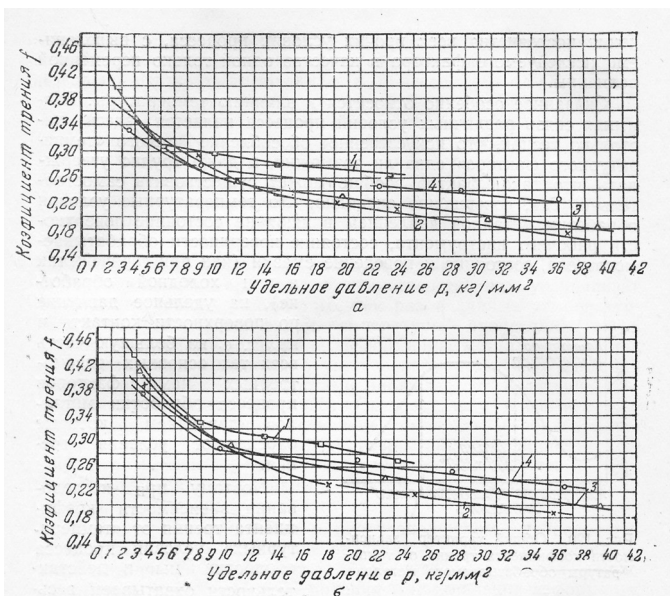


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от среднего давления.

ее получения И.М.Павлов предложил остроумный и простой метод — использовать составные образцы с сердечниками из различных металлов с разными значениями сопротивления деформации, при постоянном материале оболочки, что позволяло в широких пределах варьировать среднее давление, при сохранении неизменными материалов инструмента и контактирующего металла.

Многие научные разработки И.М. Павлова, его сотрудников и учеников нашли широкое практическое использование. Так, предложенные ими способы повышения технологической пластичности металла, путем создания благоприятной схемы напряженного состояния и оптимальных температурно-скоростных условий деформации, были внедрены при обработке давлением малопластичных жаропрочных сплавов. Весьма эффективными являются разработанные ими новые составы технологических смазок при холодной прокатке листов, лент и фольги из различных сталей и сплавов. С учетом всесторонне исследованных особенностей высокотемпературной деформации металлических материалов в вакууме и нейтральных средах, установлены режимы получения многокомпонентных тонкостенных прокатно-сварных композиций. Предложены и освоены новые схемы технологических процессов, использующих активное действие контактного трения.

За творческое участие в разработке технологии и освоении промышленного производства деформированных полуфабрикатов из титановых сплавов, И.М. Павлов в 1966 году был удостоен звания лауреата Ленинской премии.

Научная школа И.М. Павлова отличается комплексным анализом процессов и явлений в обработке металлов давлением, объединяющим подходы различных научных дисциплин и методы теоретического и экспериментального (или физического) моделирования. Им подготовлено свыше 100 кандидатов наук и около 20 докторов наук; многие видные ученые, среди которых — профессора Р.М. Голубчик, Г.Г. Григорян, Ю.Д. Железнов, А.П. Коликов, В.Я. Осадчий, В.П. Полухин, Ф.С. Сейдалиев, П.К. Тетерин, В.Н. Чернышев, Ю.Ф. Шевакин, не без оснований, считают себя его учениками.

На каждого, кто общался с И.М.Павловым, неизгладимое впечатление производила его феноменальная память. Он, буквально как губка, впитывал содержание прочитываемых материалов и помнил подробности множества статей и монографий, даже по прошествии многих лет. Безукоризненно владея информацией и сознавая ее большое значение в развитии теории и практики, И.М.Павлов прилагал много усилий для организации информационно-справочной службы. Он явился инициатором выпуска уникального издания — сборников “Материалы по теории прокатки”. Это были сборники наиболее значительных работ, появившихся в мировой литературе и отражающих новые исследования в области теории прокатки. Составителем являлся Я.С.Галлай, а редактором — И.М.Павлов, причем особую ценность в этом издании представлял научный комментарий редактора по основополагающим проблемам теории прокатки. С 1934 по 1960 гг. было опубликовано 6 томов “Материалов по теории прокатки”.

Большой вклад внес И.М.Павлов в содержание, организацию выпуска и редактирование реферативного журнала “Металлургия”, давно ставшего для специалистов главным источником оперативной информации. И.М.Павлов сам составлял рефераты, редактировал рефераты и различные разделы журнала. Заложенные им принципы сбора, обработки и распространения информации остаются эффективными и в настоящее время, когда информационная техника шагнула далеко вперед, используя современные средства вычислительной техники и коммуникационных сетей.

В разное время И.М.Павлов входил в состав редколлегий и участвовал в редактировании многих других периодических изданий, сборников и монографий, в том числе: реферативного журнала “Проблемы современной металлургии”, журналов “Металлург”, “Сталь”, “Известия АН СССР. Металлы”, сборников трудов ИМЕТ, МИСиС, МЭИ.

И.М.Павлов много занимался научно-организационной и общественной работой. В двух вузах, в Ленинграде и Москве, он был деканом факультетов, избирался депутатом Моссовета, был членом экспертного совета ВАК, входил в состав научно-методических, научно-технических и диссертационных советов, был членом различных комиссий и комитетов. Ко всем этим обязанностям он относился не просто добросовестно, а в максимальной степени творчески и активно, стараясь, чтобы затрачиваемые

им силы и время приносили пользу делу. Кадровые сотрудники МИСиС и ИМЕТ до сих пор вспоминают, что одно только появление И.М. Павлова на заседании Ученого совета сразу создавало атмосферу творческого накала и яркого, содержательного научного диспута. Если же общественная деятельность становилась непродуктивной, то он сразу терял к ней всякий интерес. И.М. не желал идти на сделки с совестью ради каких-либо выгод, считая выгоды временной победой, а потерю лица невосполнимой утратой.

Руководимые И.М.Павловым кафедры выпустили тысячи специалистов, под его руководством подготовлены сотни дипломных работ и проектов. Его лекции отличались большой насыщенностью материала, доходчивым языком. И.М. читал лекции без конспектов, все выкладки делал по памяти, речь его всегда была четкой, с хорошей дикцией и артикуляцией, он умело использовал модуляцию голосом. Это было результатом большой и кропотливой повседневной работы. Новые курсы перед лекциями он репетировал с использованием магнитофона. И.М.Павлов был не только великолепным лектором, но и хорошим докладчиком и умелым полемистом. Он выступал на многих международных, региональных и тематических конференциях, совещаниях, школах и семинарах. И всегда его выступления становились запоминающимися событиями, особенно если он вступал в дискуссии с оппонентами. Его любимым и часто применяемым словосочетанием было: “чрезвычайно любопытно”. И, действительно, И.М. стремился вызвать интерес у слушателей к тем проблемам, которые были “любопытны” ему самому, и сделать их, т.е. слушателей, своими сторонниками. Он никому никогда не отказывал в консультациях, с большим интересом обменивался мнениями с коллегами, особенно рад был встречам и беседам с производственниками.

Следует отметить еще одну характерную черту творчества И.М.Павлова — это стремление к ретроспективному рассмотрению проблемы в ее развитии, начиная с зарождения, и естественное обращение к диалектике. Причем, это обращение было для него именно естественным, и вовсе не потому, что классическая философия считалась одним из источников и составной частью марксизма. Достаточно проследить за анализом условий трения при обработке давлением, сделанным в [14]. И.М. подробно рассматривает особенности активного и пассивного трения, трения покоя и трения движения, приводит примеры прямой и обратной связи между движением и трением и формулирует положение о парности активного и сопротивляющегося трения, ссылаясь на аналогичные умозаключения Ф.Энгельса в “Диалектике природы”. Подобный подход использует И.М. при анализе сил трения с привлечением векторных соотношений [15], прямо указывая на рассуждения Ф.Энгельса в той же книге, относительно условности векторного разложения и сложения сил, имеющих разный характер (речь идет о так называемых “составных” и “простых” силах).

И.М.Павлов был очень щепетилен, когда ему предлагали быть соавтором в статьях, написанных другими авторами. Он соглашался только в том случае, если предложение исходило от хорошо знакомого ему и порядочного человека, если содержание статьи соответствовало его собственным научным интересам и если другие авторы соглашались с его правкой. Последнее условие имело принципиальное значение, так как И.М. подчас кардинально менял композицию статьи и выводы, творчески отражая свое видение обсуждаемой проблемы. Он является автором более 650 опубликованных работ, в числе соавторов И.М. — около 180 человек, в том числе ученые из Китая, Германии, Болгарии, Венгрии, Румынии. Это наглядное свидетельство его связей с широкими кругами научной общест-венности.

Происходя из интеллигентной русской семьи, И.М. Павлов был широко образованным и эрудированным человеком. Уделяя основное внимание научной работе, он прекрасно рисовал, сочинял стихи, хорошо знал и литературу, и искусство. Сотрудники, имевшие счастье работать с ним, всегда поражались его энциклопедическим знаниям, неординарности мышления и силе характера. Он никогда не кланялся обстоятельствам, не заискивал перед “сильными мира сего”, — всегда оставался личностью в самом высоком понимании этого слова. Страна по достоинству оценила плодотворную научную, педагогическую и общественную деятельность И.М. Павлова, наградив его орденом Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом Дружбы Народов и многими медалями.

Хочу поделиться своими личными впечатлениями об И.М.Павлове, которые складывались на протяжении более чем 30 лет тесного общения с ним. Впервые об Игоре Михайловиче Павлове я услышал в 1950 году, когда начал учиться в Московском институте стали. В то время он был деканом нашего технологического факультета, но знакомство с ним было заочным, так как решение проблем текущей жизни и учебы студентов (особенно младших курсов) брал на себя заместитель декана С.С.Горелик. Очное знакомство с Игорем Михайловичем произошло на втором курсе, когда я со своим товарищем В.К.Белосевичем выполнял на кафедре прокатки научную работу. И хотя непосредственным руководителем нашей работы был И.Г.Астахов, Игорь Михайлович, встречая нас по вечерам в лаборатории на 1-ом этаже кафедры, всегда интересовался нашей работой и живо обсуждал свежие результаты. По всему чувствовалось, что он придавал большое значение всем исследованиям, выполняемым на кафедре. В этом я еще раз убедился, когда на 4-ом курсе помогал болгарскому аспиранту П.Давидкову проводить эксперименты. Игорь Михайлович подолгу вечерами внимательно анализировал результаты наших экспериментов и всегда давал практические советы по корректировке методики при проведении дальнейших исследований.

На старших курсах, когда началось изучение специальных дисциплин, И.М.Павлов предстал перед нами как великолепный лектор. Его

лекции всегда были логически аргументированы и безупречны по стилю изложения материала. Он старался во всех процессах и явлениях, прежде всего, выявить и подчеркнуть физический смысл, а потом, переходя от простого к сложному, излагать общую теорию.

В 1954 году я был зачислен в спецгруппу для подготовки по обработке давлением титана и его сплавов, которая была организована во исполнение Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР. В дальнейшем В.К.Белосевич и я проходили в ВИАМе преддипломную практику и там же выполняли исследовательские дипломные работы под руководством И.М.Павлова и сотрудников ВИАМа.

После окончания института я был направлен, по распределению, в аспирантуру Института металлургии им. А.А.Байкова АН СССР, где, под руководством И.М.Павлова, выполнил и защитил кандидатскую диссертацию; он же был моим консультантом при работе над докторской диссертацией. Некоторое время я был его заместителем по лаборатории пластической деформации металлических материалов. Все эти годы я видел Игоря Михайловича в разных ситуациях. Неоднократно мы выезжали вместе в командировки (по Союзу и за рубеж), опубликовали не один десяток статей, сделали несколько докладов.

На меня всегда производила большое впечатление его феноменальная память — он помнил практически все работы по обработке металлов давлением отечественных и зарубежных авторов. Это было результатом не только генетической предрасположенности, но и его постоянной редакторской и реферативной работы, а также свободного владения немецким языком и достаточного знания английского языка. Игорь Михайлович всегда безошибочно мог указать автора, источник и год публикации по любому вопросу. Он строго следил за тем, чтобы библиография публикуемых с его авторством работ всегда была полной и содержала все известные первоисточники.

Будучи руководителем лаборатории, И.М.Павлов никогда не занимался мелочной опекой сотрудников, напротив, он всегда предоставлял широкие возможности и создавал соответствующие условия каждому для реализации своих способностей, оказывал всемерную поддержку и проявлял повседневный интерес к работам своих коллег. Он был внимателен к мнению других специалистов, но никогда не поступался теми принципами, которые он считал основополагающими. Игорь Михайлович редко читал нотации, а еще реже распекал сотрудников. При этом было видно, что он сам переживал такую ситуацию сильнее провинившегося. Он предпочитал воспитывать подчиненных личным примером, являясь чрезвычайно дисциплинированным человеком.

У тех, кто недостаточно знал И.М.Павлова и кто оценивал его по внешним впечатлениям, могло сложиться мнение о нем, как о человеке угрюмом и замкнутом (мне, во всяком случае, часто приходилось слышать об этом). Такое впечатление было поверхностным и ошибочным, но, тем не

менее, оно существовало и, по моим наблюдениям, влияло, например, на состояние некоторых соискателей ученых степеней во время защит диссертаций на заседаниях советов, где Игорь Михайлович вел себя всегда активно. Он задавал вопросы, желая помочь соискателю в раскрытии своих знаний и опыта, а вызывали они обратную реакцию робость, а иногда и испуг. Выступая в дискуссии, Игорь Михайлович старался смягчить эту негативную реакцию, объективно анализировал содержание диссертации и часто открывал в ней новые грани, потому что рассматривал всякую научную работу в комплексе общих знаний и старался творчески применять диалектический метод при оценке новых данных.

В действительности, по своей натуре, И.М.Павлов был добрым человеком, остроумным и интересным собеседником. Он всегда с удовольствием участвовал в дружеских застольях, завершающих защиты диссертаций. Вел себя при этом открыто, демократично, традиционно провозглашал остроумные тосты и читал стихотворные экспромты (так он сам объявлял, хотя чувствовалось, что они часто были хорошо подготовленными). Относясь с некоторой иронией к такому реликту прошлого, как социалистическое соревнование, Игорь Михайлович, тем не менее, искренне радовался, когда руководимая им лаборатория несколько раз занимала 1-ое место. Стоя на сцене, он с гордостью и достоинством принимал Почетные грамоты и переходящее Красное знамя, как атрибуты высокой оценки и признания его работы и работы коллектива лаборатории.

Мне доводилось видеть И.М.Павлова и в минуты, когда он предавался воспоминаниям о прожитых годах. Так, в 1958 году мы участвовали в Межвузовской конференции по прокатному производству, которая проходила в Ленинградском политехническом институте. Игорь Михайлович оказался на своей малой родине, именно в Лесном, куда он приехал с родителями 4-х летним ребенком и где прожил до 1942 года, пройдя после окончания вуза путь от заводского инженера до заведующего кафедрой и декана факультета. Здесь он создал семью, здесь у него родились сын и дочь. Здесь он пережил первую блокадную зиму. По всему чувствовалось, что Игорь Михайлович испытывал большой эмоциональный подъем, находясь в родной для него среде, везде — в городе, на улице, в стенах института. Таким же я видел Игоря Михайловича, когда в 60-х годах мы были в командировке на Урале в Верхней Салде, где он в 1942-1943 гг. работал главным металлургом на заводе по обработке цветных металлов. Он без устали водил меня по городу и его живописным окрестностям, показывал дом, в котором он жил, где во дворе был огород, на котором он сажал картошку. Он вспоминал, как у прокатных станков приходилось ставить вооруженную охрану, потому что для смазки шеек валков на них укладывались большие куски сала. Эти воспоминания преображали нашего патрона (так мы между собой называли Игоря Михайловича), он буквально молодел на глазах, и чувствовалось, что эти воспоминания ему самому приятны и согревают душу.

Игорь Михайлович по-доброму и заботливо относился к близким и особенно любил внушек и внуков. Когда мы выезжали в командировки за рубеж (а вместе мы были несколько раз в Болгарии), он всегда старался приобрести для близких подарки, причем делал это весьма обстоятельно. У него был список с размерами и небольшая рулетка, и он без всякого стеснения брал ту или иную вещь в магазине, всесторонне ее осматривал, обмерял, советовался с продавщицами по вопросам качества, соответствия моде и т.п. Но особенно он вдохновлялся, когда мы оказывались в хозяйственных магазинах. В нем просыпался мужчина, имеющий собственноручный трудовой опыт, и он не мог оставаться равнодушным при виде отличных инструментов, «шурупчиков», «крючочков», «буравчиков» (его слова) и других нужных вещей. Однажды мы провели полдня в г. Варна (Болгария) на заводе «Металл», который по итальянской лицензии и на импортном оборудовании выпускал мебельную фурнитуру — замки, ручки, петли, ключи, накладки и т.п. Здесь Игоря Михайловича заинтересовал не только технологический процесс (полностью автоматизированный, вплоть до нанесения гальванических и других покрытий), но и сами готовые изделия, которые могли удовлетворить любой самый взыскательный вкус. По всему чувствовалось, что он сам, при виде этой роскоши, испытывал эстетическое наслаждение.

С Павловым-художником мне довелось познакомиться самым неожиданным образом. Было это в 1977 году, когда президент АН СССР А.П. Александров выдвинул на пост директора нашего института (ИМЕТа) А.И. Манохина. С целью подготовки общественного мнения и адаптации ведущих ученых института к предлагаемой кандидатуре, в НПО «Тулачермет», генеральным директором которого был А.И. Манохин, была проведена выездная научная сессия отделения физикохимии и технологии неорганических материалов. Вернувшись с этой сессии, И.М. спросил меня: «А Вы когда-нибудь видели Манохина?». Услышав отрицательный ответ, он протянул мне листочек бумаги и сказал: «Тогда посмотрите». На листочке был карандашный портрет круглолицего мужчины в анфас (между прочим, самый сложный ракурс). Позднее я убедился в том, что в рисунке И.М. было передано не только внешнее сходство с натурой, но и, каким-то неуловимым образом, отражены главные черты А.И. Манохина, как человека, в чем я убедился позже.

Многие годы совместной работы и тесного общения показали, что в Игоре Михайловиче гармонично сочетались качества выдающегося профессионала-ученого и высоконравственного благородного человека. Именно широкая образованность определила его нетривиальные взгляды на проблемы, которыми он занимался всю жизнь, насыщенную каждодневным напряженным трудом. Я бесконечно благодарен судьбе за то, что она послала мне такого учителя, коллегу и товарища, а память о нем будет всегда жить в моем сердце.

В заключение следует подчеркнуть, что теоретические и практические разработки И.М.Павлова, наряду с трудами С.И. Губкина, А.И. Целикова, А.П. Чекмарева, И.Я. Тарновского, И.Л. Перлина, явились основой при создании современной теории обработки металлов давлением. В памяти учеников, научных работников и производственников И.М. Павлов останется как замечательный педагог и неутомимый труженик науки. Его имя занимает достойное место в плеяде выдающихся ученых XX века.

Литература

1. Павлов М.А. Воспоминания металлурга. - М.: Металлургиздат, 1943.- 288 с.
2. Павлов И.М. Исследование зависимости между углом захвата, углом трения и критическим углом. - Металлург, 1932, №10-11, с.13-22.
3. Павлов И.М. Равновесие сил при прокатке с уширением. - Сталь, 1947, №1, с.39-48.
4. Павлов И.М. О некоторых основных условиях и закономерностях процесса прокатки / Труды Ин-та металлургии АН СССР. Вып. 9. Вопросы пластической деформации металла. - М.: Изд-во АН СССР, 1962, с.23-54.
5. Павлов И.М. Прокатка, волочение и выдавливание металлов в связи с теорией образования трещин. - ЖРМО, 1927, №1, ч. 1, с.253-313.
6. Павлов И.М. Прокатка цветных металлов и сплавов. М.-Л.: ГНТИ, 1932. - 132 с.; ил.
7. Павлов И.М. Теория прокатки. - Л.: Кубуч, 1934. - 367 с.; ил.
8. Павлов И.М. Теория прокатки и основы пластической деформации металлов. - Л.-М.: ГОНТИ, Глав. ред. лит. по черным и цветн. Металлам, 1938. - 515 с.; ил.
9. Павлов И.М. Теория прокатки (Общие основы обработки металлов давлением). - М.: Металлургиздат, 1950. - 610 с.; ил.
10. Павлов И.М. Состояние и перспективы теории прокатки. - Сталь, 1949, №3, с.323-334.
11. Павлов И.М. Гиперболический параболоид деформации. - Металлург, 1935, №2, с.88-100.
12. Актуальные проблемы теории и практики обработки металлов давлением. Воспоминания об учителе: Сборник научных трудов. - Екатеринбург: УГТУ, 1998. - 309 с.; ил.
13. Павлов И.М., Гет Н.Н. Влияние удельного давления при прокатке на коэффициент трения. - Металлург, 1936, №7, с.47-54.
14. Павлов И.И. Физические условия пластической деформации в аспекте некоторых общих соотношений движения и трения. - Известия АН СССР. Металлы, 1965, № 3, с.73-88.
15. Павлов И.М. Об условиях пластической деформации в связи с некоторыми векторными соотношениями. - Известия АН СССР. Металлы, 1965, № 3, с.89-100.

Метод Гурова

(к 100-летию со дня рождения Кирилла Петровича Гурова)

В.Н. Пименов¹, Ю.Э. Угасте²

¹*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,
119334 Москва, Ленинский пр-т, 49*

²*Таллиннский университет, Таллинн 10120, Нарвское шоссе 25*

Шестого марта 2018 года исполнилось 100 лет со дня рождения крупного физика-теоретика, доктора физико-математических наук, профессора Кирилла Петровича Гурова, которого его друзья, коллеги по работе и ученики единодушно называли ярким, уникальным, принципиальным, добрым, справедливым и стойким человеком («Памяти К.П.Гурова», УФН, т.165, №5, 1995).

Следует сразу сказать, что судьба не баловала его. Тринадцатилетним мальчиком, после тяжелой болезни, он полностью потерял слух, что сделало невозможным для него дальнейшее продолжение учебы в обычной школе. Но случившееся несчастье не сломало будущего ученого: Гуров прошел школьный курс индивидуально и окончил среднюю школу с отличием одновременно со своими сверстниками, в 1936 году. В том же году он был принят без вступительных экзаменов на физико-математический факультет Московского университета. В следующем, 1937 году, К.П. Гурова потряс новый удар, когда его отец — бывший кадровый офицер — был репрессирован. Естественно, что это событие не прошло для Кирилла Петровича бесследно. Но он не падал духом, окончил в 1941 году университет с отличием, а в трудные военные годы работал на заводе в Куйбышеве шлифовальщиком у станка. В 1944 году, когда война откатилась от рубежей нашей страны, Гуров поступил в аспирантуру Московского университета, где его научным руководителем стал выдающийся советский ученый, академик Н.Н. Боголюбов.

Под его руководством полностью раскрылся талант молодого ученого, и в последующие годы Гуров внес в науку поистине огромный вклад. Еще будучи аспирантом Николая Николаевича Боголюбова, К.П. Гуров принял самое деятельное участие в решении проблемы обоснования кинетической теории на основе динамического рассмотрения системы многих частиц. Н.Н. Боголюбов в своей известной монографии «Проблемы динамической теории в статистической физике», вышедшей в свет в 1946 году, и редактором которой был Кирилл Петрович, дал строгое обоснование этого направления, разработал, в рамках классической физики, соответствующий математический формализм и эффективно модифицировал применяемую методика теории возмущения. В том же году моло-

дой ученый успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в следующем году из печати вышла знаменитая статья «Кинетические уравнения в квантовой механике» (ЖЭТФ, 17, 614, 1947), написанная К.П. Гуровым совместно с академиком Н.Н. Боголюбовым. В этой статье обсуждалась возможность динамического обоснования кинетической теории на базе квантово-механического рассмотрения системы многих частиц и было показано, что вопросы термодинамической необратимости могут быть сведены к проблеме квантовой теории рассеяния.

Казалось, что благодаря блестящим успехам в науке, перед Кириллом Петровичем открывались широкие горизонты дальнейшего развития столь успешно начатых научных изысканий. Однако случилось так, что двери академических институтов оказались для него закрытыми, и ему пришлось начинать зарабатывать на жизнь редактором издательства. Лишь через семь лет, в 1954 году, по-видимому, благодаря ослаблению некоторых политических догм и начинающимся в стране позитивным переменам, профессору И.Б. Боровскому удалось пригласить его на работу в Институт металлургии им. А.А. Байкова АН СССР, и перед Кириллом Петровичем открылись новые возможности для научной деятельности. Исследовательская направленность этого института и стоящие перед ним научные задачи кардинально отличались от той тематики, которой он так успешно занимался во время учебы в аспирантуре и после ее окончания. Но, несмотря на это, Кирилл Петрович нашел свое место и здесь, и в итоге проработал в Институте металлургии сорок лет — до последних дней своей жизни. В первые годы работы в Институте металлургии он занимался решением теоретических задач металлооптики и диффузии в металлах. Разработанный им в эти годы метод «дырочного газа» для моделирования процесса самодиффузии в металлах отличался простотой и изяществом физических предпосылок и вызвал большой интерес среди специалистов. В последующие годы, в связи с разработкой и внедрением в Институте нового эффективного метода химического анализа элементов — локального рентгеноспектрального анализа — открылись широкие перспективы развертывания экспериментальных исследований процессов массопереноса и взаимной диффузии в металлах. Идейным руководителем этих исследований стал Кирилл Петрович Гуров.

Конечно же, работая в издательстве, а потом и в Институте металлургии, Кирилл Петрович Гуров продолжал заниматься, «в порядке личной инициативы», развитием идей кинетической теории или, по его выражению, «метода Боголюбова», о чем свидетельствует ряд статей, опубликованных им после 1947 года в Журнале экспериментальной и теоретической физики (ЖЭТФ, 18, 110, 1948; 20, 279, 1950; 46, 1641, 1964) и в других изданиях. Общая кинетическая теория газовых систем, в развитии которой Кирилл Петрович участвовал в течение 20 лет, изложена им в фундаментальной монографии «Основания кинетической теории. Метод Боголюбова.» (М.: Наука, 1966), написанной им также

— «в порядке личной инициативы». В этой книге подробно описан вывод кинетических уравнений методом академика Н.Н.Боголюбова, дан анализ этих уравнений, указаны способы их решения и описан метод нахождения явного вида кинетических коэффициентов. После завершения этого масштабного труда автор монографии нашел, наконец, время для оформления диссертации на тему «Вопросы микроскопической теории диффузии в металлических твердых растворах замещения», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Успешная защита диссертации состоялась в 1967 году в Институте физики металлов Уральского отделения АН СССР в Свердловске. Можно сказать, что написанием указанной монографии и защитой докторской диссертации завершился один и, вероятно, самый важный этап творческой жизни К.П.Гурова.

В дальнейшем, уже в качестве руководителя группы диффузионных процессов, в Институте металлургии Кирилл Петрович уделял большое внимание подготовке молодых кадров. Под его идейным и методическим руководством был выполнен целый ряд дипломных работ и кандидатских диссертаций. В конце 60-х годов защитили кандидатские диссертации Ю.Э. Угасте и И.Д. Марчукова. В 70-е годы к ним присоединились В.Н. Пименов, А.В. Назаров, Ю.А. Зайкин, А.М. Гусак, К.А. Аккушкарлова и другие. Под общей редакцией К.П. Гурова, на основе его докторской диссертации и кандидатских диссертаций Ю.Э. Угасте и И.Д. Марчуковой, была написана первая монография, полностью посвященная проблеме взаимной диффузии: «Процессы взаимной диффузии в сплавах» (М.: Наука, 1973).

Так сложилось, что в эти годы сфера научных интересов Кирилла Петровича существенно расширилась. В связи со структурными изменениями в Институте металлургии в середине 70-х годов, он со своей группой был приглашен профессором Л.И. Ивановым в руководимую им лабораторию «Воздействие излучений на металлы» и активно включился в исследования по проблемам радиационного и космического материаловедения, которые ранее не входили в круг его приоритетных научных задач. С большим энтузиазмом и увлеченностью он «окунулся» в проблемы взаимодействия лазерного излучения и потоков ускоренных частиц с веществом. В этот же период времени зарождалось совершенно новое научное направление – космическое материаловедение – одной из задач которого было исследование влияния условий невесомости, создаваемой на космических аппаратах, на процессы взаимодействия твердого и жидкого металлов. Теоретические работы К.П. Гурова, совместно с экспериментальными исследованиями ряда ученых из Института металлургии в области кинетики фазообразования в твердо-жидкофазных системах, позволили успешно проанализировать особенности процессов в невесомости и дать полезные рекомендации научного и прикладного характера, в свете задач космического материаловедения. Кирилл Петрович был также

«главным генератором» написания, по результатам исследований, выполненных в рамках первого советско-американского космического проекта «Союз-Аполлон», коллективной монографии «Плавление, кристаллизация и фазообразование в невесомости» (М.: Наука, 1979). В эти же годы из-под его пера вышли в свет: книга «Феноменологическая термодинамика необратимых процессов» (М.: Наука, 1978), а вскоре — и написанная совместно с Б.А. Карташкиным и Ю.Э. Угасте коллективная монография «Взаимная диффузия в металлических системах» (М.: Наука, 1981).

Научные достижения Кирилла Петровича Гурова широко известны, они зафиксированы в его многочисленных научных статьях, монографиях и прочих публикациях. В памяти людей, работавших с ним в науке в одно и то же время, сохранились неизгладимые впечатления о его эмоциональных и ярких публичных выступлениях. В научной среде К.П. Гуров, как уникальный ученый и неординарный человек, был просто нарасхват. К нему стремились на консультацию сотрудники не только Института металлургии, но и других организаций — по многим вопросам из самых разных научных областей. Благодаря прекрасной физико-математической подготовке, широкой эрудиции и редкой научной интуиции, он необычайно быстро схватывал суть любой проблемы и всегда давал дельные советы по обсуждаемым вопросам и подсказывал оптимальные пути решения. После беседы с ним, люди, как правило, уходили окрыленные, в хорошем и приподнятом настроении. Кирилл Петрович каким-то непостижимым образом распространял благотворное влияние своего жизнелюбия, оптимизма и позитивного настроения на всех окружающих его людей.

Но, вспоминая о нем, нельзя забывать и о другой, человеческой стороне его личности, что имеет, быть может, не меньшее значение для характеристики человека, чем его формальные трудовые успехи. В быту он был обычным человеком, о которых часто говорят: «человек из народа». Он был непритязателен в одежде и еде, любил ходить в лес по грибы, с энтузиазмом катался на лыжах, таскал, при необходимости и даже без особой надобности, тяжелейшие рюкзаки (чем, кстати, очень гордился) и т.д., как, впрочем, любой энергичный и деятельный мужчина в свои лучшие годы. Любил свой дом и семью, с удовольствием ходил в магазин и на рынок за продуктами, любил покупать на рынке баранину и овощи, которые выбирал всегда сам (он считался большим специалистом по этой части). А приготовление им чая — это была особая процедура: только ему одному было ведомо, каким должен быть настоящий чай. Жил он в Черёмушках, вместе с женой и сыном, в небольшой трехкомнатной квартире в одной из блочных пятиэтажек, которые в народе называют «хрущевками». Нередко в этом гостеприимном доме собирались коллеги по работе, чтобы отметить какое-нибудь событие, здесь же он встречался и со своими учениками, обсуждая научные результаты и помогая им в работе. Беседы в непринужденной домашней обстановке часто оказывались плодотворней любых официальных встреч, по крайней мере, для учеников.

Кирилл Петрович не был скрытным человеком, он любил разговаривать на любые темы — его багаж знаний был безграничен — но о своей личной жизни он предпочитал не рассказывать. Было ли это защитной реакцией от лишних вопросов, или желанием забыть невзгоды прошлого, осталось тайной. Вероятно, лишь тем немногим, кому довелось окантоваться с ним рядом в самых критических для него ситуациях, было дано почувствовать истоки его глубокой натуры. В какой-то мере, такими счастливчиками могут считать себя и авторы этих строк, которые, работая и постоянно контактируя с Кириллом Петровичем более 25 лет, имели редкую возможность общаться с ним, почувствовать его реакцию на несправедливость, а также его принципиальность и стойкость при решении возникавших подчас непростых проблем. В частности, мы были свидетелями того, как он работал, с какой страстью и целеустремленностью он выполнял, казалось бы, второстепенные работы, которые явно не требовали его квалификации. Помнится, как в конце 1964 года одному из нас стало известно, что он работает над новой фундаментальной монографией. На одной из встреч у него дома он охотно рассказал об идее монографии (она как раз и называлась «Основания кинетической теории») и даже показал готовые, напечатанные на машинке страницы рукописи, извиняясь при этом, что формулы еще не вписаны, и это потребует еще много времени. Было просто ошеломляюще неправдоподобно: неужели он должен сам вписывать вручную, каллиграфическим подчерком сотни (если не тысячи) формул, содержащихся в его рукописи, как это требовалось, и что составляло значительную долю времени и труда при подготовке рукописи к печати. Неужели никто не мог ему в этом помочь? Он не сразу согласился с предложением оказать ему помощь в этом вопросе, но, почувствовав искренность инициативы, дал, для пробы, вписать пару страниц. Убедившись в качестве выполненной работы, он был, в принципе, согласен принять помощь, но предупредил при этом, что все это займет очень много времени и что вряд ли его стоит тратить на такую, в общем-то, рутинную работу. Подарив экземпляр книги после ее издания, он написал на титульном листе «Дорогому Юло с благодарностью за чудесную помощь при подготовке рукописи этой книги». Данная надпись была очень трогательной наградой за скромный вклад в это большое дело.

Кстати, подзаголовком этой книги было: Метод Н.Н. Боголюбова. По всей вероятности, написано это неспроста, если учесть, какое значение Кирилл Петрович придавал разработке метода, ибо именно рассмотрение проблемы кинетики, с точки зрения динамической теории позволило Н.Н. Боголюбову устранить внутреннее противоречие, содержащееся в кинетической теории Больцмана. В ходе совместной работы с Кириллом Петровичем, мы всегда понимали, какое большое значение уделял он методике теоретического или экспериментального исследования. Не будучи сам экспериментатором, он тонко чувствовал, какие опыты в имеющихся условиях являются наиболее разумными, чтобы достичь наилучшего

решения поставленной задачи. С другой стороны, он всегда подчеркивал необходимость учета соответствия предела применимости теории к рассматриваемому реальному процессу, при интерпретации опытных данных, например, выполнения условия локальной квазиравновесности процесса взаимной диффузии. Это оказалось решающим фактором при рассмотрении данного процесса в многофазных системах, для которых в начальной стадии процесса условия локальной квазиравновесности явно не выполняются, и потребовался особый подход для анализа процесса на этой стадии. Так родилась теория «диффузионной конкуренции фаз», разработанная им совместно с А.М. Гусаком.

Примеров такого системного подхода к решению разных проблем у Кирилла Петровича можно было бы привести множество. Однако при этом хочется особенно отметить ту страстность и самоотверженность, с какой он выполнял любую работу. Он делал это, исходя из какой-то внутренней потребности, из того, что было в нем заложено и что не подлежало обсуждению. Своих учеников он никогда не заставлял работать, указывал только главный вектор в постановке задачи и помогал в преодолении наиболее трудных моментов. А в основном – они работали сами. Он был лишь примером для них, а не наставником, в прямом смысле этого слова. Это был – Метод Гурова, иначе называть такой нестандартный подход к себе, к работе, к своим сотрудникам и ученикам, да и вообще ко всей жизни, нельзя. Мы всегда удивлялись, откуда у него это страстное желание отдать себя служению людям, отдать им все, что было в нем заложено... Ведь что до него самого, то жизнь его не щадила. Мало того, его труд не был отмечен высокими наградами, он не занимал высоких постов, не был окружен особым вниманием официальных лиц. Он как будто выполнял наказ великого русского поэта Александра Сергеевича Пушкина, данный им в его бессмертном «Ehęgi monumentum»:

Веленью божию, о муза, будь послушна,
Обиды не страшась, не требуя венца,
Хвалу и клевету приемли равнодушно
И не оспаривай глупца.

Таким был Кирилл Петрович Гуров — человек, ученый, преданный патриот своей родины. Таким он остался и в нашей памяти — добрый, веселый, остроумный, жизнерадостный, отзывчивый, готовый всегда прийти на помощь.

Радиационное и космическое материаловедение (лаборатория «Воздействие излучений на металлы» — этапы Пути)

В. Н. Пименов

1. Создание лаборатории

Лаборатория «Воздействие излучений на металлы» была создана по инициативе проф. Льва Ивановича Иванова в 1968 г. Эта инициатива опиралась на поддержку бюро Отделения технических наук АН СССР под председательством акад. А.А. Благонравова. Бюро еще в 1956 г., с целью развития работ по мирному использованию атомной энергии, обратилось в Президиум АН СССР с предложением о выделении финансирования Институту металлургии им. А.А. Байкова (ИМЕТ) - для строительства специального корпуса, с размещением в нем только ускорительной техники, в частности, ускорителя электронов. К обращению было приложено техническое задание на разработку и строительство ускорителя электронов, подготовленное заведующим электрофизической лабораторией института проф. П.К. Ощепковым и утвержденное директором ИМЕТ акад. И.П. Бардиным [1].

В соответствии с Постановлением СМ СССР (464-210 от 6 мая 1959 г.) о строительстве специального здания на территории Института металлургии им. А.А. Байкова АН СССР и размещения в нем ускорителя электронов на энергию 30 МэВ, было заключено соглашение с МИФИ о разработке и строительстве ускорителя. Соглашение было подписано и.о. директора ИМЕТ чл.-корр. А.М. Самариным и ректором МИФИ проф. И.И. Новиковым. Прообразом разрабатываемого ускорителя стал линейный ускоритель электронов на энергию 2,2 МэВ, который был создан в МИФИ и установлен в электрофизической лаборатории ИМЕТ, руководимой проф. П.К. Ощепковым. В эту лабораторию, для развития работ по воздействию излучений на металлические материалы, была переведена изотопная группа лаборатории конструкционных сталей и сплавов (Лаборатория №7, зав. лаб. — академик Н.Т. Гудцов), в которую входили научные сотрудники Л.И. Иванов, Л.Н. Быстров, Ю.М. Платов.

В связи с трудностями строительства радиационного защитного помещения для линейного ускорителя электронов на 30 МэВ, было принято решение заменить его на более компактный ускоритель электронов — циклический ускоритель «Микротрон», разработка и изготовление которого были поручены ЦНИИ «Агат». Техническое задание на строительство ускорителя составлялось Институтом металлургии, с участием Института физических проблем АН СССР. Большую помощь в изготовле-

нии ускорителя оказали Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова, завод «Серп и молот» и ряд других предприятий.

После создания на базе электрофизической лаборатории ИМЕТ Центрального института интроскопии, подразделение по исследованию воздействия излучений на материалы стало преемником электрофизической лаборатории и в 1968 г. получило статус структурной лаборатории «Воздействие излучений на металлы» — лаб. №9 [1].

У истоков становления и развития этой лаборатории стояли, как уже отмечалось, трое ученых: д.ф.-м.н. Л.И. Иванов, к.ф.-м.н. Л.Н. Быстров и м.н.с. Ю.М. Платов, который стал к.ф.-м.н. в 1969 г. Каждый из них был самобытной незаурядной личностью, энергичным, целеустремленным и творческим ученым (см. рис. 1). Впоследствии эти качества, в сочетании с прекрасными организаторскими способностями Л.И. Иванова, который стал заведующим лабораторией, благотворно отразились на формировании и развитии коллектива Лаборатории №9 и на результатах его научной деятельности. Научная тематика на начальном этапе создания Лаборатории №9 была связана, главным образом, с задачами развития космической техники (КТ) и космического материаловедения и, в основном, определялась заданиями Межведомственного научно-технического совета при ВПК, одним из руководителей которого был академик С.Н. Вернов. Поэтому, наряду с исследованиями фундаментального характера по программам АН СССР, решались прикладные



Рис. 1. Лев Иванович Иванов в период создания лаборатории «Воздействие излучений на металлы» (1968 г.).



Рис. 2. Лев Николаевич Быстров.

задачи, направленные на развитие космической техники. Основные научные работы, которые проводились в этот период, связаны с изучением влияния потоков электронов и протонов естественных радиационных поясов Земли на материалы и изделия КТ, а также с разработкой методов имитации в наземных условиях исследуемых видов космических радиа-



Рис. 3. Юрий Михайлович Платов.

ционных воздействий, с целью повышения радиационной стойкости материалов. Кроме того, выполнялись исследования сверхзвуковых ударных воздействий микрометеоритов на материалы КТ и проводились работы по созданию методов защиты от повреждения материалов при подобных воздействиях. Одновременно проводились фундаментальные исследования природы радиационных дефектов и их влияния на физико-механические свойства материалов.

Следует отметить, что оснащение необходимой экспериментальной техникой и аппаратурой специальных помещений Лаборатории №9, размещенных в отдельном здании, продолжалось до 1978 г. К этому времени значительная часть экспериментальной базы Лаборатории (ускорители электронов с энергией от 2 до 21 МэВ, ионно-лучевая установка «Везувий», импульсная лазерная аппаратура с максимальной плотностью мощности излучения в импульсе до 10^{11} Вт/см² и др.) уже использовалась и была направлена на решение новых задач космического и радиационного материаловедения.

2. Космическое материаловедение (1970 – 1990 гг.)

Успешное освоение человеком космического пространства, ставшее одним из ярких научно-технических достижений XX века, выдвинуло на повестку дня важную задачу: необходимость всестороннего изучения воздействия на космические аппараты (КА), материалы и изделия различных факторов космической среды. Эти факторы, по характеру воздействия на тела, условно можно разделить на два типа: «внешние», действующие в открытом космосе за бортом КА (вакуум, космическая радиация, потоки налетающих микрочастиц, высокие и низкие температуры и др.) и «внутренние», реализуемые непосредственно на КА и связанные с уникальным свойством космоса — невесомостью и спецификой экспериментов на борту КА. С развитием пилотируемой космонавтики и долговременных орбитальных космических аппаратов, весьма актуальной стала проблема фундаментального исследования влияния условий длительной невесомости, реализуемых на КА, на физико-химические процессы в многофазных металлических системах, совершенствования на этой основе наземных технологических процессов и поиск перспективных технологий получения в космосе материалов и изделий с новыми свойствами. Решение этой проблемы потребовало создания специального технологического оборудования для проведения экспериментов на борту КА и обусловило возникновение нового научно-технического направления космического материаловедения (КМ).

Значительный вклад в развитие этого направления внес Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (ИМЕТ РАН), участвовавший в 1975 г. в первом международном проекте ЭПАС (Экспериментальный Проект «Аполлон» – «Союз») и в ряде отечественных

программ с использованием орбитальных КА: станции «Салют-5» (1976 – 1977 гг.), орбитальных комплексов «Салют-6» – «Союз» (1978 – 1985 гг.), станции «Мир» (начиная с 1986 г.) и других. Одним из пионеров развития КМ в нашей стране стал заведующий лабораторией «Воздействие излучений на металлы» проф. Л.И. Иванов. На начальном этапе формирования этого нового направления он осуществлял организационное и научное руководство работами ИМЕТ РАН по международному Проекту ЭПАС, а впоследствии, в рамках отечественных программ, руководил комплексом исследований фундаментального характера по влиянию невесомости на физико-химические процессы в твердо-жидкофазных металлических системах. Наряду с Лаб. № 9, в работах по КМ во всех вышеперечисленных программах принимали участие лаборатория Полупроводниковых материалов (лаб. №11, заведующий — проф. В.С. Земсков), а также лаборатория Физикохимии тугоплавких и редких металлов и сплавов (лаб. №12, заведующий — чл.-корр. Е.М. Савицкий).

Основные результаты, полученные сотрудниками Лаб. №9 по программам развития КМ, изложены в монографии [2] и публикациях [3 – 22]. Опираясь на эти результаты, а также на данные других исследователей (см., например, [23 – 28]), можно сделать выводы о том, что ситуация в области развития КМ к концу прошлого столетия представлялась следующей.

На начальном этапе работ в этой области исследования носили преимущественно прикладной характер и были направлены на использование состояния длительной невесомости на КА для оптимизации технологических процессов получения материалов, с целью улучшения их структуры и свойств. Проведенные космические эксперименты подтвердили ожидаемое улучшение свойств некоторых материалов, по сравнению с наземными образцами-прототипами [12, 15, 23, 27]. В первую очередь, это относится к полупроводниковым кристаллам, используемым в промышленности: монокристаллу Ge, легированному примесями, арсениду галлия, монокристаллам арсенида и антимонида индия, твердому раствору кадмий – ртуть – теллур и др. Обнадеживающие результаты были получены и для некоторых металлических материалов.

Вместе с тем, в ряде космических экспериментов были получены неожиданные результаты (а иногда и с ухудшением свойств), которые не нашли объяснения в рамках существовавших на момент постановки экспериментов представлений (например, возникновение радиальной неоднородности в кристаллах твердых растворов Ge – Si – Sb [2]). Кроме того, при выполнении экспериментов на борту пилотируемых КА были обнаружены специфические эффекты, влияющие на ход исследуемых процессов и требующие детального изучения. К ним относятся: действие малых остаточных ускорений, вибрационные воздействия — так называемая *g* – рябь, отрыв расплава, не смачивающего материал тигля (или ампулы), от стенки, возникновение на свободной поверхности расплава термо-

и концентрационно-капиллярной конвекции, перемешивающей жидкую фазу, и др. Эти обстоятельства выдвинули на первый план проблему исследований фундаментального характера, направленных на выяснение основных закономерностей и особенностей протекания гидродинамических, теплофизических и физико-химических процессов в материалах в условиях космических экспериментов.

Особый интерес в рассматриваемом аспекте представляли собой массовая и направленная кристаллизация расплавов - как наиболее распространенные металлургические процессы, лежащие в основе получения неорганических материалов разных видов. Среди явлений, связанных с затвердеванием расплавов, повышенное внимание вызывали те из них, которые были «чувствительны» к фактору гравитации и влиянию условий невесомости: переохлаждение расплавов (механизмы зарождения кристаллов, гомогенное, гетерогенное и динамическое зародышеобразование); фазовые превращения и условия образования метастабильных фаз; морфологическая неустойчивость границы раздела кристалл-расплав (воздействие механизмов переноса на фронт кристаллизации).

В целом, на рассматриваемом этапе развития КМ наиболее актуальными направлениями работ в космосе и при постановке наземных имитационных экспериментов в области кристаллизации расплавов и процессов фазообразования представлялись фундаментальные исследования, нацеленные на выяснение роли тонких механизмов взаимодействия конвективных течений разной природы и диффузионного переноса компонентов, с кинетикой процессов на границе раздела твердой и жидкой фаз. Ожидалось, что размещение на борту КА технологического оборудования нового поколения, в сочетании с более совершенной диагностической аппаратурой будет способствовать успешному продвижению исследований в данном направлении и дальнейшему развитию КМ. К сожалению, сложные события политического характера, которые произошли в нашей стране в 90-е годы прошлого столетия, отрицательно сказались на всей отечественной науке, в том числе и на исследованиях в области КМ.

Основной вклад в развитие этого направления работ в Лаб. №9 внесли зав. лабораторией проф. Л.И. Иванов, докт. физ.-матем. наук К.П. Гуров, канд. техн. наук Е.В. Демина, канд. физ.-матем. наук С.А. Масляев, научн. сотр. И.П. Сасиновская, инж.-исслед. Г.С. Бирова.

Литература к разделу 2

1. Иванов Л.И. Космическое и радиационное материаловедение (30 лет лаборатории «Воздействие излучений на металлы». Институту металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова 60 лет: Сб. научн. тр. /Отв. ред. И.П. Лякишев. – М.:ЭЛИЗ, 1998, 524с.

2. Иванов Л.И., Земсков В.С., Кубасов В.Н., Пименов В.Н., Белокурова И.Н., Гуров К.П., Демина Е.В., Титков А.Н., Шульпина И.Л. Плавление, кристаллизация и фазообразование в невесомости. М.: Наука, 1979, 256 с.
3. Ivanov L.I., Kubasov V.N., Pimenov V.N., Gurov K.P., Demina E.V., Malkov Yu.S., Lazarenko V.M. Multiple Materials Melting (Metals). Part of Experiment MA – 150. Apollo-Soyuz Test Project: Summary Science Report. USA, Washington, NASA, Lyndon B. Johnson Space Center, 1977, Vol. 1, pp.501-538.
4. Иванов Л.И., Кубасов В.Н., Пименов В.Н., Демина Е.В. Физика и химия обработки материалов, 1977, №5, с. 117 – 122.
5. Иванов Л.И., Кубасов В.Н., Пименов В.Н., Гуров К.П., Демина Е.В. Физика и химия обработки материалов, 1977, №5, с. 123 – 128.
6. Кубасов В.Н., Иванов Л.И., Пименов В.Н., Гуров К.П., Демина Е.В. Физика и химия обработки материалов, 1977, №5, с.129 – 134.
7. Иванов Л.И., Кубасов В.Н., Пименов В.Н., Демина Е.В. Физика и химия обработки материалов, 1977, №6, с. 35 – 39.
8. Пименов В.Н., Демина Е.В. Сб. Материалы и процессы космической технологии. М.: Наука, 1980, с. 5 – 13.
9. Иванов Л.И., Пименов В.Н. Физика и химия обработки материалов, 1981, №1, с. 59 – 64.
10. Иванов Л.И., Пименов В.Н., Масляев С.А. и др. Физика и химия обработки материалов, 1981, №3, с. 157.
11. Пименов В.Н., Масляев С.А. Физика и химия обработки материалов, 1983, №1, с. 63 – 67.
12. Масляев С.А., Пименов В.Н., Сасиновская И.П. Физика и химия обработки материалов, 1983, №5, с. 66 – 67.
13. Масляев С.А., Пименов В.Н., Сасиновская И.П., Гуров К.П. Металлофизика, 1984, Т.6, №2, с. 28 – 32.
14. Pimenov V.N., Kubasov V.N., Ivanov L.I., Acta Astronautica, 1984, V.11, №10/11, pp. 687 – 690.
15. Земсков В.С., Иванов Л.И., Савицкий Е.М., Раухман М.Р., Пименов В.Н. и др. Изв. АН СССР. Сер. физич., 1985, Т.49, №4, с. 673 – 680.
16. Пименов В.Н., Масляев С.А., Сасиновская И.П. и др. 1985, №1, с. 65 – 68.
17. Масляев С.А., Пименов В.Н. Физика и химия обработки материалов, 1985, №6, с. 102 – 107.
18. Пименов В.Н., Шулым В.Ф., Масляев С.А. Бецофен С.Я. Физика и химия обработки материалов, 1986, №6, с. 41 – 46.
19. Пименов В.Н. Физика и химия обработки материалов, 1986, №6, с. 47 – 52.
20. Бецофен С.Я., Масляев С.А., Пименов В.Н., Рубина Е.Б. Физика и химия обработки материалов, 1988, №3, с. 43 – 47.
21. Иванов Л.И., Пименов В.Н., Янушкевич В.А. Физика и химия обработки материалов, 1989, №3, с. 41 – 46.
22. Пименов В.Н., Масляев С.А., Бецофен С.Я. Физика и химия обработки материалов, 1989, №4, с. 24 – 29.

23. Авдучевский В.С., Бармин И.В., Гришин С.Д., Лесков Л.В., Петров А.М., Полежаев В.И., Савичев В.В. Проблемы космического производства. М.: Машиностроение, 1980, 222 с.
24. Сб. «Получение и поведение материалов в космосе». Под ред. А.С. Охотина. М.: Наука, 1978, 247с.
25. Сб. «Космическая технология». Под ред. Л. Стега. М.: Мир, 1980, 418 с.
26. Сб. «Гидромеханика и теплообмен в невесомости». Под ред. В.С. Авдучевского, и В.И. Полежаева. М.: Наука, 1982, 263 с.
27. Сб. «Космическое материаловедение. Введение в научные основы космической технологии». Под ред. Б. Фойербахера, Г. Хамахера, Р. Наумана. М.: Мир, 1989, 478 с.
28. Сб. Итоги науки и техники. Серия «Исследование космического пространства», т.29. Под ред. акад. Р.З. Сагдеева. М.: ВИНТИ, 1987,296 с.

3. Радиационное материаловедение (1970 – начало 2000 г.г.)

С начала основания, в лаборатории «Воздействий излучений на металлы» проводились работы в области радиационной физики твердого тела и радиационного материаловедения, а также — по разработке специальных радиационно-стойких малоактивируемых конструкционных и функциональных материалов ядерных реакторов и установок термоядерного синтеза. Цикл фундаментальных исследований радиационно-стимулированных процессов переноса и радиационного дефектообразования был выполнен в работах [1 – 18]. Наиболее интересные научные результаты, полученные в этих работах, состоят в следующем.

3.1. Радиационные процессы, генерируемые облучением.

Было показано, что нестационарная радиационно-стимулированная диффузия, генерируемая облучением, влияет на стабильность металлических твердых растворов и может стимулировать их распад в области концентрационной стабильности, определяемой равновесной фазовой диаграммой состояния. На основе теоретических и экспериментальных исследований влияния облучения на фазовую стабильность металлических сплавов и диффузионные процессы в них, было установлено, что диффузионная подвижность междоузельных атомов, образующихся при облучении, может быть ниже, чем вакансий, в отличие от необлученных чистых металлов. Кроме того, экспериментально было показано, что под воздействием нейтронного или электронного облучения в твердых растворах, близких по термодинамическим свойствам к идеальным, могут образовываться неравновесные радиационно-стимулированные фазы, существенно влияющие на физико-механические характеристики материалов. Было также открыто и исследовано новое интересное явление — ускорение установившейся ползучести металлов с ГЦК структурой, под действием импульсного электронного облучения [19 – 22].

Ряд фундаментальных исследований природы радиационных дефектов и роли динамических процессов, при радиационных воздействиях на фазовые изменения в сплавах, были выполнены с использованием метода автоионной микроскопии [23 – 26]. Впервые экспериментально было обнаружено пространственное разделение междоузельных атомов и вакансий (образование френкелевых пар) при различных температурах радиационного воздействия. Показана возможность преодоления химической несовместимости элементов, за счет динамических эффектов, при воздействии на металлические материалы высокоэнергетических ядерных частиц. Это позволило создавать метастабильные твердые растворы из химически не взаимодействующих элементов, а также — далеко за пределами их химического растворения.

Цикл работ был выполнен по радиационной обработке материалов ионными пучками, с целью изучения их поверхностной радиационной стойкости и модифицирования структурного состояния [26 – 29]. В частности, было изучено влияние механических напряжений на поверхностную радиационную эрозию металлических материалов, проведены фундаментальные исследования по влиянию поверхностной термической и радиационно-стимулированной сегрегации элементов на процесс радиационного распыления. Полученные результаты использованы для прогнозирования работоспособности конструкционных материалов в условиях их эксплуатации в термоядерных установках с магнитным удержанием плазмы.

3.2 Разработка радиационно-стойких материалов

С начала 80-х годов в лаборатории возникло новое направление — разработка и создание радиационно-стойких конструкционных металлических материалов для термоядерной и атомной энергетики, космической техники, соответствующих высоким требованиям экологии к радиоактивным веществам [30]. Эти материалы условно стали называться малоактивируемыми. В Лаб. №9, с участием НИИАР, была разработана новая композиция стали на основе диаграммы состояния системы Fe – Cr – Mn, которая относилась к малоактивируемым сталям, так как не содержала легирующих элементов, дающих долгоживущие радионуклиды при нейтронном облучении, а по своей радиационной стойкости была близка к традиционно применяемым в атомной энергетике никелевым сталям [31, 32].

Совместно с ЦНИИТМАШ, была также разработана малоактивируемая феррито-мартенситная сталь [33, 34]. Обе эти стали были использованы для создания (совместно с ВНИТИ, Днепропетровск) технологии производства шестигранных труб (т.н. чехлов) и тонкостенных трубок для тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) быстрых реакторов. Было освоено опытно-промышленное производство обоих видов изделий, ко-

торые прошли многолетнюю эксплуатацию в реакторе БОР-60 (НИИАР). Работа по разработке технологии получения шестигранных труб из малоактивируемых сталей была отмечена медалями ВДНХ, а упомянутые изделия неоднократно экспонировались на тематических выставках, посвященных атомной энергетике.

В 90-е и последующие годы в Лаборатории получили развитие работы по созданию и исследованию радиационных свойств малоактивируемых сплавов на основе диаграммы состояния системы ванадий — галлий [35 – 38]. Выбор этой системы легирования обусловлен тем, что, согласно проведенным расчетам, галлий обладает наибольшей скоростью спада наведенной радиоактивности, после облучения в нейтронном спектре реактора ДЕМО [35]. В качестве дополнительных легирующих элементов, повышающих прочность и жаропрочность, использовались Si и Cr. Были проведены всесторонние исследования физико-механических свойств сплавов этой системы, оценена их коррозионная стойкость в литиевом теплоносителе, исследован процесс испарения галлия при высоких температурах, а также проведено облучение сплавов в быстром реакторе БР-10. Полученные результаты показали, что по исследуемому комплексу механических и теплофизических свойств, по коррозионной стойкости в литиевом теплоносителе, распуханию сплавы V-(3-5)Ga-0,6Si и V-(3-5)Ga-(4-5)Cr не уступают традиционно разрабатываемым сплавам V-4Ti-4Cr. Это предопределило целесообразность их дальнейшего изучения как перспективных сплавов — для применения в качестве конструкционных и функциональных материалов в атомной и термоядерной энергетике.

Работа «Создание конструкционных радиационностойких малоактивируемых сталей и сплавов ванадия и технологии их производства для ядерной энергетике» в 2005 году была представлена на соискание премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, что подчеркивает значимость и перспективность результатов проведенных исследований.

3.3. Трансмутационные изменения в металлических сплавах

Еще один цикл работ, начатый в Лаборатории в 90-е годы, связан с исследованиями трансмутационных ядерных изменений в металлических материалах при нейтронном облучении и влиянием этого процесса на структурно-фазовые превращения в металлических материалах [40 – 45]. С использованием программного компьютерного комплекса АСТІVА, разработанного ГЕОХИ РАН и ИМЕТ РАН, проведены расчеты параметров активации, выгорания и наработки элементов в сплавах Al-Mg-Sc, в ванадии и его сплавах V-Ti-Cr, V-Ga-Si, V-Ti-Nb-N, а также в аустенитных и ферритных сталях, при имитационном облучении в нейтронных спектрах реакторов деления ВВЭР, БОР-60 и термоядерного реактора ДЕМО [44,

45]. Впервые, при выборе шихтовых материалов для выплавки сталей и сплавов с ускоренным спадом наведенной радиоактивности, а также при проведении указанных выше расчетов трансмутационных изменений, использовались результаты панорамного элементного анализа [45-47]. На основе анализа трансмутационных изменений, показано, что по скорости спада наведенной радиоактивности, разработанная в ИМЕТ РАН сталь Fe9Cr2WVMn и сплав V-3,6Ga-0,8Si не уступают малоактивированной зарубежной стали-аналогу и малоактивируемым сплавам V-4Cr-4Ti отечественного производства (ВНИИНМ), и производства США (Аргоннская национальная лаборатория).

Проведены расчеты выгорания и наработки элементов, при трансмутационных ядерных реакциях, для нейтронных спектров реакторов ВВЭР и ДЕМО в ряде аустенитных и ферритных сталей [42]. Показано, что дестабилизация аустенита может происходить за счет ухода углерода из матричного твердого раствора, в результате наработки ванадия – сильного карбидообразующего элемента. По этой же причине, а также из-за наработки марганца и его радиационно-стимулированной сегрегации на границах зерен, возможна фазовая нестабильность и охрупчивание, в целом более стабильных, ферритных сталей.

Ряд научных результатов, полученных сотрудниками лаборатории по исследованию радиационных свойств и радиационной стойкости металлических материалов за период — до 2000 г., представлен в монографии, написанной проф. Л.И. Ивановым и д.ф.-м.н. Ю.М. Платовым. [47].

3.4. Ударно-волновые воздействия на материалы.

В связи с проблемой защиты космических объектов от микрометеоритных воздействий, в период, примерно с конца 70-х годов по начало 2000-х годов, одним из важных направлений научной деятельности Лаборатории было исследование природы разрушения и изменения физико-механических свойств различных материалов под действием ударных волн (УВ), генерируемых импульсным лазерным излучением (ЛИ). Созданная в те годы в Лаборатории, на базе аппаратуры ГОС 1001, лазерная установка позволяла разгонять макрочастицы в виде фольг толщиной до 100 мкм и размером до 1мм до скоростей ~ 10 км/с, имитируя воздействие микрометеоритов на материалы. Основные результаты исследований по этому направлению изложены в работах [48 – 56].

Было показано, что при прохождении УВ, создаваемых ЛИ, через металлические материалы и полупроводниковые кристаллы, в них образуются точечные дефекты, подобные радиационным, концентрация которых близка к концентрации вакансий в точке плавления материалов [48, 49]. Модельные представления о возможных механизмах образования подобных дефектов на фронте УВ развиты в работах [50, 51]. Обнаружено также [52], что УВ даже небольших амплитуд способны изменять электро-

физические характеристики полупроводниковых приборов различных типов, а также могут приводить к электрическому пробое диэлектриков, несущих электрический заряд [53]. При исследовании воздействия макрочастиц, летящих со сверхзвуковой скоростью на материалы мишеней, было установлено аномально глубокое проникновение материала метаемого тела далеко за пределы видимой зоны разрушения.

Впервые было обнаружено, что зарождающиеся при ударе поверхностные волны Релея приводят к возникновению микрократерных полей около образованного кратера [54, 55], а возникающая при ударе плазма вызывает эрозию поверхности около кратера, за счет формирования униполярных дуг [56], ранее открытых при исследовании взаимодействия высокотемпературной плазмы с металлами.

Наибольший научный вклад в развитие направления работ, представленного в разд. 3, внесли: зав. лаб. №9 проф. Л.И. Иванов, доктор физ.-матем. наук Л.Н. Быстров, Ю.М. Платов, В.А. Янушкевич, В.Т. Заболотный, А.Б. Цепелев, С.В. Симаков, К.П. Гуров, канд. техн. наук Е.В. Демина, кандидаты физ.-матем. наук Н.А. Махлин, В.М. Лазоренко, М.Н. Плетнев, Е.Г. Пруцков, А.В. Полянинов, В.И. Товтин, А.П. Комиссаров, В.П. Бабаев, В.М. Устиновщиков, М.Е. Резницкий, И.В. Боровицкая, Н.А. Виноградова, О.Н. Никитушкина, канд. техн. наук Е.Е. Казилин, канд. техн. наук А.И. Дедюрин, старшие научн. сотр. С.И.О. Садыхов, В.Н. Мельников, Е.Е. Старостин, научные сотр. М.Д. Прусакова, В.В. Парамонова, В.А. Поляков.

Литература к разделу 3

1. Быстров Л.Н., Иванов Л.И., Платов Ю.М. Нестационарная диффузия в металлах. Докл. АН СССР, 1969, т. 185, №2, с.309-312.
2. Быстров Л.Н., Иванов Л.И., Платов Ю.М. Физ. и хим. обраб. материалов. 1969, №6, с.25-35.
3. Быстров Л. Н., Иванов Л. И., Платов Ю. М. Физ. и хим. обраб. материалов, 1970, №1, с. 14-22.
4. Быстров Л.Н., Иванов Л.И., Платов Ю.М. ФХОМ, 1970, №2, с.34-45.
5. Bystrov L.N., Ivanov L.I., Platov Yu.M. Phys.Stat.Sol (a), 1971, v.7, p. 617-627.
6. Ivanov L.I., Platov Yu.M., Pletnev M.N., Sadykhovov S.I.O. J. NucL. Mater., 1978, v. 69/70, p. 754-757.
7. Садыхов С.И.О., Платов Ю.М. Физ.и хим.обраб.материалов, 1974, №2, с. 98-100.
8. Лазоренко В.М., Платов Ю.М., Плетнев М.Н. ФММ, 1980, т.50, вып.1, с.164-174.
9. Иванов Л.И., Лазоренко В.М., Платов Ю.М., Плетнев М.Н., Торопова Л.С. Доклады Академии наук, 1981, т. 257, №5, с. 1175-1178.
10. Бабаев В.П., Бобков А.Ф., Заболотный В.Т. и др. Препринт ИТЭФ-110, 1982, 40 с.

11. Заболотный В.Т., Иванов Л.И., Платов Ю.М., Симаков С.В. Физика и химия обработки материалов, 1985, №1, с. 124-126.
12. Быстров Л.Н., Кузнецов А.В., Лазоренко В.М., Установщиков В.М. Физика и химия обраб. материалов, 1983, №4, с.10-13.
13. Иванов Л. И., Лазоренко В.М., Платов Ю.М., Симаков С.В. Физика и химия обработки материалов, 1984, №4, с.27-30.
14. Лазоренко В.М., Платов Ю.М., Симаков С.В. Физика металлов и металловедение, 1984, т.58, №5, с.943-949.
15. Платов Ю.М., Симаков С.В. Физика металлов и металловедение, 1986, т.61, №2, с.213-217.
16. Платов Ю.М., Симаков С.В. Физика и химия обработки материалов, 1988, №6, с.5-10. 17. Иванов Л.И., Волков М.Г., Платов Ю.М., Садыхов С.И.О., Симаков С.В. Физика и химия обработки материалов, 1988, №1, с. 28-33.
18. Платов Ю.М., Симаков С.В., Иванов В.В. Физика и химия обработки материалов, 1990, №3, с.20-24.
19. Быстров Л.Н., Цепелев А.Б. Влияние электронного облучения на ползучесть нержавеющей стали. ФХОМ, 1980, №4, с. 22-25.
20. Bystrov L.N., Ivanov L.I., Tsepelev A.V. Phil.Mag.A, 1984, v.49, No.2, p.273-285.
21. Быстров Л.Н., Иванов Л.И., Цепелев А.Б. Изв. АН СССР, Металлы, 1985, №3, с.169-176. 22. Bystrov L.N., Tsepelev A.V. J.Nucl.Mater., 1992, v.195, p.134-137.
23. Заболотный В.Т., Иванов Л.И., Суворов А.Л. Физика и химия обработки материалов, 1994, №2, с. 5 – 10.
24. Бабаев В.П., Заболотный В.Т., Комиссаров А.П., Махлин Н.А. Физика и химия обработки материалов, 1987, №2, с. 3 – 7.
25. Махлин Н.А., Заболотный В.Т., Комиссаров А.П. Физика и химия обработки материалов, 1992, №5, с. 5 – 7.
26. Заболотный В.Т., Вальднер В.О., Старостин Е.Е. Перспективные материалы, 1996, №4, с. 29 – 34.
27. Ivanov I., Komissarov A., Machlin N., Poliakov V. Vaccum. 1992, v. 43, No 10, p. 955-959.
28. Бондаренко Г.Г., Иванов Л.И., Кучерявый С.И. Физика и химия обработки материалов, 1985, № 3, с. 53-55.
29. Комиссаров А.П., Костин К.А. Физика и химия обраб. материалов, 1994, № 1, с. 11-15.
30. Агеев Н.В., Иванов Л.И. Вестн. АН СССР, 1982, №3, с. 55 – 62.
31. Иванов Л.И., Демина Е.В., Шамардин В.К., Буланова Т.М., Неустроев В.С., Прусакова М.Д. Физика и химия обработки материалов, 1989, №6, с.5.
32. Demina E.V., Lyakishev N.P., Ivanov L.I., Kolotov V.P., Kashin V.I., Platov Yu.M. Savateev N.N., Vinogradova N.A. J.Nucl.Mat., 1996, 233-237, p.1516 - 1522.
33. Жаропрочная сталь. Авторское свидетельство №31739673 по заявке №4813929 от 12 апреля 1990 г., кл. С22 с 38/60. В.П. Борисов, И.А. Щенкова, Г.А Туляков, О.М. Вишкарев, В.Шумский, Я.М. Васильев,

- Ю.Г. Магеря, Е.Р. Кабанова, Е.В. Демина, Л.И. Иванов, Ю.М. Платов, В.В. Иванов, Л.А. Писаревский и Е.А. Ульянин.
34. Щенкова И.А., Демина Е.В., Платов Ю.М., Магеря Ю.Г., Савватеев Н.Н., Прусакова М.Д., Виноградова Н.А. Перспективные материалы. 1996, №2, с.31-36.
 35. Ivanov L.I., Platov Yu.M., Dediurin A.I., Borovitskaia I.V., Lazorenko V.M., Savvateev N.N., Sidorova V.V., Zakharova M.I., Artemov N.A. Journal of Nuclear Materials, 1996, V. 233-237, p. 395-399.
 36. Дедюрин А.И., Боровицкая И.В., Захарова М.И., Артемов Н.А. Металлы, 1997, №3, с.145-149.
 37. Дедюрин А.И., Люблинский И.Е., Боровицкая И.В.. Металлы. 1998 г. №3. С.71-74.
 38. Dediurin A.I., Platov Yu.M., Zakharova M.I., Borovitskaja I.V., Artemov N.A. Journal of Nuclear Materials. 1998. V.258-263. P. 1409-1413.
 39. Аленина М.В., Иванов Л.И., Колотов В.П., Платов Ю.М. Физика и химия обработки материалов, 1998, №4, с. 67-74.
 40. N.P. Lyakishev, V.Ya. Dashevsky, E.V. Dyomina, L.I. Ivanov, Yu. M. Platov, M.D. Prusakova, V.P. Kolotov, M.V. Alenina. J. Nucl. Mater., 1998, v. 258-263, p.1300-1306.
 41. М.В. Аленина, Л.И. Иванов, В.П. Колотов, Ю.М. Платов. Перспективные материалы, 2000, №3, с. 54-58.
 42. М.В. Аленина, В.П. Колотов, Л.И. Иванов, Ю.М. Платов, В.И. Товтин, И.Н.Филияев. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы, выпуск 2(65), 2005, с. 55-61.
 43. М.В. Аленина, В.П. Колотов, Л.И. Иванов, Ю.М. Платов, В.И. Товтин, И.Н.Филияев. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы, выпуск 2(65), 2005, с. 55-61.
 44. В.П. Колотов, Ю.М. Платов, С.В. Симаков, А.Б. Цепелев, И.Н. Филияев. Перспективные материалы, 2004, №6, с. 1-6.
 45. С.В. Симаков. Перспективные материалы, 2005, №1, с. 38-40.
 46. Е.В. Демина, М.Д. Прусакова, Н.А. Виноградова. Перспективные материалы, 2007, №5, с. 56-62.
 47. Иванов Л.И., Платов Ю.М. Радиационная физика металлов и ее приложения. М.: Интерконтакт Наука, 2002, 300 с.
 48. Мезох З.И., Янушкевич В.А., Иванов Л.И. Физика и химия обработки материалов, 1971, №4, с.163 – 165.
 49. Никифоров Ю.Н., Янушкевич В.А., Сандулова А.В. Физика и химия обработки материалов, 1972, №3, с. 132 – 134.
 50. Янушкевич В.А. Физика и химия обработки материалов, 1978, №3, с. 14 – 22.
 51. Янушкевич В.А. Физика и химия обработки материалов, 1979, №2, с. 47 – 51.
 52. Полянинов А.В., Пруцков Е.Г., Янушкевич В.А. и др. Радиотехника и электроника, 1980, №7, с. 1513 – 1521.
 53. Акишин А.И., Иванов Л.И., Тютрин Ю.И. и др. ДАН СССР, 1980, т.251, №2, с. 330 – 331.

54. О.Н.Никитушкина, Л.И.Иванов, С.А.Бедняков, Л.С.Новиков, В.П.Коношенко, В.Г.Соколов. ФХОМ. 2002, №2, с. 21-25
55. О.Н.Никитушкина, Л.И.Иванов, А.Н.Петров, Л.С.Новиков. ФХОМ, 2001, №1, с. 48-51
56. Л.И.Иванов, О.Н.Никитушкина. ФХОМ, 2003, №1, с. 38-41

4. Воздействие концентрированных потоков энергии на материалы (2000-е годы)

В 2000-е годы работы лаборатории в области радиационного и космического материаловедения были направлены на изучение воздействия концентрированных потоков энергии на материалы атомной энергетики, установок термоядерного синтеза и космической техники. При этом, наряду с традиционными работами в сфере облучения металлов и сплавов непрерывными и циклическими потоками частиц (электронов, ионов, нейтронов), особое внимание было уделено исследованиям поведения материалов в условиях мощных импульсных воздействий ионных и плазменных пучков нано- и микросекундного диапазона длительности импульса, а также импульсов лазерного излучения нано- и миллисекундной длительности. Такой подход определялся возросшим интересом к изучению радиационно-термической стойкости, повреждаемости и изменения структурного состояния материалов, при воздействии мощных импульсных потоков ионов и высокотемпературной плазмы, реализуемых в термоядерных реакторах (ТЯР), с магнитным (ИТЕР) и инерциальным удержанием плазмы.

Работы проводились как в рамках Госзаданий и отечественных Программ и Проектов, так и по линии международного сотрудничества с Институтом физики плазмы и лазерного микросинтеза (Польша, Варшава), Таллиннским университетом (Эстония, Таллинн), а также по грантам МАГАТЭ. Часть результатов, полученных в лаборатории примерно в последнее десятилетие, представлена в работах [1 - 57]. Отметим здесь лишь некоторые из них.

4.1 Радиационные дефекты и структурные изменения при непрерывном облучении.

Развиты теоретические представления в области взаимодействия излучений с твердым телом.

Разработана теоретическая модель зарождения и роста дислокационных междоузельных петель в металлах при облучении, основанная на двух механизмах: кинетическом диффузионном механизме образования и роста трехмерных комплексов междоузельных атомов и термодинамическом механизме их скачкообразного фазового перехода в дислокаци-

онные петли [5, 6, 30, 31]. Показано, что существенную роль в процессе зарождения дислокационных петель играет скорость введения свободно-мигрирующих точечных дефектов. Рассмотрен процесс, приводящий к изменению структурно-фазового состояния металлических материалов при нейтронном облучении, обусловленный трансмутационными ядерными превращениями и способствующий растворению исходных и образованию новых фаз [16].

Теоретически исследована диффузия атомов водорода в металлах с ГЦК и ГПУ решеткой, в широком интервале температур [7, 13, 20]. Установлено, что возможны два режима миграции атома водорода: в области высоких температур – классические надбарьерные скачки и в области низких температур, меньших 30К – квантовые туннельные переходы между соседними потенциальными ямами. Сделана оценка вклада ангармонизма колебаний атомов водорода в ГЦК и ГПУ решетках в миграцию атомов, движущихся с тепловыми скоростями. Основные результаты теории представлены в монографии [40].

Развитые представления способствовали более глубокому пониманию механизмов переноса высокоэнергетических частиц в твердых телах.

Продолжены эксперименты, начатые ранее (см. разд.3), — по облучению ванадиевых сплавов. Совместно с РИЦ «Курчатовский институт», исследовано изменение поверхностных свойств сплавов ванадия, на основе системы V – Ga (V-Ga-Cr и V-Ga-Si), созданных в ИМЕТ РАН, при воздействии на них ионов аргона с энергией 20 кэВ, в зависимости от дозы облучения [10, 22]. При дозе облучения $1,0 \cdot 10^{22}$ м⁻² обнаружен эффект дальнего действия, который проявляется в возрастании величины микротвёрдости не только на облучённой стороне образцов, но и с противоположной облучению стороны, а также в изменении текстуры и топографии поверхности на каждой из указанных сторон. Данный эффект связан с радиационно-индуцированными процессами образования дефектов и изменения структуры облученных сплавов.

Изучено влияние электронного облучения (энергия электронов 2 МэВ, флюенс $\sim 10^{19}$ см⁻²) на ванадиевые сплавы на основе системы V-Ga (V-Ga-Cr, V-Ga-Ce и V-Ga-Cr-Ce). Показано, что сплавы на основе системы V-Ga, при облучении электронами, обнаруживают высокую радиационную стойкость, связанную с радиационным упрочнением, без потери пластических свойств и охрупчивания [23].

Совместно с АО «Красная звезда», проведены исследования коррозионной стойкости сплавов на основе ванадия систем V-Ga и V-Ti-Cr в литии высокой чистоты (содержание азота, углерода и кислорода $< 1 \cdot 10^{-3}$ %), в статических изотермических условиях, при 600°C в течение 400 часов [24, 25]. Обнаружено снижение микротвёрдости в приповерхностном слое толщиной ~ 300 мкм в образцах ванадия и на глубину ~ 50 мкм в образцах сплавов V-Ga. Противоположный эффект — увеличение микротвёрдости более чем в 1,5 раза в узкой (< 50 мкм) приповерхностной зоне — на-

блюдается в сплаве V-5Ti-5Cr. Предполагаемый механизм наблюдаемых эффектов (разупрочнения ванадия и сплавов V-Ga и упрочнения сплава системы V-Ti-Cr) связан с перераспределением атомов внедрения (кислорода и азота), в процессе длительного взаимодействия исследованных сплавов с жидким литием, в изотермических условиях. Существенно, что все исследованные материалы практически не подвержены растворению в жидком литии.

Таким образом, результаты комплексных исследований радиационной и коррозионной стойкости сплавов на основе системы ванадий – галлий позволяют рассматривать эти сплавы, наряду со сплавами системы V – Ti –Cr, как основу для разработки перспективных конструкционных материалов, ориентированных на использование в атомной энергетике, в условиях длительных радиационных воздействий, при контакте с агрессивной литийсодержащей средой.

С использованием экспериментального комплекса, включающего ускоритель электронов «Микротрон-СТ» и гамма-спектрометр, совместно с ГЕОХИ РАН, развивается метод гамма-активационного анализа материалов, с целью определения их элементного состава [41]. На примере исследования состава сплавов системы V-Ga, различных металлических материалов, сталей, керамики и др., используемых в узлах и конструкциях атомных реакторов, термоядерных установок, космических аппаратов, показана перспективность данного метода анализа для определения малых примесей в образцах произвольной формы.

4.2. Воздействие на материалы мощных импульсных потоков энергии.

Выполнен цикл экспериментов и исследований по оценке повреждаемости и радиационно-термической стойкости материалов, перспективных для использования в конструкционных и функциональных узлах установок термоядерного синтеза, в том числе реактора ИТЕР, а также в космической технике. Наиболее интересные результаты получены с использованием установок Плазменный фокус (ПФ), которые позволяют реализовать воздействие на материалы мощных импульсных потоков энергии в нано- и микросекундном диапазоне длительности импульса, в широком интервале плотности мощности излучения $q = 10^6 - 10^{12}$ Вт/см². Установка ПФ позволяет обрабатывать образец-мишень, расположенный в ее катодной части, потоками высокотемпературной плазмы (ВТП) с температурой $T_{пл} \leq 1$ кэВ и быстрых высокоэнергетических ионов (БВИ) рабочего газа, имеющих энергию $E_i \geq 100$ кэВ. В случае же размещения облучаемого образца в области анода ПФ, на него будет воздействовать пучок высокоэнергетичных электронов (ВЭ) с энергией $E_e \geq 100$ кэВ. Помимо отмеченных потоков частиц, в установках ПФ генерируются

также импульсы мягкого (~1 кэВ) и жесткого (десятки и сотни кэВ) рентгеновского, а также нейтронного излучений. Указанные установки допускают использование различных видов рабочих газов (водород, дейтерий, гелий, азот, аргон, неон и др.).

В установках ПФ проведены серии экспериментов по воздействию мощных энергетических потоков на различные материалы – вольфрам, молибден, ванадий и его сплавы, аустенитную и ферритную стали, медь, титан и его сплавы, керамику из оксида алюминия и нитрида бора, композиционный материал на основе углеродных волокон (CFC) и др. [1-3, 11, 14,15, 26-28,.32-38, 42, 52- 57]. На основании проведенных экспериментов и исследований, была показана перспективность использования установок ПФ для имитации тепловой нагрузки и повреждаемости материалов диверторных пластин и первой стенки ТЯР с магнитным удержанием плазмы в экстремальных условиях, типа ее срыва или реализации так называемых «ELMs- эффектов» [42].

Установлено также, что применение установок ПФ, параллельно с лазерной аппаратурой (воздействием лазерного излучения на материал в двух режимах — свободной генерации и модулированной добротности), перспективно для имитации экстремальных энергетических воздействий на материалы, которые характерны для установок термоядерного синтеза как с магнитным, так и с инерциальным удержанием плазмы [52]. Показано также, что наряду с лазерной аппаратурой, установки ПФ могут использоваться как эффективный источник генерации УВ [52 – 54] и для ускорения макрочастиц размером ~ 1 мм в виде металлических фольг до скорости ~ 10 км/с и более. Последний факт указывает на возможность использования ПФ в имитационных экспериментах по моделированию воздействия микрометеоритных потоков космической среды на материалы и изделия.

Помимо фундаментальных исследований, продемонстрирована возможность успешного применения установок ПФ для решения прикладных задач радиационного материаловедения — модифицирования поверхностных слоев, нанесения тонких покрытий нано- и микронной толщины, легирования нанесенных покрытий и др. Кроме того, установки ПФ могут быть использованы для динамической неразрушающей дефектоскопии машин и механизмов в процессе их работы. Эта методика может весьма значительно облегчить обнаружение таких дефектов, как зарождающиеся трещины в лопатках турбин. Закрытые в статическом состоянии, они могут проявиться под действием центробежной силы при вращении [52].

По линии вышеуказанного международного сотрудничества, показана эффективность применения установок ПФ в разработках по обнаружению скрытых нелегальных материалов, а также в области радиобиологии. Проведенные исследования показали перспективность применения установок ПФ для изучения радиационной повреждаемости биологических

объектов на клеточном уровне и выявили весьма важный эффект “малых доз — больших мощностей”. Этот эффект, возможно, после дальнейших детальнейших исследований, приведёт к малодозовой рентгеновской диагностике и к эффективной радиотерапии с высокой избирательностью. Проводятся также поисковые исследования в сфере применения установок ПФ как импульсных источников нейтронного излучения в медицине, в частности, в онкологии - для решения задач бор-нейтрон захватной терапии раковых образований [53].

Все перечисленные направления работ с использованием установок ПФ проводятся в Лаб. №9 под руководством проф. В.А. Грибкова. Кроме него, в выполнении работ по разд. 4 принимали участие: д.ф.-м.н. Ю.М. Платов, д.ф.-м.н. Ю.А. Кашлев, д.ф.-м.н. А.Б. Цепелев, к.ф.-м.н. В.И. Товтин, к.ф.-м.н. В.М. Лазоренко, к.т.н Е.В. Демина, к.ф.-м.н. С.А. Масляев, к.ф.-м.н. И.В. Боровицкая, к.ф.-м.н. В.Н. Колокольцев, к.ф.-м.н. Н.А. Виноградова, к.ф.-м.н. А.В. Дубровский, к.ф.-м.н. С.В. Латышев, с.н.с С.И.О. Садыхов, н.с. М.Д. Прусакова, н.с. И.П. Сасиновская, н.с. А.С. Демин, н.с. Е.В. Морозов, н.с. В.В. Парамонова.

Необходимо отметить, что на разных этапах научной деятельности Лаборатория опиралась на сотрудничество со многими подразделениями ИМЕТ РАН (лабораториями и инженерно-техническими службами) и активно сотрудничала с целым рядом организаций, работающих в области радиационного и космического материаловедения. Среди организаций необходимо отметить НПО «Энергия» им. С.П. Королева, КБ Общего машиностроения им. В.П. Бармина, НПО Машиностроения, Завод им. М.В. Хруничева, НИИЯФ МГУ, ФИАН, ГЕОХИ РАН, Институт физических проблем РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, НИЦ «Курчатовский институт», ИТЭФ, НПО «Красная звезда»,

Пополнение лаборатории новыми молодыми специалистами осуществлялось за счет плодотворного сотрудничества с высшей школой. Среди вузов следует отметить МИЭМ, НИЯУ МИФИ, НИУ ВШЭ, МГИУ, МТУСИ.

Сотрудничество с перечисленными организациями и вузами страны принесло большую пользу, способствовало развитию Лаборатории, обогащению ее новыми идеями, обновлению экспериментальной базы, притоку новых кадров. Весь опыт, накопленный Лабораторией за многолетний путь, пройденный в науке, мы стараемся использовать и в настоящее время, продолжая сотрудничать с организациями РАН, отраслевыми предприятиями, научными центрами, высшей школой и др., с учетом новых возможностей, предлагаемых 21 веком.

Литература к разделу 4

1. Демина Е.В., Пименов В.Н., Масляев С.А., Грибков В.А., Дубровский А.В., Сасиновская И.П., Угасте Ю.Э., Лаас Т.И., Шольц М. ФХОМ, 2010, №3, с 51-57.
2. Грибков В.А., Демин А.С., Демина Е.В., Дубровский А.В., Масляев С.А., Падух М., Пименов В.Н., Шольц М. Прикладная физика, 2011, №3, с. 43 – 51.
3. Масляев С.А., Пименов В.Н., Грибков В.А., Демин А.С. Перспективные материалы, 2011, №1, с. 15 – 22.
4. Иванов Л.И., Пименов В.Н., Платов Ю.М. ISSN 0372-2929, Цветные металлы, 2011, №5, с. 53-58.
5. Платов Ю.М., Колотов В.П., Лазоренко В.М., Товтин В.И., Хасанов Ф. А. Физика и химия обработки материалов, 2010, №3, с. 18-25.
6. Платов Ю.М. Перспективные материалы, 2012, №6, с. 213-217.
7. Кашлев Ю.А., Садыков Н.М., Виноградова Н.А. Перспективные материалы, 2010, №5, с.21-23.
8. Иванов Л.И., Боровицкая И.В., Горшков П.В., Михайлов Б.П., Крохин О.Н., Никулин В.Я., Перегудова Е.Н., Михайлова Г.Н., Троицкий А.В. Способ обработки сверхпроводящих материалов. Патент, заявка №2009146713/07(066542), решение о выдаче от 23 июля 2010 г. Патентообладатели: ИМЕТ РАН, ИОФ РАН, ФИАН.
9. Михайлов Б.П., Иванов Л.И., Боровицкая И.В., Крохин О.Н., Руднев И.А., Троицкий А.В., Антонова Л.Х., Никулин В.Я., Майоров А.Н., Покровский С.В. Доклады Академии наук, Техническая физика, 2012, том 442, №5, с. 614-616.
10. Danelyan L. S., Korshunov S. N., Mansurova A. N., Zatekin V. V., Kulikauskas V. S., Borovitskaya I. V., Ivanov L. I., Paramonova V. V., and Lyakhovitskii M. M. Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2012, Vol. 6, No. 2, pp. 236–240.
11. Gribkov V.A., Pimenov V.N., Roschupkin V.V., Maslyaev S.A., Demina E.V., Lyakhovitsky M.M., Dubrovsky A.V., Sasinovskaya I.P., Chernyshova M., Scholz M., Crespo M.L., Chicutin A., Tuniz C. Nukleonika 2012, v. 57, No2, pp. 291-295.
12. Цепелев А.Б., Садыков С.И.О., Севостьянов М.А. Физика и химия обработки материалов, 2012, №2, с.12-16.
13. Кашлев Ю.А., Садыков Н.М., Виноградова Н.А. Физика и химия обработки материалов, 2012, №3, с. 10-13.
14. Демина Е.В., Грибков В.А., Пименов В.Н., Масляев С.А., Прусакова М.Д., Широкова В., Лаас Т., Угасте Ю. Физика и химия обработки материалов, 2013, №3, с.18-25.
15. Shirokova V., Laas T., Ainsaar A., Priimets J., Ugaste Ü., Demina E.V., Pimenov V.N., Maslyaev S.A., Dubrovsky A.V., Gribkov V.A., Scholz M., Mikli V. Journal of Nuclear Materials, 2013, v.435, p.181-188.
16. Платов Ю.М. Перспективные материалы, 2013, №5, с. 35-38.
17. Аленина М.В., Колотов В.П., Платов Ю.М. Перспективные материалы, 2013, №7, с. 44-48.

18. Аникеев В.В., Ковальчук Б.В., Лазоренко В.М., Михайлова Г.Ю., Нищенко М.М., Пименов В.Н., Сидорченко И.М., Суская Ю.Ф., Товтин В.И. Перспективные материалы, 2013, №11, с. 22 - 28.
19. Симаков С.В. Физика и химия обработки материалов, 2013, №4, 20 – 23.
20. Кашлев Ю.А., Садыков Н.М., Виноградова Н.А. Физика и химия обработки материалов, 2013, №6, с. 5 – 12.
21. Колокольцев В.Н., Боровицкая И.В., Сиротинкин В.П., Никулин В.Я., Силин П.В., Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И., Ерискин А.А., Дегтярев В.Ф. Физика и химия обработки материалов. 2013, №5, с. 51-57.
22. Боровицкая И.В., Коршунов С.Н., Ляховицкий М.М., Мансурова А.Н., Парамонова В.В. Вопросы атомной науки и техники. Серия Термоядерный синтез. 2013 г., т.36, №4, с.39 – 44
23. Цепелев А.Б., Садыхов С.И.О., Боровицкая И.В. Физика и химия обработки материалов, 2009, №6, с.12-15.
24. Боровицкая И.В., Люблинский И.Е., Парамонова В.В., Коршунов С.Н., Мансурова А.Н., Ляховицкий М.М., Жарков М.Ю. Перспективные материалы. 2014, №5, с.27-33.
25. Borovitskaya I.V., Lyublinski I.E., Paramonova V.V., Korshunov S.N., Mansurova A.N., Lyakhovitskiy M.M., and Zharkov M. Yu. Inorganic Materials: Applied Research, 2014, Vol. 5, No. 5, pp. 488–493.
26. Латышев С.В., Грибков В.А., Масляев С.А., Пименов В.Н., Падух М., Желиньска Э. Перспективные материалы, 2014, №8, с. 5 – 10.
27. Shirokova V., Laas T., Ainsaar A., Priimets J., Ugaste V., Vali B., Gribkov V. A., Maslyaev S.A., Demina E. V., Dubrovsky A. V., Pimenov V. N., Prusakova M.D., Mikli V. Physica Scripta, T161 (2014) 014045 (5pp) <http://dx.doi.org/10.1088/0031-8949/2014/T161/014045>.
28. Пименов В.Н., Демин А.С., Грибков В.А., Масляев С.А., Демина Е.В., Сасиновская И.П., Ляховицкий М.М., Спрыгин Г.С., Тихонов А.Н., Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И. Перспективные материалы, 2014, №10, с. 40-52.
29. Анкудинов А.В., Воронин А.В., Гусев В.К., Герасименко Я.А., Демина Е.В., Прусакова М.Д., Судьенков Ю.В. Журнал технической физики, 2014, том 84, вып.3, с. 36-42.
30. Платов Ю.М. Перспективные материалы, 2014, №1, с.5-12.
31. Платов Ю.М., Лазоренко В.М., Товтин В.И. Перспективные материалы, 2014, №4, с.18-22.
32. Масляев С.А., Морозов Е.В., Ромахин П.А., Пименов В.Н., Грибков В.А., Тихонов А.Н., Бондаренко Г.Г., Дубровский А.В., Казилин Е.Е., Сасиновская И.П., Синицына О.В. Физика и химия обработки материалов, 2015, №3, с. 5-17.
33. Gribkov V.A., M. Paduch, Zielinska E., Laas T., Shirokova V., Vali B., Paju J., Pimenov V.N., Demina E.V., Latyshev S.V., Niemela J., Crespo M.L., Cicuttin A., Talab A.A., Pokatilov A., Parker M. Journal of Nuclear Materials 463 (2015) 341–346; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2014.11.080> 0022-3115/_ 2014.

34. Морозов Е.В., Масляев С.А., Пименов В.Н., Грибков В.А., Демина Е.В., Сасиновская И.П., Сиротинкин В.П., Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И. Перспективные материалы, 2015, №10, с. 32 – 45.
35. Cicuttin A., Crespo M.L., Gribkov V.A., Niemela J., Tuniz C., Zanolli C., Chernyshova M., Demina E.V., Latyshev S.V., Pimenov V.N. and Talab A.A. Nucl. Fusion 55 (2015) 063037 (7pp). doi:10.1088/0029-5515/55/6/063037.
36. Масляев С.А., Демин А.С., Пименов В.Н., Грибков В.А., Демина Е.В., Лазарев Э.М., Гордеев А.С., Сасиновская И.П., Ляховицкий М.М., Синицина О.В. Перспективные материалы, 2016, №6, с. 49-60.
37. Демин А.С., Морозов Е. В., Масляев С. А., Пименов В. Н., Грибков В. А., Демина Е. В., Сасиновская И. П., Сиротинкин В. П., Спрыгин Г.С., Бондаренко Г.Г., Тихонов А.Н., Гайдар А.И. Физика и химия обработки материалов, 2016, №6, с. 42-50.
38. Vali B., Laas T., Paju J., Shirokova V., Paduch M., Gribkov V.A., Demina E.V., Pimenov V.N., Makhraj V.A., Antonov M. Nukleonika 2016, vol. 61, no. 2, pp 169 – 177. doi: 10.1515/nuka-2016-0029.
39. Borovitskaya I. V., Lyublinskii I. E., Bondarenko G. G., Paramonova V. V., Korshunov S. N., Mansurova A. N., Lyakhovitskii M. M., and Zharkov M. Yu. Physics of Atomic Nuclei, 2016, Vol. 79, No. 7, pp. 57–62.
40. Ю.А. Кашлев. Кинетика и термодинамика быстрых частиц в твердых телах, М.: Наука, 2010, 327с.
41. Товтин В.И., Иванов Л.И., Платов Ю.М., Лазоренко В.М., Догадкин Н.Н., Колотов В.П.. Перспективные материалы, специальный выпуск, 2011, №13, с. 837-841.
42. Иванов Л.И., Пименов В.Н., Грибков В.А. Взаимодействие мощных импульсных потоков энергии с материалами. Физика и химия обработки материалов, 2009, №1, 23 – 37.
43. Tsepelev A.B., Kazilin E.E., Maslyayev S.A., Melnikov V.N., Sadykhov S.I.O., Vinogradova N.A. Inorganic Materials: Applied Research, 2016, Vol.7, No.2, pp.214-218. DOI: 10.1134/S2075113316020246.
44. Цепелев А.Б., Илюшин А.С., Киселева Т.Ю., Бровкина Е.А., Виноградова Н.А. Перспективные материалы, 2016, №4, с.36-42.
45. Tsepelev A. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, v.130, No.1, 012016, 4 p.; doi:10.1088/1757-899X/130/1/012016.
46. Demidov D., Smirnov E., Tsepelev A. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, v.130, No.1, 012012, 6 p.; doi:10.1088/1757-899X/130/1/012012.
47. Tsepelev A.B., Pyushin A.S., Kiseleva T.Yu., Brovkina E.A., Vinogradova N.A. Inorganic Materials: Applied Research, 2016, Vol.7, No.5, pp.713-717. DOI: 10.1134/S2075113316050257.
48. Цепелев А.Б., Илюшин А.С., Киселева Т.Ю., Бровкина Е.А., Мельников В.Н. Физика и химия обработки материалов, 2016, №5, с.5-10.
49. Воронин А.В., Александров А.Е., Бер Б.Я., Брунков П.Н., Борматов А.А., Гусев В.К., Демина Е.В., Новохацкий А.Н., Павлов С.И., Прусакова М.Д., Сотникова Г.Ю., Яговкина М.А. ЖТФ 2016 Том 86 Вып. 3. С. 51-57.
50. Kashlev Yu. A. Inorganic Materials: Applied Research, 2016, Vol. 7, No. 3, pp. 317–324.

51. Казилин Е. Е., Ролдугин В. И., Г. Фолманис Э., Коваленко Л. В., Федотов М.А., Волченкова В.А., Тананаев И.Г. Перспективные материалы. 2016, №8, с.31 – 36.
52. Морозов Е.В., Демин А.С., Пименов В.Н., Грибков В.А., Рощупкин В.В., Масляев С.А., Латышев С.В., Демина Е.В., Казилин Е.Е., Кольцов А.Г., Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И. Физика и химия обработки материалов, 2017, №4, с. 5-18.
53. Грибков В.А., Пименов В.Н. Сб. трудов «Институту металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН 75 лет». Москва, Интерконтакт наука, 2013, с. 294 – 316.
54. Демин А.С., Масляев С.А., Пименов В.Н., Грибков В.А., Демина Е.В., Латышев С.В., Ляховицкий М.М., Сасиновская И.П., Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И., Падух М. Физика и химия обработки материалов, 2017, №6, с. 5 – 17.
55. Боровицкая И.В., Пименов В.Н., Грибков В.А., Падух М., Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И., Парамонова В.В., Морозов Е.В. Металлы, 2017, №6, с. 30-37.
56. Tsepelev A.V., Pyushin A.S., Kiseleva T.Yu., Brovkina E.A., Melnikov V.N. Inorganic Materials: Applied Research, 2017, vol. 8, No. 3, pp.378-381.
57. Цепелев А.Б., Шамрай В.Ф., Сиротинкин В.П., Виноградова Н.А. Перспективные материалы, 2017, №12, с.33 – 38.

Лаборатория физикохимии металлических расплавов имени академика А.М. Самарина

В. Я. Дашевский

В 1939 г. директор Института металлургии АН СССР академик И.П. Бардин пригласил на работу в Институт профессора А.М. Самарина на должность старшего научного сотрудника по совместительству, поскольку в это время основным местом работы А.М. Самарина был Московский институт стали, в котором он руководил кафедрой электрометаллургии стали и ферросплавов и одновременно был заместителем директора института. Основным направлением деятельности А.М. Самарина в Институте металлургии в этот период было создание научных основ процессов производства марганцевых ферросплавов.

В годы Великой отечественной войны Институт металлургии был эвакуирован в г. Свердловск (ныне Екатеринбург), а институт стали в г. Сталинск (ныне Новокузнецк). Только по возвращении из эвакуации институтов А.М. Самарин возобновил научную деятельность в Институте металлургии.

В первые послевоенные годы под руководство А.М. Самарина в Институте металлургии работала группа сотрудников, на базе которой в 1952 г. была создана лаборатория № 2, получившая название «Лаборатория металлургии стали», впоследствии лаборатория была переименована в «Лабораторию физикохимии металлических расплавов». С первых дней создания лаборатории и до последних дней жизни А.М. Самарин был бессменным научным руководителем лаборатории. После кончины А.М. Самарина 20 мая 1970 г. лаборатория получила название «Лабораторию физикохимии металлических расплавов имени академика А.М. Самарина».

Научные исследования, проводимые в лаборатории, были направлены на изучение физико-химических свойств металлических и оксидных расплавов и создания на этой основе новых эффективных процессов производства стали и ферросплавов.

Проблемы теории и технологии ферросплавов всегда были в центре научных интересов А.М. Самарина. С момента образования лаборатории эти проблемы занимали одно из центральных мест в тематике лаборатории. Под руководством А.М. Самарина А.Ю. Поляковым были проведены исследования физико-химических закономерностей процессов извлечения ванадия из ванадистых чугунов и изучены характеристики оксидов ванадия, а В.С. Мозговым изучена растворимость азота в жидком хrome и расплавах хрома и кремния [1–3]. Интерес к проблеме использования ванадия нашел свое продолжение в работах по исследованию растворимости и активности кислорода в расплавах железа, содержащих вана-

дий, проведенных А.Ю. Поляковым и Р.А. Карасевым под руководством А.М. Самарина [4].

Одним из основных направлений научной деятельности лаборатории в первые годы была разработка физико-химических основ производства высококачественных сталей и сплавов различного состава и назначения. Решение данной проблемы требовало глубокой проработки физико-химических основ металлургических процессов. Под руководством А.М. Самарина и А.Ю. Полякова в 50–60-е годы Р.А. Карасевым, Б.В. Линчевским, Б.К. Ляудисом, В.В. Авериним, Э. Бужеком, Г. Шарфом, Сюй Цзен-Цзи, В.М. Кузнецовым, П.А. Черкасовым были проведены исследования термодинамики растворов кислорода в расплавах железа, никеля и кобальта и сплавах на их основе [5–12]. Полученные результаты были положены в основу разработки оптимальных технологических процессов раскисления металлических расплавов.

Существенное влияние на разработку основ технологии производства высокохромистых сплавов оказали результаты исследований системы железо–никель–хром–кислород, проведенных Б.В. Линчевским под руководством А.М. Самарина, в которых изучены раскислительная способность хрома, состав неметаллических включений и их изменение в зависимости от содержания хрома [13]. В этой работе впервые экспериментально обнаружено повышение концентрации кислорода при высоких концентрациях элемента-раскислителя. Этот экспериментальный факт получил подтверждение при анализе влияния многих других элементов-раскислителей на растворимость кислорода в расплавах на основе железа, никеля и кобальта.

Совершенствование техники эксперимента и расширение объектов исследования позволили получить информацию об отклонении от идеального поведения как в хорошо изученных расплавах железо–кислород, так и целом ряде других систем и изучить влияние легирующих элементов на активность кислорода, что имеет большое значение для разработки технологии рафинировочных процессов. Итогом данного цикла исследований явилось получение термодинамических параметров, характеризующих раскислительную способность элементов в сплавах на основе железа, кобальта, никеля и хрома.

В период развития качественной металлургии под руководством А.М. Самарина в 1938–1940 гг. успешно был проведен научный поиск получения металла с низким содержанием газов. Эти исследования были продолжены в Институте металлургии. Результаты исследований позволили создать теоретические основы нового направления в развитии вакуумных процессов, которое получило название — внепечная вакуумная обработка металлических расплавов. Под руководством А.М. Самарина на Енакиевском металлургическом заводе впервые в мировой практике в 1952–1953 гг. был осуществлен смелый эксперимент по вакуумной обработке в ковше 16 т кипящей стали, который показал высокую эф-

фективность нового процесса. Творческое участие в разработке метода и руководство исследованиями на заводе осуществляли Л.М. Новик и А.И. Лукутин, которые в дальнейшем продолжили эти исследования и на других заводах. Эти и другие исследования, проведенные в лаборатории, показали возможность достижения высокой степени раскисления металла углеродом при весьма неглубоком вакууме и значительного снижения концентрации растворённых газов — водорода и азота [14–18]. О большой важности и значении нового направления, каким является внепечная вакуумная обработка металла можно судить по тому, что этот процесс получил широкое применение и развитие во многих странах мира.

Важное научное значение имели работы, проведенные под руководством А.М. Самарина В.С. Мозговым, В.П. Федотовым, В.В. Авериним, П.А. Черкасовым, А.В. Ревякиным, Л.Н. Козиной и В.И. Федорченко, по изучению растворимости азота и его взаимодействию с легирующими элементами в металлических расплавах [19–23]. С использованием результатов этих работ в сочетании с данными о растворимости кислорода были вскрыты общие физико-химические закономерности растворов газов в металлах и сплавах, изучены условия образования нитридов, существенно влияющих на свойства стали [24].

Под руководством А.М. Самарина и А.Ю. Полякова были проведены исследования термодинамических свойств растворов серы в расплавах железа, никеля и сплавах на их основе (Р.А. Карасевым, Ван Цзин-Таном, В.И. Кашиным, В.Т. Бурцевым, В.Я. Дашевским, В. Рихлингом) [25–27] и процессов глубокой десульфурации металлических расплавов (Р.А. Карасевым, А.Е. Хлебниковым, Б.В. Линчевским, Г.А. Гарнык, С.Е. Волковым, В.М. Побегайло, В.Т. Бурцевым, В.Г. Глебовским, В.Е. Сказиным, В.Н. Зеленовым) [28–32].

Подруководством А.М. Самарина Г.П. Колесниковой, В.П. Федотовым и М.С. Складенко был выполнен большой цикл работ по изучению свойств чистого железа и методов получения его, поскольку чистое железо необходимо было для проведения широкой гаммы исследований физико-химических параметров расплавов на основе железа [33, 34].

Одним из важных направлений научной деятельности А.М. Самарина и его учеников и сотрудников (Ю.Т. Лукашевич-Дувановой, В.А. Мчедлишвили, Е.С. Калининским, Г.А. Любимовой, В.А. Уразовой, О.В. Димант) являлись исследования состава неметаллических включений различными методами анализа: оптического, электролитического растворения, металлографического, рентгеноструктурного и рентгеноспектрального. Полученные результаты в сочетании с различными вариантами технологии выплавки как простых, так и легированных марок стали позволили дать рекомендации по использованию комплексных раскислителей и высказать предположения о механизме удаления неметаллических включений [35–38].

А.Ю. Поляковым, В.В. Авериным, В.И.Кашиным, О.Д Молдавским, К.П. Бзиавой был изучен комплекс физико-химических процессов взаимодействия неметаллических включений со шлаками, используемыми в различных процессах плавки и разливки (электрошлаковый переплав, разливка стали под шлакообразующими брикетами и теплоизолирующими смесями), что позволило высказать рекомендации по подбору составов шлаков для обеспечения более глубокого рафинирования металла и повышения его качества [39, 40].

В.И. Кашиным, В.Т. Бурцевым, А.В. Ревякиным, Г.-И. Филиппом, Л.Б. Кузнецовым был проведен цикл исследований по изучению влияния низких давлений на полноту и скорость протекания основных металлургических реакций при производстве стали и чистых металлов. В настоящее время давление в вакуумных металлургических агрегатах может быть снижено в 10^8 раз по сравнению с атмосферным давлением, поэтому многие реакции, идущие с образованием газообразных продуктов, протекают гораздо полнее в вакууме [41, 42].

А.М. Самариним и его учениками был внесен большой вклад в дело изучения процесса разливки стали. В начале 60-х годов появились сведения о возможности применения при разливке стали синтетических шлакообразующих брикетов, предупреждающих вторичное окисление металла. Под руководством А.М. Самарина сотрудниками лаборатории (А.П. Проновым, В.И. Кашиным, В.В. Авериным) совместное с Волгоградским металлургическим заводом «Красный Октябрь» были проведены исследования по разливке стали с применением экзотермических шлакообразующих брикетов, что позволило существенно улучшить качество получаемого металла [43].

Под руководством А.М. Самарина А.Ю. Поляковым и В.М. Побегайло были выполнены исследования по выплавке нержавеющей стали в кислородном конвертере. Впервые был осуществлен процесс получения нержавеющей низко- и среднеуглеродистых хромистых и хромоникелевых сталей в кислородном конвертере с применением высокоуглеродистого феррохрома [44]. В настоящее время во всем мире производство нержавеющей и других коррозионностойких сталей осуществляется в конвертерах методом аргонокислородного рафинирования. Результаты исследований, проведенных сотрудниками лаборатории, были использованы зарубежными специалистами.

Важной проблемой, решенной под руководством А.М. Самарина и А.Ю. Полякова, был проект перевода конвертеров дуплекс-цеха Чусовского металлургического завода с нижнего воздушного на верхнее сухое и увлажненное воздушное дутье. Подкрепленный лабораторными и промышленными исследованиями, проведенными А.Ю. Поляковым и В.М. Побегайло, способ верхней воздушной продувки был принят заводом для промышленного использования [45].

В 50-х годах началось широкое развитие кислородно-конвертерного процесса производства стали. А.М. Самарин оценил огромные возможности этого процесса. Под его руководством в лаборатории и на металлургических заводах А.Е. Хлебниковым и Н.П. Левенцом были проведены обширные исследования по сложной проблеме переработки высокофосфористых и хромоникелевых чугунов в конвертерах с кислородной продувкой. Н.П. Левенцом и Г.А. Лопуховым были выполнены исследования по изучению окислительных процессов в реакционной зоне, температурных условий реакционной зоны, образованию пыли при продувке металла кислородом, окисления углерода в объеме расплава и в зоне кислородных струй и др. [46, 47].

В лаборатории большое внимание уделялось проблеме разработки методов улучшения качества электротехнических сталей. Под руководством А.М. Самарина Г.А. Гарнык, Г.Ф. Радкевич и А.М. Корешковой в лаборатории и на заводах «Электросталь» и «Днепроспецсталь» был проведен цикл работ по выплавке трансформаторной стали с применением вакуума. В результате были снижены удельные потери энергии в листе и была показана возможность организации производства трансформаторной стали с повышенным содержанием кремния для специальных трансформаторов [48].

С начала 50-х годов под руководством А.М. Самарина в лаборатории проводятся исследования по вакуумным углеродотермическим процессам. При реализации этих процессов была показана возможность восстановления оксидов ванадия и хрома углеродом в вакууме с получением чистых металлов. А.Ю. Поляковым, А.А. Вертманом, В.И. Кашиным и М.С. Макуниным был проведен комплекс исследований по кинетике и термодинамике процессов восстановления, фазовых переходов, влияния температуры и давления, что позволило определить условия, необходимые для получения чистого пластичного, ковкого ванадия и чистого хрома [49, 50].

Под руководством А.М. Самарина А.Ю. Поляков, Б.В. Линчевский, В.И. Кашин, Г.Н. Окорочков и С.Е. Волков провели обширные исследования процессов выплавки и рафинирования шарикоподшипниковой стали, жаростойких, жаропрочных и нержавеющей сталей, а также тугоплавких металлов, таких как молибден, вольфрам, тантал, рений и сплавов на их основе, в вакуумных индукционных и вакуумных дуговых печах и в процессе электрошлакового переплава. Были исследованы энергетические параметры процессов плавления и физико-химические закономерности процессов рафинирования [51, 52].

Исследование закономерностей процессов плавления и рафинирования тугоплавких металлов в дуговых и электронно-лучевых печах позволило создать новые технологические процессы получения сплавов, которые успешно применяются в различных отраслях новой техники. Особое внимание было сосредоточено на получении чистых вольфрама

и молибдена и сплавов вольфрама с рением. Из выплавленных в лаборатории слитков чистого литого вольфрама были изготовлены контейнеры для получения искусственных кристаллов – фианитов. В тоже время под руководством А.М. Самарина А.В. Ревякин, В.И. Кашин, М.С. Макунин, Л.Н. Козина и Г.Х. Васюков исследовали физико-химические закономерности взаимодействия тугоплавких металлов с газами и углеродом, а также процессы рафинирования и кристаллизации этих металлов и сплавов на их основе. Проведенные исследования позволили решить проблему получения пластичных ниобия, тантала и ванадия [53–55].

Под руководством А.М. Самарина А.Ю. Поляковым, В.Я. Дашевским, Ю.Д. Кузьминым изучен механизм взаимодействия кислорода с углеродом и шлакообразующими элементами в сталеплавильной ванне. Показано, что окисление шлакообразующих элементов осуществляется путем протекания реакций взаимодействия их с закисью железа, а окисление углерода осуществляется путем взаимодействия с кислородом, растворенным в металле [56].

Одним из главных научных направлений деятельности в лаборатории было изучение строения и свойств металлических расплавов. Научно обоснованная теория жидкого состояния имеет огромное значение не только для современной физики, но и для многих ее технических приложений, в частности для металлургии. А.А. Вертманом, Е.С. Филипповым, Абу Эль-Хасаном Котб Абдельазизом, И.С. Ивахненко и В.А. Измайловым под руководством А.М. Самарина проведены исследования по изучению физических свойств металлических расплавов. В связи с важностью подобных исследований по инициативе А.М. Самарина на заводе «Водоприбор» был создан филиал лаборатории под руководством А.А. Вертмана, в котором проводились исследования по определению физических структурно-чувствительных характеристик многих чистых металлов и сплавов [57, 58].

С начала 60-х годов в лаборатории серьезное внимание уделялось решению одной из важнейших проблем черной металлургии — разработке эффективных процессов получения низкофосфористых марганцевых ферросплавов на базе изучения физико-химических свойств расплавов на основе марганца. Одним из направлений деятельности А.М. Самарина и Я.В. Дашевского в это время была координация научно-исследовательских работ по совершенствованию существующих и созданию новых технологических процессов обогащения и дефосфорации марганцевых руд, окускования получаемых концентратов и выплавки из них стандартных марганцевых ферросплавов [59]. Необходимость проведения этой работы была вызвана тем, что из-за низкого качества отечественных марганцевых руд содержание фосфора в получаемых из них марганцевых ферросплавах находилось на пределе допустимого и выше, а процесс их производства характеризовался низким извлечением марганца и повышенным расходом электроэнергии. Работа проводилась в тесном контак-

те с горно-обогатительными комбинатами, ферросплавными заводами, учебными и научно-исследовательскими институтами страны.

После кончины А.М. Самарина в 1970 г. коллектив лаборатории продолжал проведение научных исследований с целью решения проблем, поставленных перед лабораторией А.М. Самариним. Получили успешное завершение ряд работ, начатых под его руководством, были углублены и расширены исследования фундаментальных физико-химических свойств металлических расплавов на основе современных методик. Проведенные В.Я. Дашевским, Я.В. Дашевским, В.И. Кашиным, А.М. Кацнельсоном, М.С. Агеевым, Н.И. Ракитиной исследования термодинамики растворов фосфора, кремния, серы и углерода в расплавах на основе марганца, физико-химических свойств марганецсодержащих оксидных систем и их фазового состава, закономерностей распределения фосфора и серы между металлической и шлаковой фазами, процессов рафинирования расплавов на основе марганца от фосфора и серы и анализ работы промышленных предприятий были положены в основу при разработке эффективной ресурсосберегающей технологии получения марганцевых ферросплавов, успешно прошедшей проверку в условиях Никопольского и Запорожского заводов ферросплавов (В.Я. Дашевский, А.М. Кацнельсон, О.Н. Турпак, К.С. Филиппов, К.В. Григорович, А.Г. Каневский, Л.М. Сойфер) [60–62].

Получили дальнейшее развитие работы по исследованию кинетики процессов обезуглероживания и раскисления низкоуглеродистой стали при вакуумной обработке в ковше с получением высокопластичной стали и технически чистого железа (Л.М. Новик, А.И. Лукутин, Е.З. Кацов, А.Г. Каневский, В.В. Пркопенко, Д.Е. Губарев) [63, 64]. Была установлена высокая эффективность этого процесса при производстве электротехнических, конструкционных и рельсовой сталей. Были проведены исследования процесса вакуумной обработки кислородно-конвертерной рельсовой стали перед непрерывной разливкой и проведена сравнительная оценка качества непрерывнолитых заготовок, отлитых из вакуумированной и невакуумированной рельсовой кислородно-конвертерной стали. Выявлены закономерности глубокого вакуумного обезуглероживания нераскисленного металла в ковше при производстве малолегированной электротехнической стали с особо низким содержанием углерода.

В филиале лаборатории под руководством А.А. Вертмана, а затем В.И. Кашина и И.С. Ивахненко были продолжены исследования по изучению структурно-чувствительных свойств расплавов различных составов и возможных применений результатов этих исследований в практических технологиях (Л.М. Сойфер, В.А. Измайлов, Л.Д. Круглов, И.П. Мардыкин, А.П. Андреев) [65–67].

Под руководством В.И. Кашина в эти годы был проведен большой объем исследований по изучению физико-химических свойств тугоплавких металлов и процессов их выплавки. Изучены вопросы взаимодействия молибдена и вольфрама с рением, алюминием, титаном, цирконием и

углеродом; исследовано газовыделение из молибдена и вольфрама при их плавлении (В.Т. Бурцев, Е.Л. Клибанов); изучена природа неметаллических включений в литых вольфраме, молибдене и их сплавах с рением (П.А. Черкасов, М.С. Агеев); исследовано взаимодействие расплавов вольфрама и молибдена с газообразным кислородом (Е.Л. Клибанов, А.Г. Цилюсани); определены особенности взаимодействия кислородсодержащих смесей с расплавами тугоплавких металлов при плазменно-дуговых процессах (В.Г. Семенов, Н.И. Виноградов); исследован процесс и разработана технология выплавки сплавов молибдена и вольфрама с рением [68].

Были продолжены исследования термодинамики взаимодействия кислорода с легирующими элементами в металлических расплавах, термодинамики и кинетики взаимодействия азота с расплавленными металлами триады железа (В.В. Аверин, В.И. Федорченко, Е.М. Кузнецов). Проведены исследования растворимости кислорода и азота в тугоплавких металлах: ванадии, ниобии, хrome, молибдене и вольфраме (А.В. Ревякин, Л.Н. Козина, Л.Б. Кузнецов). Изучены процессы дегазации расплавов железо–хром и железо–хром–никель в вакууме и оптимизации аргонокислородной обработки нержавеющей стали (А.В. Ревякин, А.Г. Каневский, М.М. Громова) [69–72].

Были изучены процессы, протекающие при изготовлении биметалла железо–алюминий методом холодной прокатки с большой степенью вытяжки. Показано, что сталь для алюминирования, обладающая устойчивостью против образования в зоне контакта хрупких интерметаллических соединений алюминия и железа, должна содержать в некоторых количествах кислород, не связанный в прочные оксиды (М.С. Макунин, В.И. Желаднов) [73].

Продолжены исследования природы неметаллических включений и их влияния на свойства стали, в частности изучен процесс изменения сульфидных включений при микролегировании стали и процесс плазменно-дугового передела металла в контролируемых средах (В.В. Аверин, С.И. Губенко) [74].

Был проведен большой объем исследований по разработке методов получения аморфных сплавов, создана оригинальная установка для сверхбыстрой закалки жидких аморфных сплавов методом спиннингования (А.В. Ревякин, А.Г. Каневский, А.В. Изманов) [75].

Получили развитие работы по исследованию взаимодействия жидкого металла с газами и шлаками. Были созданы оригинальные методики исследования с использованием плавки во взвешенном состоянии и современных методов анализа газов в металлах (В.Т. Бурцев, Ю.Д. Кузьмин, Л.Н. Панкратьева, А.М. Григорьев). Исследована растворимость кислорода в углеродсодержащих расплавах на основе железа, кобальта и никеля в широком диапазоне концентраций и температур. Изучены процессы рафинирования фосфористых чугунов и расплавов, содержащих хром и

углерод, при обработке их шлаками нетрадиционного состава на основе оксидов, фторидов и хлоридов алюминия, бария, кальция и натрия в слабо окислительной атмосфере [76].

Под руководством А.Ю. Полякова В.Я. Дашевским и Н.Н. Макаровой было проведено исследование закономерностей образования бурого дыма при взаимодействии жидких сплавов железо–углерод с кислородом. Было установлено, что основой бурого дыма являются капли металла, выбрасываемые из ванны пузырьками окиси углерода, образующейся в результате взаимодействия растворенных в металле углерода и кислорода, а также в значительно меньшей степени брызги металла, выносимые в атмосферу из кратера ванны под влиянием динамического воздействия струи кислорода [77, 78].

Были продолжены исследования термодинамики растворов серы в металлических расплавах. Под руководством А.Ю. Полякова и В.Я. Дашевского К.В. Григоровичем были изучены растворы серы в жидком кобальте и сплавах на его основе. Показано, что в области разбавленных растворов кобальт обладает меньшим сродством к сере, чем железо и никель. Полученные результаты позволили выявить общие закономерности растворов серы в металлах триады железа [79].

Р.А. Карасевым и К.С. Филипповым изучены межфазные явления в системе железо–углерод–кислород. Проведено моделирование процесса роста и растворения газового пузыря. Предложен подход к оценке рафинирующей способности шлаков, используемых для очистки расплавов от оксидных включений [80].

Проведено исследование кинетики насыщения жидкого металла водородом при продувке сталеплавильной ванны природным газом и дегазации металла продувкой инертным газом (В.И. Кашин, В.М. Побегайло, П.А. Черкасов, Н.Н. Макарова Л.Н. Панкратьева), определены константы скорости насыщения и дегазации водорода для изученных расплавов [81].

Рост доли металлического лома в шихтовых материалах сталеплавильного производства приводит к загрязнению металлопродукции примесями цветных металлов, в частности меди. А.М. Кацнельсоном и Л.М. Сойфером под руководством В.И. Кашина была изучена физико-химия процессов рафинирования стали от меди и определены основные закономерности поведения меди и серы при обработке расплавов железа сульфидом натрия. Показано, что удаление меди из расплавов железа может осуществляться шлаками на основе сульфида натрия, при этом получение металла с относительно низких содержаниях меди и серы возможно в достаточно широком интервале температур при наличии высоких концентраций углерода в металле [82].

Проведено согласованное описание результатов измерения различных физико-химических характеристик расплавов (полученных экспериментально и литературных данных) для целого ряда систем на

основе железа, марганца, никеля, меди и др. Для описания термодинамических свойств расплавов различных систем использовали модель идеальных ассоциированных растворов и современное программное обеспечение разработанное совместно с сотрудниками факультета вычислительной математики и кибернетики (ВМК) МГУ им. М.В. Ломоносова (А.М. Кацнельсон, А.С. Крылов, В.Я. Дашевский, К.В. Григорович, А.Э. Туговигов) [83, 84].

Проведен комплекс исследований по изучению свойств кальций-боратных шлаковых расплавов с целью использования их в процессах рафинирования и при непрерывной разливке стали, созданы композиции шлаковых смесей, расплавы которых были использованы для очистки стальных деталей от окалины (В.И. Кашин, Л.М. Сойфер, А.Э. Туговигов) [85].

На основе анализа неизотермического восстановления оксидов в насыщенном углеродом расплаве совместно с сотрудниками ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова разработана физико-химическая модель проведения фракционного газового анализа (ФГА) (К.В. Григорович, А.С. Крылов). На примере анализа модельных сплавов проведены исследования основных параметров и механизма процесса восстановления оксидных неметаллических включений при ФГА. Сформулированы основные физико-химические принципы анализа и процесса идентификации оксидных включений в процессе анализа. Предложена идеология метода ФГА и разработан программное обеспечение для современных газоанализаторов [86].

В рамках совместной работы с фирмой “Sumitomo Metal Industries Ltd.” (Япония) был проведен цикл работ по исследованию растворов кислорода в металлических расплавах. Был проведен термодинамический анализ растворов кислорода в расплавах железо-никель и железо-никель-хром и экспериментально изучен процесс раскисления этих сплавов различными элементами (В.И. Кашин, В.Я. Дашевский, А.М. Кацнельсон, В.К. Григорович, Н.Н. Макарова, А.Г. Каневский, М.С. Агеев) [87–89]. Разработан и сконструирован оригинальный высокотемпературный калориметрический комплекс для исследования теплоты образования растворов как с сильным, так и со слабым взаимодействием. Изучена предельная растворимость кислорода в расплавах никель-хром (К.В. Григорович, П.В. Красовский) [90].

Продолжаются исследования термодинамики растворов кислорода в бинарных расплавах на основе 3-d переходных металлов в широком диапазоне содержаний и температур и влияния на растворимость и термодинамическую активность кислорода элементов, наиболее часто употребляемых для раскисления и легирования сталей и сплавов (В.Я. Дашевский, А.А. Александров) [91, 92].

Ведутся исследования в рамках проблемы вовлечения в производство отечественных марганцевых руд, разработки новых процессов выплав-

ки марганцевых ферросплавов, повышения степени полезного извлечения марганца на всех стадиях передела от руды до готовых ферросплавов (В.Я. Дашевский, А.А. Александров) [93–95].

Среди приоритетных направлений исследований остается изучение процессов рафинирования металлических расплавов от вредных примесей (десульфурации, дефосфорации, обезуглероживания, дегазации) и изучение структурно-чувствительных характеристик металлических расплавов. Изучено взаимодействие наночастиц с капиллярно-активным веществом – серой (В.Т. Бурцев, С.Н. Анучкин) [96], исследован процесс десульфурации жидкого чугуна при обработке расплава шлаком процесса выплавки металлического марганца (В.Я. Дашевский, А.А. Александров) [97]. Исследован процесс дефосфорации марганецсодержащего оксидного расплава газообразным монооксидом углерода (В.Я. Дашевский, А.А. Александров) [98]. Изучен процесс глубокого обезуглероживания стали при продувке расплава смесью газов аргон–водород и последующей обработкой расплава в вакууме (В.Я. Дашевский, М.А. Макаров, А.А. Александров) [99]. Исследованы температурные зависимости структурных параметров плотности и поверхностного натяжения в расплавах никеля, содержащих различные легирующие элементы (К.С. Филиппов) [100].

В заключение следует отметить, что лаборатория «Физикохимии металлических расплавов» заслужено считается одной из ведущих школ высококвалифицированных научных кадров в области теории и практики металлургических процессов. Под научным руководством А.М. Самарина и А.Ю. Полякова, а в последствии их учеников А.А. Вертмана, В.В. Аверина, В.И. Кашина, В.Я. Дашевского, В.Т. Бурцева, К.В. Григоровича было выполнено более 70-ти диссертационных работ, авторам которых было присвоена ученая степень кандидата технических наук. За период существования лаборатории диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук защитили сотрудники и воспитанники лаборатории: А.Ю. Поляков, А.А. Вертман, Б.В. Линчевский, Е.С. Калинин, В.В. Аверин, Г.Н. Огороков, В.И. Кашин, В.Я. Дашевский, В.Т. Бурцев, В.Г. Глебовский, В.А. Измайлов, К.В. Григорович, а Р.А. Карасеву была присвоена ученая степень доктора наук (Doctor of Science) после окончания докторантуры Массачусетского технологического института (США).

Коллектив лаборатории неоднократно участвовал в конкурсах на соискание гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (1997, 2000, 2003, 2006 гг.) и представлял основанную академиком А.М. Самариним школу «Физикохимия высокотемпературных металлических и оксидных расплавов» (научный руководитель школы академик Н.П. Лякишев). Во всех конкурсах коллектив выходил победителем.

Научные исследования, проводимые сотрудниками лаборатории, постоянно получают поддержку Российского фонда фундаментальных исследований. Сотрудники лаборатории активно участвуют в выполнении научных программ, выполняемых по Постановлениям Президиума РАН.

Сотрудниками лаборатории опубликовано более 1500 статей в отечественных и зарубежных журналах и сборниках, получено более 100 авторских свидетельств на изобретения и патентов. За прошедшие годы были опубликованы более 20 монографий, написанных сотрудниками лаборатории, самостоятельно или в соавторстве. Издательством «Наука» были опубликованы три сборника трудов сотрудников лаборатории. В 2000 г. вышел в свет «Энциклопедический словарь по металлургии» в 2-х томах (гл. редактор академик Н.П. Лякишев), написанный коллективом авторов – сотрудников различных научно-исследовательских и учебных институтов и подготовленный к печати редакционным советом, в том числе сотрудниками лаборатории (В.И. Кашиным, Н.Н. Макаровой, Н.И. Ракитиной).

Коллектив лаборатории принимал непосредственное участие в организации и проведении большого числа научно-технических конференций: I–XIII Всесоюзных конференций по физико-химическим основам металлургических процессов; I–IX Советско-японских симпозиумов; I–V Всесоюзных совещаний по металлургии марганца; I–IV Всесоюзных совещаний по применению вакуума в металлургии; I и II Всесоюзных совещаний по экспериментальной технике; I–V Советско-германских симпозиумов; I и II Советско-шведских симпозиумов; Симпозиума по свойствам металлических расплавов; Советско-чехословацкого симпозиума; Всесоюзной конференции по непрерывным процессам выплавки металлов, I–III Международных конференций «Российская ферросплавная конференция» и др. Были подготовлены к печати более 30 сборников трудов этих конференций.

Многие научные исследования, проводимые в лаборатории, выполнялись в тесном сотрудничестве с научно-исследовательскими и учебными институтами: Институтом металлургии УрО РАН, Всероссийским институтом авиационных материалов, Московским государственным вечерним металлургическим институтом, Национальным исследовательским технологическим университетом «МИСиС», ЦНИИ черной металлургии им. И.П. Бардина, ЦНИИ тяжелого машиностроения, Национальной металлургической академией Украины, Институтом металлургии АН Грузии, Химико-металлургическим институтом (Казахстан), институтом Механобрчермет (Украина) и металлургическими предприятиями: заводами «Электросталь» и «Днепроспецсталь», Никопольским и Запорожским заводами ферросплавов (Украина), Ново-Липецким, Магнитогорским и Череповецким металлургическими комбинатами, Златоустовским и Волгоградским металлургическими заводами, заводом «Тулачермет».

Большое число научных и практических разработок сотрудников лаборатории было внедрено в производство. Авторы наиболее значительных работы были отмечены премиями: премией Совета Министров СССР (1985 г. — А.В. Ревякин; 1990 г. — В.Я. Дашевский, В.И. Кашин); премией Правительства Российской Федерации (1997 г. — В.Я. Дашевский, В.И. Кашин); премией Ленинского комсомола (1989 г. — А.М. Кацнельсон, А.Э. Туговиков); премией Президиума Академии наук СССР (1953 г. — А.М. Самарин, А.Ю. Поляков; 1955 г. — А.М. Самарин, Л.М. Новик; 1961 г. — А.М. Самарин, Р.А. Карасев, В.И. Кашин), премией имени И.П. Бардина Российской академии наук (2010 г. — В.Я. Дашевский).

Библиография

1. Поляков А.Ю., Самарин А.М. К вопросу о раскислительной способности ванадия // Изв. АН СССР. ОТН. 1949. № 1.
2. Мозговой В.С., Самарин А.М. Растворимость азота в жидком хrome и расплавах хрома и кремния // ДАН. 1950. Т. 74. № 4.
3. Поляков А.Ю., Самарин А.М. Физико-химические закономерности процессов извлечения ванадия из ванадистых чугунов // Комплексное использование пудожгорских титано-магнетитов на основе их электроплавки. М.: Изд-во АН СССР. 1951.
4. Карасев Р.А., Поляков А.Ю., Самарин А.М. Растворимость и активность кислорода в расплавах железа и ванадия // ДАН. 1952. Т. 85. № 6.
5. Карасев Р.А., Самарин А.М. К вопросу об активностях углерода и кислорода в расплавах железо-углерод-кислород // Изв. АН СССР. ОТН. 1953. № 8.
6. Линчевский Б.В., Самарин А.М. Окисление хрома, растворенного в жидком железе // ДАН. 1953. Т. 89. № 4.
7. Ляудис Б.К., Самарин А.М. Растворимость кислорода в жидком железе, содержащем титан // ДАН. 1955. Т. 101. № 2.
8. Самарин А.М. Физико-технические основы раскисления стали. М.: Изд-во АН СССР. 1956.
9. Аверин В.В., Поляков А.Ю., Самарин А.М. Активность кислорода в жидком железе // Физико-химические основы производства стали. М.: Изд-во АН СССР. 1957.
10. Бужек З., Самарин А.М. Влияние серы на растворимость кислорода в жидком железе // ДАН. 1957. Т. 114. № 1.
11. Шарф Г., Аверин В.В., Поляков А.Ю., Самарин А.М. Влияние кремния на растворимость и активность кислорода в жидком никеле // Изв. вузов. Черная металлургия. 1958. № 11.
12. Черкасов П.А., Аверин В.В., Самарин А.М. Влияние марганца на растворимость кислорода в никеле и железо-никелевых расплавах // Физико-химические основы производства стали. М.: Изд-во АН СССР. 1961.
13. Линчевский Б.В., Самарин А.М. Растворимость кислорода в расплавах железо-хром и железо-хром-никель // Изв. АН СССР. 1953. ОТН. № 5.

14. Новик Л.М., Гончаренко Н.И., Трегубенко А.Ф., Самарин А.М. Обработка жидкого металла в вакууме // Сталь. 1956. № 8.
15. Самарин А.М. Вакуумная металлургия. М.: Металлургиздат. 1958.
16. Самарин А.М. Обработка жидкой стали в вакууме. М.: Металлургиздат. 1960.
17. Лукутин А.И., Новик Л.М., Самарин А.М. Обработка бессемеровской стали в вакууме // Применение вакуума в металлургии. М.: Изд-во АН СССР. 1960.
18. Самарин А.М. Некоторые проблемы вакуумной металлургии // Вакуумная металлургия. М.: Металлургиздат. 1962.
19. Мозговой В.С., Самарин А.М. Растворимость азота в расплавах хрома и углерода; хрома и железа; хрома, железа и углерода // Физико-химические основы производства стали. М.: Изд-во АН СССР. 1957.
20. Федотов В.П., Самарин А.М. Растворимость азота в жидком железе и расплавах железа и кремния // ДАН. 1958. Т. 122. № 4.
21. Аверин В.В., Черкасов П.А., Самарин А.М. Растворимость азота в жидком кобальте и расплавах кобальт-титан и кобальт-молибден // ДАН. 1966. Т. 169. № 6.
22. Федорченко В.И., Аверин В.В., Самарин А.М. Растворимость азота в жидком никеле и расплавах никель-хром, никель-молибден и никель-вольфрам // ДАН. 1968. Т. 183. № 4.
23. Козина Л.Н., Ревякин А.В., Самарин А.М. Растворимость азота в жидких ниобии и молибдене // ДАН. 1969. Т. 184. № 2.
24. Аверин В.В., Ревякин А.В., Федоренко В.И., Козина Л.Н. Азот в металлах. М.: Металлургия. 1976.
25. Бурцев В.Т., Карасев Р.А., Самарин А.М. Давление пара серы над расплавами железо – сера // Изв. АН СССР. ОТН. Металлургия и топливо. 1962. № 2.
26. Дашевский В.Я., Поляков А.Ю. Термодинамическая активность серы в расплавах на основе никеля // Изв. АН СССР. Металлы, 1966, №5.
27. Рихлинг Р., Кашин В.И., Самарин А.М. Удаление серы из жидкого никеля в вакууме // Физико-химические основы производства стали. М.: Наука. 1964.
28. Бурцев В.Т., Карасев Р.А., Самарин А.М. Десульфурация жидких сплавов железа в вакууме // Применение вакуума в металлургии. М.: Изд-во АН СССР. 1960.
29. Побегайло В.М., Хлебников А.Е., К вопросу о десульфурации передельного мартеновского чугуна известковыми смесями в вакууме // Изв. АН СССР. ОТН. Металлургия и топливо. 1962. № 5.
30. Афанасьев Ю.М., Линчевский Б.В., Поляков А.Ю., Самарин А.М. Применение шлаков для десульфурации стали в вакуумных индукционных печах // Изв. АН СССР. Металлургия и горное дело. 1963. № 3.
31. Гарнык Г.А., Самарин А.М. Раскисление и десульфурация в вакууме // Изв. АН СССР. ОТН. 1957. № 5.
32. Бурцев В.Т., Глебовски В.Г., Поляков А.Ю., Самарин А.М. Распределение серы и кислорода между железом и известково-глиноземистым шлаком

- при плавке во взвешенном состоянии // Изв. АН СССР. Металлы. 1965. № 6.
33. Колесникова Т.П., Самарин А.М. Влияние марганца, хрома и ванадия на поверхностное натяжение жидкого железа // Изв. АН СССР. ОТН. 10956. № 5.
 34. Скляренко М.С., Федотов В.П. Метод получения чистого железа и некоторые его свойства // Применение вакуума в металлургии. М. Изд-во АН СССР. 1963.
 35. Лукашевич-Дуванова Ю.Т., Димант О.В., Самарин А.М. Структура окисных пленок и неметаллических включений в хромистых сплавах // Физико-химические основы производства стали. М.: Изд-во АН СССР. 1960.
 36. Мчедlishvili В.А., Любимова Г.А., Самарин А.М. Взаимодействие между марганцем и серой в твердом железе // Физико-химические основы производства стали. М.: Изд-во АН СССР. 1960.
 37. Уразова В.А., Левенец Н.П., Самарин А.М. Неметаллические включения в системе Fe-P-O // Изв. АН СССР. Металлы. 1966. № 6.
 38. Калинин Е.С., Самарин А.М. Влияние футеровки ковшей и желобов на загрязнение шарикоподшипниковой стали включениями // Применение радиоактивных изотопов в металлургии. (Моск. ин-т стали, сб. 34). М.: Металлургиздат. 1955.
 39. Kashin V.I., Moldavskii O.D., Shpizberg V.M., Samarин A.M. Einfluss des oxydations-potentials der Gasphase // Freiburger Forschungshefte Eisenh tt. 126. 1967.
 40. Бзиава К.П., Аверин В.В., Самарин А.М. Метод исследования процесса ассимиляции неметаллических включений жидкими шлаками // Физико-химические основы производства стали. (К 100-летию открытия Д.К. Черновым полиморфизма железа). М.: Наука. 1971.
 41. Бурцев В.Т., Вертман А.А., Филипп Г.-И., Самарин А.М. Влияние температуры и модифицирования на газовыделение из жидкого чугуна // Литейное производство. 1965 № 5.
 42. Кузнецов Л.Б., Лопухов Л.Б., Ревякин А.В., Самарин А.М. Раскислительная способность углерода при бестигельной плавке // ДАН. 1969. Т. 186. № 5.
 43. Пронов А.П., Аверин В.В., Самарин А.М. и др. Улучшение качества слитка применением шлакообразующих экзотермических брикетов при разливке стали // Первое совещание по литейным свойствам сплавов. М. 1966.
 44. Поляков А.Ю., Побегайло В.М., Самарин А.М. Разработка основ процесса выплавки нержавеющей и низкоуглеродистых хромистых конструкционных сталей в кислородном конвертере // Изв. АН СССР. Металлы. 1970. № 6.
 45. Авторское свид. № 235055. Бюлл. изобрет. 1969. № 5. Способ передела ванадиевых чугунов / М. В. Приданцев, А.Ю. Поляков, В.М. Побегайло, А.М. Самарин и др.
 46. Левенец Н.П., Побегайло В.М., Хлебников А.Е., Самарин А.М. Окисление хрома и фосфора при продувке металла кислородом сверху // Физико-химические основы производства стали. М.: Изд-во АН СССР. 1961.
 47. Лопухов Г.А., Левенец Н.П., Самарин А.М. Температуры реакционной зоны при продувке чугуна кислородом // Изв. АН СССР. Металлы. 1966. № 1.

48. Гарнык Г.А., Самарин А.М. Выплавка трансформаторной стали в вакуумных печах // Применение вакуума в металлургии. М.: Изд-во АН СССР. 1958.
49. Вертман А.А., Самарин А.М. Получение хрома и безуглеродистого феррохрома методом вакуумспекания // Труды ИМЕТ. Вып. I. М.: Изд-во АН СССР. 1957.
50. Поляков А.Ю., Макунин М.С., Самарин А.М. Свойства ванадия, полученного методом углетермического восстановления в вакууме // Изв. АН СССР. ОТН. Металлургия и топливо. 1959. № 2.
51. Огороков Г.Н., Поляков А.Ю., Линчевский Б.В., Самарин А.М. Опыт переплава шарикоподшипниковой стали в вакуумной дуговой печи // Вестн. АН СССР. 1958. № 11.
52. Кашин В.И., Сюч П., Огороков Г.Н., Самарин А.М. Влияние переплава быстрорежущей стали Р18 в вакуумной дуговой печи на качество стали // Исследования металлов в жидком и твердом состояниях. М.: Наука. 1964.
53. Козина Л.Н., Ревякин А.В., Самарин А.М. Термодинамический анализ раскисления жидкого молибдена // ДАН. 1970. Т. 190. № 4.
54. Батырев В.А., Васюков Г.Х., Круглова Е.В., Кашин В.И., Лукашевич-Дуванова Ю.Т., Самарин А.М. Неметаллические включения в литом и металлокерамическим вольфраме // Изв. АН СССР. Металлы. 1967. № 6.
55. Сундырев И.А., Фалалеева З.А., Эпов Г.А., Кокоев Л.Н., Макунин М.С., Самарин А.М. Влияние малых добавок вольфрама на свойства гарниссажного молибдена // Тез. доклада «Всес. совещ. по химии молибдена и вольфрама». Орджоникидзе: Изд-во Северо-Осетинской АССР. 1970.
56. Поляков А.Ю., Дашевский В.Я., Кузьмин Ю.Д., Ким Е.К., Самарин А.М. Исследование механизма взаимодействия кислорода с углеродом и шлакообразующими элементами в сталеплавильной ванне // Изв. АН СССР. Металлы. 1970. № 5.
57. Вертман А.А., Филиппов Е.С., Самарин А.М. Вязкость и электропроводность жидких сплавов никеля с углеродом // Изв. АН СССР. ОТН. Металлургия и топливо. 1962. № 6.
58. Измайлов В.А., Самарин А.М. О микрогетерогенности чугуна // ДАН. 1969. Т. 185. № 6.
59. Дашевский Я.В., Матвеев Н.В., Самарин А.М. Совершенствование технологии производства марганцевых сплавов // Изв. АН СССР. Металлы. 1967. № 4.
60. Дашевский В.Я., Дашевский Я.В., Кашин В.И. и др. Выплавка низкофосфоритого углеродистого ферромарганца с использованием концентрата химического обогащения // Сталь. 1987. № 4.
61. Дашевский В.Я., Кацнельсон А.М., Григорович К.В., Крылов А.С., Кашин В.И. Термодинамические свойства расплавов марганец – фосфор и марганец – кремний // Теория и практика металлургии марганца. М.: Наука. 1990.
62. Дашевский В.Я., Кацнельсон А.М., Григорович К.В., Крылов А.С., Ракитина Н.И., Кашин В.И. Растворимость серы в расплавах на основе марганца // Теория и практика металлургии марганца. М.: Наука. 1990.

63. Новик Л.М., Лукутин А.И., Кацов Е.З. Физико-химические закономерности процессов раскисления, обезуглероживания и дегазации стали при внепечной вакуумной обработке // И. П. Бардин и развитие металлургии в СССР. М.: Наука. 1976.
64. Лукутин А.И., Кацов Е.З., Новик Л.М. и др. Сравнительная оценка качества непрерывнолитых заготовок, отлитых из вакуумированной и невакуумированной рельсовой кислородно-конвертерной стали // Закономерности взаимодействия жидкого металла с газами и шлаками. М.: Наука. 1976.
65. Соيفер Л.М., Измайлов В.А., Кашин В.И.. Электросопротивление сплавов Ag-Ge в твердом и жидком состояниях // Теплофизика высоких температур. XII. 1974. № 3.
66. Андреев А.П., Измайлов В.А., Смирнов К.В., Кашин В.И. Исследование влияния иттрия на структуру чугуна // Литейное производство. 1974. № 8.
67. Чирвинский С.С., Ивахненко И.С., Вертман А.А. Кинорегистрация процессов восстановления железа из рудно-топливных окатышей в шлаке в рентгеновском излучении // Новые методы исследования процессов восстановления черных металлов. М.: Наука. 1974.
68. Кашин В.И., Клибанов Е.Л., Семенов В.Г., Виноградов Н.И. Взаимодействие алюминия, титана и циркония с кислородом в жидком молибдене // Кинетика и термодинамика взаимодействия газов с жидкими металлами. М.: Наука. 1974.
69. Федорченко В.И., Аверин В. В. Влияние поверхностно-активных элементов на кинетику взаимодействия азота с металлами // Кинетика и термодинамика взаимодействия газов с жидкими металлами. М.: Наука. 1974.
70. Козина Л.Н., Ревякин А.В., Фридман А.Г. Исследование растворимости азота в жидком хrome // Электрохимия и расплавы. М.: Наука. 1974.
71. Ревякин А.В., Кузнецов Л.Б. Механизм удаления кислорода и углерода из жидких металлов // Кинетика и термодинамика взаимодействия газов с жидкими металлами. М.: Наука. 1974.
72. Громова М.М., Ревякин А.В., Сороко А.Н. Разработка метода исследования кинетики дегазации жидкого железа // Физико-химические основы взаимодействия жидкого металла с газами и шлаками. М.: Наука. 1978.
73. Желаднов В.И., Макунин М.С., Аржаный П.М. Взаимодействие алюминия и железа в твердом состоянии // ДАН. 1973. Т. 212. № 2.
74. Губенко С.И., Аверин В.В., Хломов В.С., Милевский Р.А. Упрочнение сульфидных включений при микролегировании стали ШХ-15 РЗМ и ШЦЗМ // ФиХОМ. 1980. № 5.
75. Васильев В.А., Зудин М.Б., Каневский А.Г., Ревякин А.В., Родин Н.Н., Изманов А.В. Влияние фосфора на коррозионно-электрохимическое поведение аморфных сплавов системы Fe-Cr-C-P // Аморфные металлические материалы. М.: Наука. 1984.
76. Бурцев В.Т., Кашин В.И., Панкратьева Л.Н. Взаимодействие углеродистых расплавов железа, кобальта и никеля с корундизом в вакууме // Физико-химические основы взаимодействия жидкого металла с газами и шлаками. М.: Наука. 1978.
77. Дашевский В.Я., Поляков А.Ю. Исследование механизма образования бурого дыма при взаимодействии жидкого чугуна с газообразными окисли-

- телями // Физико-химические основы металлургических процессов. М.: Наука. 1973.
78. Макарова Н.Н., Чижиков Д.М., Поляков А.Ю., Казенас Е.К. Исследование источника появления кислорода в окислах железа, улавливаемых из бурого дыма при взаимодействии жидкого чугуна с кислородом // ДАН. 1974. Т. 215. № 6.
 79. Григорович К.В., Дашевский В.Я., Поляков А.Ю. Исследование термодинамической активности серы в жидком кобальте // Изв. АН СССР. Металлы. 1981. № 2.
 80. Филиппов К.С., Карасев Р.А. Математическое моделирование и определение параметров процесса всплывания газовых пузырьков в металлической ванне // Физико-химические основы взаимодействия жидкого металла с газами и шлаками. М.: Наука. 1978.
 81. Макарова Н.Н., Кашин В.И., Побегайло В.М., Черкасов П.А., Панкратьева Л.Н. Исследование кинетики насыщения жидкого металла водородом при продувке сталеплавильной ванны природным газом и дегазации металла продувкой инертным газом // Металлургия и коксохимия. № 87. Металлургия стали. Киев: «Техніка». 1985.
 82. Кашин В.И., Кацнельсон А.М., Соيفер Л.М., Крылов А.С. Физико-химические закономерности взаимодействия меди и серы в расплавах железа при обработке сульфидным шлаком // Сталь. 1986. № 3.
 83. Кацнельсон А.М., Крылов А.С., Кашин В.И. Модель для прогнозирования термодинамических свойств растворов по данным о бинарных системах // ДАН. 1989. Т. 308. № 5.
 84. Кацнельсон А.М., Крылов А.С., Дашевский В.Я., Кашин В.И. Прогнозирование термодинамических характеристик расплавов Fe-Mn-Si-P по данным о бинарных системах // Физико-химические основы металлургических процессов. Ч. 3. М.: ИМЕТ АН СССР. 1991.
 85. Туговиков А.Э., Соифер Л.М., Кашин В.И., Кацнельсон А.М., Крылов А.С. Физико-химические аспекты выбора шлака для очистки поверхности стали от окислы // Изв. АН СССР. Металлы. 1990. № 2.
 86. Grigorovich K.V., Katznelson A.M., Krilov A.S., Vvedenskii A.V. New Approach to the Fractional Gas Analysis Application in Metallurgy and Material Control Using Oxide Separation Software Developed // Proceedings of the 4 International Conference Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries. Luxembourg: CETAS. 1994.
 87. Dashevskii V.Ya., Katznelson A.M., Grigorovich K.V., Makarova N.N., Kashin V.I. Deoxidation Equilibrium of Mn and Si in Liquid Fe-Ni Alloy // ISIJ International, 2003, v. 43, No 10.
 88. Dashevskii V.Ya., Makarova N.N., Grigorovich K.V., Kanevskii A.G., Kashin V.I. Deoxidation Equilibrium of Al and Si in Liquid Fe-Ni Alloy // ISIJ International, 2005, v. 45, No 1.
 89. Dashevskii V.Ya., Makarova N.N., Grigorovich K.V., Kanevskii A.G., Kashin V.I. Deoxidation Equilibrium of Cr in Liquid Fe-Ni Alloy // ISIJ International, 2005, v. 45, No 12.
 90. Григорович К.В., Красовский П.В. Исследование термодинамических свойств расплавов Ni-Cr-O // Расплавы. 1999. № 2.

91. Дашевский В.Я. Физико-химические основы раскисления железоникелевых сплавов. М.: Физматлит. 2011.
92. Dashevskii V.Ya., Aleksandrov A. A., Kanevskii A.G., Leont'ev L. I. Deoxidation Equilibrium in Iron-Nickel Melts // Proceedings of the 14th Sino-Russia Symposium on Advanced Materials and Technologies. By the Nonferrous Society of China. 2017.
93. Полулях Л.А., Дашевский В.Я., Юсфин Ю.С. Производство марганцевых ферросплавов из отечественных марганцевых руд // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. № 9.
94. Dashevskii V. Ya., Aleksandrov A. A., Zhdanov A. V., Zhuchkov V. I., Leont'ev L. I. Manganese ferroalloys production from Russian manganese ores // Proceedings of the XIV International Ferro-Alloys Congress. Kyiv. 2015.
95. Дашевский В.Я., Александров А.А., Жданов А.В., Жучков В.И., Леонтьев Л.И. Повышение извлечения марганца при производстве марганцевых ферросплавов. Сталь. 2017. № 8.
96. Анучкин С.Н., Бурцев В.Т., Самохин А.В. Исследование взаимодействия наноразмерных частиц тугоплавких соединений с поверхностно-активным веществом в расплаве никеля. II. Поверхностное натяжение и плотность // Металлы. 2011. № 2.
97. Дашевский В.Я., Юсфин Ю.С., Александров А.А., Леонтьев Л.И. Повышение полезного использования марганца при производстве металлического марганца // Изв. вузов. Черная металлургия. 2013. № 7.
98. Дашевский В.Я., Д.Б. Макеев, Полулях Л.А., Александров А.А., Леонтьев Л.И. Дефосфорация оксидных марганецсодержащих расплавов // ДАН. 2017. Т. 473. № 4.
99. Макаров М.А., Александров А.А., Дашевский В.Я. Исследование процесса глубокого обезуглероживания стали // Металлы. 2006. № 3. С. 3–7.
100. Филиппов К.С. Плотность и поверхностное натяжение расплава никеля после раскисления редкоземельными и щёлочноземельными металлами // Металлы. 2012. № 2.

Александр Юльевич Поляков



Александр Юльевич Поляков — учёный-металлург, специалист в области теории и технологии сталеплавильного и ферросплавного производства.

А.Ю. Поляков родился 25 марта 1912 г. в г. Воронеже. После окончания школы в 1929 г. поступил в проектный институт «Стальпроект» на должность чертежника, окончил конструкторские курсы, а затем в 1932 г. поступил на 3-й курс Московского института стали, предварительно сдав экстерном экзамены за первые два курса. По окончании института в 1935 г. был направлен на Чусовской металлургический завод, где работал в должности заместителя начальника цеха феррованадия. В 1936 – 1939 гг. был аспирантом кафедры электрометаллургии стали и ферросплавов Московского института стали, занимался вопросами выплавки феррованадия сначала под руководством профессора К.П. Григоровича, потом профессора А.М. Самарина. В январе 1940 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Изыскание и разработка рациональных методов получения феррованадия из пятиоксида ванадия» и был оставлен на кафедре в должности ассистента.

Через несколько дней после начала Великой Отечественной войны, 7 июля 1941 г. А.Ю. Поляков записался добровольцем в 1-ю Московскую стрелковую дивизию народного ополчения, и в ее составе был направлен на Западный фронт. В октябре 1941 г. был ранен, попал в госпиталь, после госпиталя снова в строю — рядовой в 5-ой гвардейской стрелковой дивизии. В бою был контужен. Командование направляет А.Ю. Полякова на учебу в Московское военно-инженерное училище, после окончания

которого он получает звание лейтенанта. Его оставляют в училище преподавателем. В 1944 г. А.Ю. Поляков был демобилизован и направлен в НИИ-24 Народного комиссариата боеприпасов, где работал начальником сталеплавильной лаборатории. В 1945 г. возвращается на кафедру электрометаллургии стали и ферросплавов Московского института стали, на которой работает ассистентом, а затем доцентом.

В 1949 г. А.Ю. Поляков переходит на работу в Институт металлургии им. А.А. Байкова АН СССР к своему учителю чл.-корр. АН СССР А.М. Самарину, где работает в должности старшего научного сотрудника, а после создания в 1952 г. в Институте лаборатории металлургии стали — заместителем заведующего лабораторией (заведующий лабораторией А.М. Самарин). В декабре 1956 г. А.Ю. Поляков защитил докторскую диссертацию на тему «Металлургия ванадия». С февраля 1961 г. по май 1962 г. работает профессором кафедры электрометаллургии стали и ферросплавов Московского института стали. В июне 1962 г. возвращается на работу в Институт металлургии им. А.А. Байкова АН СССР, где снова работает в качестве заместителя заведующего лабораторией, которая теперь носит название лаборатория физикохимии металлических расплавов.

С именем А.Ю. Полякова связано становление и развитие физико-химических основ производства качественных сталей и ферросплавов в нашей стране. Им были проведены исследования физико-химических закономерностей процессов извлечения ванадия из ванадистых чугунов и изучены характеристики оксидов ванадия. Интерес к проблеме использования ванадия нашел свое продолжение в работах по исследованию растворимости и активности кислорода в расплавах железа, содержащих ванадий. Под руководством А.Ю. Полякова были проведены исследования термодинамики растворов кислорода в расплавах железа, никеля и кобальта и сплавов на их основе. Полученные результаты были положены в основу разработки оптимальных технологических процессов раскисления металлических расплавов. А.Ю. Поляковым с сотрудниками лаборатории были проведены исследования термодинамических свойств растворов серы в расплавах железа, никеля и сплавов на их основе.

Под руководством А.Ю. Поляковым были выполнены исследования по выплавке нержавеющей стали в кислородном конвертере. Впервые был осуществлен процесс получения нержавеющей низко- и среднеуглеродистых хромистых и хромоникелевых сталей в кислородном конвертере с применением высокоуглеродистого феррохрома. В настоящее время во всем мире производство нержавеющей и других коррозионно-стойких сталей осуществляется в конвертерах методом аргонокислородного рафинирования. Результаты исследований, проведенных сотрудниками лаборатории, были использованы зарубежными специалистами.

Важной проблемой, решенной А.Ю. Поляковым, был проект перевода конвертеров дуплекс-цеха Чусовского металлургического завода с

нижнего воздушного на верхнее сухое и увлажненное воздушное дутье. Способ был принят заводом для промышленного использования. Под руководством А.Ю. Поляковым проведены исследования по вакуумным углеродотермическим процессам. При реализации этих процессов была показана возможность восстановления оксидов ванадия углеродом в вакууме с получением чистого металла.

Изучен механизм взаимодействия кислорода с углеродом и шлакообразующими элементами в сталеплавильной ванне. Показано, что окисление шлакообразующих элементов осуществляется путем протекания реакций взаимодействия их с закисью железа, а окисление углерода осуществляется путем взаимодействия с кислородом, растворенным в металле. Проведено исследование закономерностей образования бурого дыма при взаимодействии жидких сплавов железо-углерод с кислородом. Было установлено, что основой бурого дыма являются капли металла, выбрасываемые из ванны пузырьками окиси углерода, образующейся в результате взаимодействия растворенных в металле углерода и кислорода, а также в значительно меньшей степени брызги металла, выносимые в атмосферу из кратера ванны под влиянием динамического воздействия струи кислорода.

А.Ю. Поляков является автором более 200 печатных работ, авторских свидетельств на изобретения. Широкую известность получили монографии А.Ю. Полякова «Основы металлургии ванадия», «Термодинамические основы применения вакуума в процессах производства стали и сплавов», «Электрометаллургия стали. Учебное пособие», «Теоретические основы рафинирования сталеплавильной ванны». Под его руководством подготовлено 15 кандидатов наук.

Цикл работ «Новая технология передела ванадиевых чугунов», проведенный А.Ю. Поляковым под руководством А.М. Самарина, отмечен премией Президиума Академии наук СССР в 1953 г.

А.Ю. Поляков свободно владел тремя европейскими языками. Очень любил А.С. Пушкина, многие его произведения знал наизусть. Много лет переписывался с директором музея-заповедника «Михайловское» С. Гейченко и, как мог, помогал ему. В частности, в качестве металлурга участвовал в ремонте церковных колоколов, сброшенных во время войны немцами с колокольни и треснувших при падении.

Александр Юльевич Поляков скончался в 1985 году.

В.Я. Дашевский

Роберт Алексеевич Карасев



Роберт Алексеевич Карасев — специалист в области физико-химических основ металлургических процессов, теории и технологии сталеплавильного производства.

Р.А. Карасев родился 1 ноября 1926 г. в г. Москве. Весной 1941 окончил 7 классов средней школы. После начала Великой Отечественной войны осенью 1941 г. вместе с семьей был эвакуирован в г. Зеленодольск ТАССР. В г. Зеленодольске поступил работать на завод в качестве токаря-шлифовальщика. В феврале 1942 г. вернулся в Москву и поступил в 1-ую авиационную спецшколу. Вернувшись из эвакуации в Москву в 1943 г., экстерном сдал экзамены на аттестат зрелости и поступил в Московский институт стали на металлургический факультет. После окончания института стали в 1948 г. поступил в аспирантуру Института металлургии им. А.А. Байкова АН СССР. В 1952 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Раскислительная способность ванадия в жидком железе» (руководитель чл.-корр. АН СССР А.М. Самарин) и был оставлен в Институте, где прошел путь от младшего научного сотрудника до заместителя заведующего лабораторией (заведующий лабораторией А.М. Самарин).

В 1962 г. Р.А. Карасев был командирован в Массачусетский технологический институт (США) с целью изучения системы высшего образования США, где успешно закончил докторантуру металлургического факультета и защитил докторскую диссертацию на тему «Кинетика взаимодействия жидкого железа с газовой фазой CO-CO₂». Р.А. Карасеву было присвоено звание доктора наук (Doctor of Science). По возвращении

из командировки в 1964 г. Р.А. Карасев работает в Институте в должности заместителя заведующего лабораторией. В 1965 г. Р.А. Карасев был направлен на работу в Секретариат Организации Объединенных Наций в качестве технического эксперта по новой технологии при Комитете по черной металлургии Европейской экономической комиссии ООН (г. Женева, Швейцария). Вернувшись из командировки, Р.А. Карасев продолжает в Институте исследования в области физико-химических основ металлургических процессов. В 1977 г. Р.А. Карасев переходит на работу в Постоянное Представительство СССР в Совете Экономической Взаимопомощи.

С именем Р.А. Карасева связано становление и развитие физико-химических основ металлургических процессов. Им были проведены исследования растворимости и активности кислорода в расплавах железа, содержащих ванадий, исследования термодинамики растворов кислорода в расплавах железа, никеля и кобальта и сплавах на их основе, изучены термодинамические свойства растворов серы в расплавах железа, никеля и сплавах на их основе. Полученные результаты были положены в основу разработки оптимальных технологических процессов раскисления и десульфурации металлических расплавов. Им проведен цикл пионерских исследований раскислительной способности углерода в вакууме, изучены физические свойства расплавов на основе железа, в частности поверхностное натяжение жидкого железа, содержащего углерод и серу.

Р.А. Карасев принимает участие в проведении комплекса исследований по вакуумным углеродотермическим процессам и изучению кинетики и термодинамики процессов восстановления, фазовых переходов, влияния температуры и давления, что позволило определить условия, необходимые для получения чистого пластичного, ковкого ванадия. Под руководством Р.А. Карасева были изучены межфазные явления в системе железо – углерод – кислород. Проведено моделирование процесса роста и растворения газового пузыря в металлическом расплаве. Предложен подход к оценке рафинирующей способности шлаков, используемых для очистки расплавов от оксидных включений. Цикл работ «Материалы для космической техники», проведенный Р.А. Карасевым и В.И. Кашиным под руководством А.М. Самарина, отмечен премией Президиума Академии наук СССР в 1961 г.

Р.А. Карасев является автором более 50 печатных работ, авторских свидетельств на изобретения.

Роберт Алексеевич Карасев скончался в 1997 году.

В.Я. Дашевский

Виталий Иванович Кашин



Виталий Иванович Кашин — учёный-металлург, специалист в области теории и технологии сталеплавильного и ферросплавного производства.

В.И. Кашин родился 20 апреля 1927 г. в деревне Взглядово Даниловского района Ярославской области. В 1936 г. поступил в школу в г. Данилово, семь классов которой окончил в 1943 г. В.И. Кашин участник Великой Отечественной войны. В 1943 г. он добровольцем ушел в ряды Военно-морского флота. Служил на Краснознаменном Балтийском флоте до 1950 г. в должности минера, командира отделения, старшины группы минеров. В 1949 г. окончил школу рабочей молодежи в г. Таллинн. В 1950 г. был демобилизован из рядов Военно-морского флота и в этом же году поступил в Московский институт стали, который окончил в 1955 г.

После окончания института поступил в аспирантуру Института металлургии им. А.А. Байкова АН СССР, которую успешно окончил и был оставлен в Институте в лаборатории физикохимии металлических расплавов в должности младшего научного сотрудника. В 1959 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук (руководитель чл.-корр. АН СССР А.М. Самарин). С 1960 г. работает в должности старшего научного сотрудника. В 1976 г. В.И. Кашину после защиты диссертации присвоена ученая степень доктора технических наук. В 1970 г. после смерти заведующего лабораторией академика А.М. Самарина В.И. Кашин возглавил лабораторию, которой он руководил до последних дней жизни. С 1970 г. до 1975 г. В.И. Кашин одновременно заместитель директора Института металлургии им. А.А. Байкова АН СССР.

С именем В.И. Кашина связано становление и развитие физико-химических основ производства качественных сталей, материалов для космической техники, тугоплавких металлов и ферросплавов в нашей стране. Им были проведены исследования термодинамических свойств растворов серы в расплавах никеля и сплавах на его основе. Изучен комплекс физико-химических процессов взаимодействия неметаллических включений со шлаками, используемыми в различных процессах плавки и разливки (электрошлаковый переплав, разливка стали под шлакообразующими брикетами и теплоизолирующими смесями), что позволило высказать рекомендации по подбору составов шлаков для обеспечения более глубокого рафинирования металла и повышения его качества.

Проведен цикл исследований по изучению влияния низких давлений на полноту и скорость протекания основных металлургических реакций при производстве стали и чистых металлов. Совместное с Волгоградским металлургическим заводом "Красный Октябрь" были проведены исследования по разливке стали с применением экзотермических шлакообразующих брикетов, что позволило существенно улучшить качество получаемого металла.

Проведены исследования по вакуумным углеродотермическим процессам, показана возможность восстановления оксидов ванадия углеродом в вакууме с получением чистого металла. Проведены обширные исследования процессов выплавки и рафинирования шарикоподшипниковой стали, жаростойких, жаропрочных и нержавеющей сталей, а также тугоплавких металлов, таких как молибден, вольфрам, тантал, рений и сплавов на их основе, в вакуумных индукционных и вакуумных дуговых печах и в процессе электрошлакового переплава. Были исследованы энергетические параметры процессов плавления и физико-химические закономерности процессов рафинирования. Исследованы закономерности процессов плавления и рафинирования тугоплавких металлов в дуговых печах, что позволило создать новые технологические процессы получения сплавов, которые успешно применяются в различных отраслях новой техники.

Исследования термодинамики растворов фосфора, кремния, серы и углерода в расплавах на основе марганца, физико-химических свойств марганецсодержащих оксидных систем и их фазового состава, закономерностей распределения фосфора и серы между металлической и шлаковой фазами, процессов рафинирования расплавов на основе марганца от фосфора и серы и анализ работы промышленных предприятий были положены в основу при разработке эффективной ресурсосберегающей технологии получения марганцевых ферросплавов, успешно прошедшей проверку в заводских условиях.

Изучена физикохимия процессов рафинирования стали от меди и определены основные закономерности поведения меди и серы при обработке расплавов железа сульфидом натрия. Показано, что удаление меди

из расплавов железа может осуществляться шлаками на основе сульфида натрия, при этом получение металла с относительно низкими содержаниями меди и серы возможно в достаточно широком интервале температур при наличии высоких концентраций углерода в металле. Проведен термодинамический анализ растворов кислорода в расплавах железо – никель и железо – никель – хром и экспериментально изучен процесс раскисления этих сплавов различными элементами.

В.И. Кашин является автором более 300 печатных работ, более 60 авторских свидетельств на изобретения. Под его руководством подготовлено 9 кандидатов наук. Он долгие годы по совместительству был профессором Московского физико-технического института, читал курс лекций по общей металлургии.

В.И. Кашин — лауреат премии Совета Министров СССР (1990 г.), награжден за участие в работе «Комплекс научных исследований, проектно-конструкторских и технологических разработок по техническому перевооружению и расширению электротермического производства марганцевых ферросплавов с внедрением электропечей большой мощности, эффективных прогрессивных технологий и оборудования», премии Правительства Российской Федерации (1997 г.) — за участие в работе «Комплекс научных исследований, технологических разработок и освоение новых прогрессивных процессов производства ферросплавов» и премии Президиума Академии наук СССР (1961 г.) — за участие в работе «Материалы для космической техники». За заслуги в научной деятельности В.И. Кашину присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

В.И. Кашин был членом Ученого совета Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, членом Научного совета РАН по физико-химическим основам металлургических процессов, членом двух Диссертационных советов, членом редколлегии журналов «Электрометаллургия» и «Сталь».

Правительство высоко оценило заслуги В.И. Кашина. Он был награжден орденами «Отечественной Войны», «Знак Почета», медалями «Адмирал Нахимов», «За победу над Германией», «30 лет Советской Армии и Флота», «За трудовую доблесть», «40 победы над Германией», «Ветеран Труда».

Виталий Иванович Кашин скончался 21 мая 2005 года.

В.Я. Дашевский

Александр Михайлович Самарин

С именем Александра Михайловича Самарина, всемирно известного ученого-металлурга, неразрывно связано становление и развитие физико-химических основ производства качественных сталей и ферросплавов в нашей стране, внедрение научных исследований в практику металлургического производства.

А.М. Самарин родился 14 августа 1902 г. в крестьянской семье в селе Саконы Нижегородской губернии. Он прошел большой жизненный путь от студента-рабфаковца до академика, видного общественного и государственного деятеля.

В 1930 г. после окончания металлургического факультета Московской горной академии А.М. Самарин был оставлен в аспирантуре. В том же году на базе этого факультета был создан Московский институт стали. А.М. Самарина оставляют в новом институте для научно-педагогической деятельности. В 1934 – 1936 гг. А.М. Самарин работал в исследовательской лаборатории химического факультета Мичиганского университета (США). В 1938 г. А.М. Самарину присуждена ученая степень кандидата технических наук, и он утвержден в звании профессора. С 1938 г. А.М. Самарин — заведующий кафедрой электрометаллургии



Александр Михайлович Самарин

стали и ферросплавов, которую он возглавлял на протяжении 23 лет, а с 1939 г. он по совместительству старший научный сотрудник Института металлургии АН СССР (ныне Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН). С Институтом металлургии связана вся дальнейшая жизнь А.М. Самарина. В 1951 г. он — заведующий отделом черной металлургии, а затем с 1952 г. — заведующий лабораторией металлургии стали (ныне лаборатория физикохимии металлических расплавов им. академика А.М. Самарина). В 1955 – 1961 гг. А.М. Самарин — заместитель директора Института металлургии, а с 1967 г. до последних дней жизни — директор Института.

В 1946 г. А.М. Самарину присуждена ученая степень доктора технических наук, в этом же году он избран членом-корреспондентом, а в 1966 г. — действительным членом Академии наук СССР.

А.М. Самарин на протяжении всей своей инженерной, научной и общественной деятельности принимал самое активное участие в решении наиболее важных проблем, обеспечивающих быстрое развитие отечественной металлургии. При непосредственном участии А.М. Самарина были разработаны технологические процессы производства ряда ферросплавов, выплавки в электропечах высококачественных сталей и сплавов. Эти работы, выполненные в 1930 – 1950 гг., сыграли большую роль в создании новой в то время отрасли металлургического производства — электрометаллургии стали и ферросплавов.

А.М. Самарин возглавлял многочисленные фундаментальные исследования в области теоретических основ металлургических процессов. Эти исследования привели к разработке ионной теории жидких металлургических шлаков, позволили обосновать процессы раскисления, десульфурации и дефосфорации жидкой стали и сложнoleгированных сплавов; они существенно расширили имеющиеся представления о термодинамике и строении жидких металлических расплавов, о природе неметаллических включений, образующихся в процессе раскисления жидкой стали, указали пути наиболее эффективного удаления из расплава неметаллической фазы. Под его руководством выполнено большое число исследований по определению термодинамических параметров и структурно-чувствительных свойств металлических расплавов.

А.М. Самарин стоял у истоков новой отрасли металлургии — вакуумной металлургии. Большое место в исследованиях, выполненных им и под его руководством, занимают работы по созданию теоретических основ вакуумных процессов и практическому использованию их при производстве стали и сплавов. Предложенный им метод вакуумной обработки жидкой стали в ковшах успешно реализован на многих металлургических заводах России.

А.М. Самарин отдавал много сил и энергии решению проблемы вовлечения в промышленное производство отечественных марганцевых руд

и физико-химическому обоснованию процессов выплавки из них высоко-сортных марганцевых ферросплавов.

А.М. Самариным создана большая отечественная школа металлургов и физико-химиков. Под его руководством подготовлено более 50-ти кандидатов наук, и около 20-ти его учеников стали докторами наук. Металлурги России, Украины, Грузии, Белоруссии, Польши, Чехословакии, Китая, Венгрии и других стран воспитывались у профессора А.М. Самарина. Несколько поколений студентов металлургических вузов пользовались классическим учебником А.М. Самарина «Электрометаллургия» (1943 г.). Монография «Физико-химические основы раскисления стали» (1956 г.), переведенная на английский, немецкий, китайский и японский языки, стала настольной книгой каждого металлурга – исследователя и практика. Широкую известность получили монографии А.М. Самарина «Вакуумная металлургия» (1958 г.) и «Обработка жидкой стали в вакууме» (1960 г.). А.М. Самарин является автором более 600 печатных работ, нескольких десятков авторских свидетельств на изобретения. Его научные и практические работы вошли в золотой фонд российской и мировой науки.

Плодотворную научную работу А.М. Самарин сочетал с большой государственной и общественной деятельностью. С 1946 г. по 1951 г. он был первым заместителем министра высшего и среднего специального образования СССР, с 1961 г. по 1966 г. — заместителем председателя Государственного Комитета Совета Министров СССР по координации научно-исследовательских работ, а с 1968 г. — председателем ВСНТО.

Правительство высоко оценило заслуги А.М. Самарина в развитии отечественной металлургии и подготовке научных и инженерных кадров. Он был награжден Орденом Ленина (1958 г.), двумя Орденами Трудового Красного Знамени (1944 г., 1962 г.) и медалями. В 1956 г. он был награжден Орденом Возрождения Польши.

Большое число научных и практических разработок, выполненных А.М. Самариним и под его руководством, было внедрено в производство. Наиболее значительных работы были отмечены премиями Президиума Академии наук СССР (1953 г. — А.М. Самарин, А.Ю. Поляков «Новая технология передела ванадиевых чугунов»; 1955 г. — А.М. Самарин, Л.М. Новик «Применение вакуума в металлургических процессах»; 1961 г. — А.М. Самарин, Р.А. Карасев, В.И. Кашин «Материалы для космической техники»).

Научные заслуги А.М. Самарина признаны во всем мире, он был избран почетным членом Венгерской академии наук, иностранным членом Польской академии наук, иностранным членом Болгарской академии наук, иностранным членом Шведской королевской академии инженерных наук, членом-корреспондентом Германской академии наук в Берлине, почетным доктором Горного института в Остраве (ЧССР), почетным членом Института железа и стали в Англии, почетным членом

Института железа и стали в Японии, почетным членом Американского общества инженеров металлургов в США. Он был членом исполкома и вице-президентом Всемирной федерации инженерных организаций, консультантом ЮНЕСКО по вопросам планирования и координации научно-исследовательских работ.

Обладая замечательными человеческими качествами – природным умом, блестящей эрудицией, ярким темпераментом, неиссякаемой работоспособностью, душевным обаянием, благородством и бережным отношением к людям, А.М. Самарин подчинял их главной цели своей жизни — работе на благо процветания своего Отечества.

Александр Михайлович Самарин скончался 20 мая 1970 г.

Достоянием российских металлургов остаются труды и идеи замечательного ученого-металлурга академика Александра Михайловича Самарина.

В.Я. Дашевский

Исследования структур сверхпроводников. Начало

В.Ф.Шамрай

E-mail shamray@imet.ac.ru

Автор статьи делится воспоминаниями о событиях, связанных с началом исследований кристаллических структур сверхпроводников в лаборатории кристаллоструктурных исследований (лаборатории 13); о своих учителях Н.В.Агееве и Н.Е.Алексеевском. Обсуждает вопрос приоритета теоретических и экспериментальных исследований при целенаправленном поиске новых высокотемпературных сверхпроводников.

Начало исследований по структурам сверхпроводников в Лаборатории 13 следует отнести к концу 1962 года, когда Николай Владимирович Агеев задумался над темой диссертационной работы своего аспиранта, т.е. — темой моей диссертации. После первой беседы он предложил работать по хрупкости хрома. Я с энтузиазмом принялся изучать литературу по этому вопросу. В то время уже проложила дорогу дислокационная теория прочности металлических материалов, и через пару месяцев я предложил Н.В. некоторый план исследований, основанный на элементах этой теории. В то время я еще не знал, что Н.В. — автор открытия по магнитному упорядочению хрома, которое связывалось с его хрупкостью. Н.В. довольно долго рассматривал мое творение, в заключение чего сказал, что в настоящее время, наверное, более актуальным было бы поставить исследование структур полупроводниковых соединений. По счастливой случайности, на полках магазинов в то время появился обширный сборник переводных статей «Полупроводники», и он послужил основой для написания моего второго предложения. Его обсуждение было более длительным, но в конце его было принято решение: исследовать сверхпроводники, признавая, что на тот момент это еще более актуальная тематика. Так я получил тему, что называется, на всю жизнь, но желание немедленно штудировать литературу и составлять планы, приступая к работе по новой тематике, у меня оказалось подавленным; даже литературу по сверхпроводникам начал собирать только после утверждения темы диссертации.

В то время в исследованиях по сверхпроводимости произошли два значительных события. Первое — разработка микроскопической теории сверхпроводимости БКШ, причем такой теории, которая предложила достаточно приемлемую для экспериментаторов формулу оценки критической температуры T_c . И второе — открытие сверхпроводников со структурой A15, обладающих исключительно высокими по тому времени значениями T_c . Значительная часть двойных сверхпроводников была

уже изучена, а стремление к синтезу новых систем оставалось. Поэтому материалovedы прибегли к своему излюбленному оружию, — попытке улучшить свойства материала за счет легирования. Такие работы уже проводились достаточно интенсивно сотрудниками ИМЕТ, и я последовал их примеру. Была выбрана псевдотройная фаза $Nb_3(Al,Sn,Ge)$, в возможности образования которой сомнений не возникало после проведенного кристаллохимического анализа. Понятно, почему было выбрано соединение Nb_3Sn , в то время — самый высокотемпературный сверхпроводник (18,4 К).

Согласно теории БКШ, в том числе в фазах А15, критическая температура, в первом приближении, определяется как:

$$T_c = \exp(-1/N(0) \cdot V), \quad (1)$$

где $N(0)$ — плотность состояний на уровне Ферми, V — константа электрон-фононного взаимодействия.

Чем выше T_c , тем сильнее должно быть электрон-фононное взаимодействие, и, таким образом, очень высокие значения критической температуры, в рамках этого механизма, оказываются недостижимыми, поскольку параметр электрон-фононного взаимодействия будет настолько велик, что решетка становится нестабильной. Nb_3Sn с его критической температурой 18,4 К рассматривалось как этот предельный случай. Nb_3Al обладает тоже высокой T_c , но у него несколько отличающаяся электронная концентрация (e/a), а согласно активно обсуждаемой в то время зависимости Маттиаса $T_c = f(e/a)$, интерес представляло рассмотреть, каким образом малые изменения e/a проявятся в изменении критической температуры. Nb_3Ge был выбран, чтобы оценить, как проявится вклад ковалентной составляющей в изменение T_c . Н.В. потребовал, чтобы я согласовал выбор этой композиции с лабораторией физикохимии тугоплавких и редких металлов и сплавов (л.12), где исследование по многокомпонентным фазам А15 в то время проводились наиболее интенсивно, а также сделал доклад на семинаре. Руководитель группы сверхпроводимости Лаборатории 12 В. В. Барон в то время была озабочена изготовлением того самого сверхпроводящего соленоида, которому впоследствии суждено было стать первым сверхпроводящим соленоидом, изготовленным в СССР. Тем не менее, Вероника Владимировна проявила живой интерес к выбору системы, и спрашивала, почему в комплекте с двумя высокотемпературными сверхпроводниками А15 фигурирует сверхпроводник с низкой T_c . Я тогда попытался отвечать уклончиво, аргументируя выбор тем, что необходимо несильно изменять электронную концентрацию.

После прохождения всех формальностей, началась реальная работа. Был составлен план, который, под бдительным оком Н.В., неукоснительно выполнялся. Он постоянно контролировал ход выполнения работ, и не только их научную часть, но вникал и в возникающие технические труд-

ности. Во время работы над диссертацией я ощутил себя членом сплоченного, дружного коллектива. Мне было бы очень трудно без постоянной помощи в рентгеновских исследованиях со стороны О.Г. Карпинского и Л.Н. Гусевой; я неизменно чувствовал поддержку Л.А. Петровой и Л.П. Гранковой; в решении технических вопросов мне сильно помогли В.П. Гелахов и Ю.Г. Фомичев.

Естественно, возникала проблема измерения критической температуры. Как и многие другие, Н.В. решал ее методом кооперации; он много раз обсуждал возможные варианты, и его выбор пал на Николая Евгеньевича Алексеевского из ИФП РАН. Погожим осенним днем мы отправились пешком в Институт Физических Проблем. Н.Е. Алексеевский принял нас приветливо. Выслушав, сказал, что поставленное исследование находится весьма актуальным и дал согласие на проведение измерений. Но Н.Е. не был бы самим собой, если бы, встретив «рентгенщика», не попросил отснять пары рентгенограмм. Получив согласие, он обнаружил, что отсутствуют контейнеры, в которые можно поместить порошки недавно синтезированных им соединений. Он буквально скатился по крутой лестнице из кабинета вниз на первый этаж, где была расположена небольшая мастерская, достал кварцевые трубки, включил кислородную горелку, немного поколдовал. Затем из широкой резиновой пробки вырезал затычки, и контейнеры были готовы. Для меня, три года проработавшего после окончания Института в ВИАМе, все это было весьма необычно. Ну что же, нужно было осваивать академический стиль работы: все делай своими руками, и не упускай случая продвинуть свой эксперимент.

Н.Е. достаточно долго проводил измерения, а когда передал результаты, то добавил «Градуировка термометра оказалась сбитой, пришлось все заново измерять». Полученные результаты были немедленно использованы для анализа возможных корреляций с полученными структурными данными [1-3]. Они соответствовали предположению о том, что основным структурным элементом сверхпроводников A15, отвечающих стехиометрии A_3B , являются цепочки, образованные атомами переходного металла A, и всякое нарушение их целостности (в результате теплового разупорядочения, легирования и др.) приводит к снижению T_K (рис. 1). Как впоследствии оказалось, особенно драматично проявляется эффект разупорядочения при облучении высокоэнергетическими частицами, когда степень порядка по antistate дефектам опускается ниже 70 %, а T_K соединения Nb3Sn уменьшается до 7 К. Проявилась обратная зависимость критической температуры от периода решетки или объема элементарной ячейки. Эта зависимость послужила впоследствии основой для синтеза сверхпроводников A15 на основе карбидных фаз Nb₃C и V₃C. Было показано, что область гомогенности сверхпроводника Nb₃Ge смещена от стехиометрии A15 или A₃B. Из предварительных оценок плотности состояний, выполненных в лаборатории Н.Е., известных значений среднефононной частоты, с использованием формулы (1), был сделан вывод о

том, что существуют, по крайней мере, два типа A15 сверхпроводников. У сверхпроводников первой группы критическая температура, в большей мере, зависит от плотности состояний (тип Nb_3Sn); у второй — от характеристик фононного спектра (тип Nb_3Al). В то время зависимость критической температуры от структурных параметров воспринималась как эмпирическая. Впоследствии было показано, что эта зависимость обусловлена особенностями электронного спектра, близостью уровня Ферми резкому изменению плотности электронных состояний.

После окончания аспирантуры я продолжил специализироваться по монокристалльному рентгеноструктурному анализу все-таки на полупроводниковых системах. Года через два после моей защиты в кабинете Николая Владимировича раздался телефонный звонок. Звонил Н.Е. Алексеевский: «Послушайте, Николай Владимирович, басурмане, так он называл всех зарубежных ученых, воспроизвели наш эксперимент и получили температуру 20 К. Нужно продолжить наши эксперименты». Конечно, это была небольшая сенсация, так как одно из положений концепции теории БКШ, которого мы придерживались, а именно что величина T_K не должна превышать 18,4 К, что называется, «поехало». Выяснением этой проблемы занялись не только в нашем Институте. Однако, все встало на свои места только после того, как Гавалер [4] осуществил резкую закалку образцов Nb_3Ge стехиометрического состава и получил на этих образцах критическую температуру ~ 20 К. Впоследствии на сплавах системы ниобий – германий, с использованием резкой закалки и пленочных технологий, высокие значения критической температуры (свыше 20 К) были получены во многих лабораториях. Систематическая

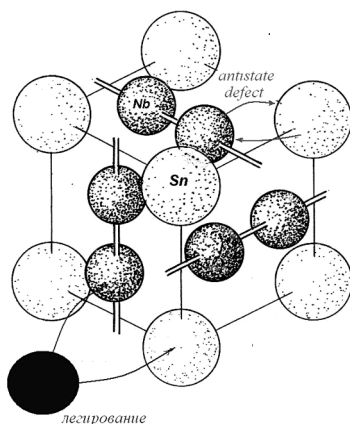


Рис. 1. Структура A15 на примере Nb_3Sn . Показаны antistate дефект и дефекты замещения, образующиеся при легировании.

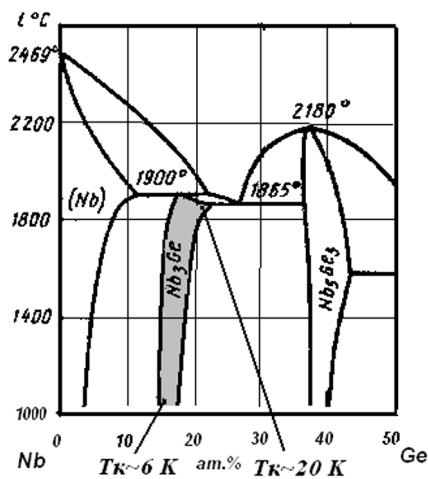


Рис. 2. Диаграмма Nb-Ge

работа в этом направлении проводилась в лаборатории А.И. Головашкина (ФИАН).

Как оказалось, закономерность изменения критической температуры в системе $Nb_3(Al,Ge)$ отвечает основным представлениям о фазах переменного состава физико-химического анализа Н.С. Курнакова [5 – 8], а Nb_3Ge относится к типу бертоллидных фаз. При температуре, близкой к комнатной, область гомогенности этой фазы смещена от стехиометрии A_3B в сторону больших концентраций ниобия (рис. 2). Ее критическая температура не превышает 7 К. При температуре эвтектической реакции: $Ж \rightarrow Nb_3Ge + Nb_5Ge_3$ ($\sim 1850^\circ C$) максимальная концентрация германия в ней достигает ~ 23 ат. % Ge, а T_k превышает 20 К. Как оказалось, существует, по крайней мере, два способа зафиксировать фазу Nb_3Ge состава близкого стехиометрии фаз A15: путем резкой закалки и легированием. В первом случае это было достигнуто в экспериментах с магнетронным распылением. Во втором — за счет легирования алюминием (рис. 3, 4). Тройные фазы с областью гомогенности, смещенной от стехиометрической точки в двойных системах, и приближающейся к ней при легировании, как известно, получили название фаз Курнакова.

Систематическое исследование многокомпонентных фаз A15 не принесло желаемых результатов, критическая температура в пределах областей гомогенности сложных систем в лучшем случае изменяется аддитивно. Особенно резко уменьшается критическая температура, когда при легировании соединений A15 замещается компонент А (рис. 5), поскольку в этом случае нарушаются цепочки, образованные атомами переходного металла [9]. Однако, осознание того, что при исследовании фаз

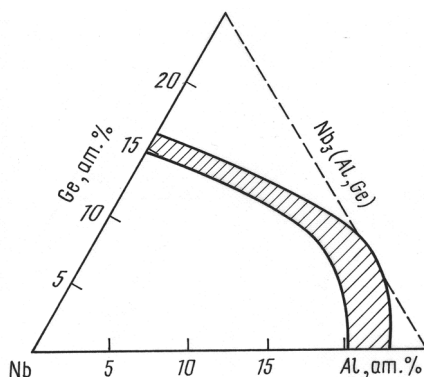


Рис. 3. Область гомогенности тройной фазы $Nb_3(Al,Ge)$.

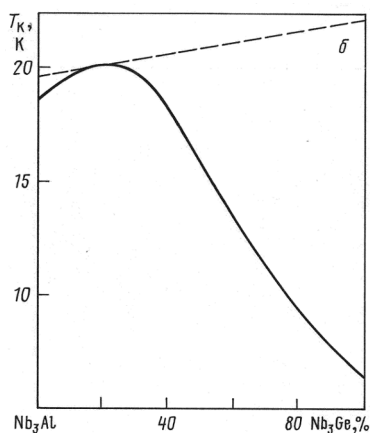


Рис. 4. Зависимость T_K в тройной фазе $Nb_3(Al,Ge)$.

Al_5 мы находимся близко к пределу возможного по величине T_K , как-то не позволяло оставить эти исследования. В последних работах мы сосредоточились на изучении нестабильности сверхпроводников Al_5 , включая низкотемпературные фазовые превращения, то есть на исследовании факторов, наиболее характерных для высокотемпературных сверхпроводников. Это оказалось возможным, благодаря рентгеновскому криостату, который нам удалось изготовить совместно с СКБ ИМЕТ. Помнится, только мы его запустили и отсняли структурный переход на Nb_3Sn , как Е.М. Савицкий, директор ИМЕТ в то время, заявил: «Я запрещаю покупку гелия, чтобы стимулировать открытие нашими сотрудниками сверхпроводников, работающих при температуре азота». Он только попугал немножко, но понять его было можно: эти эксперименты стоили очень дорого.

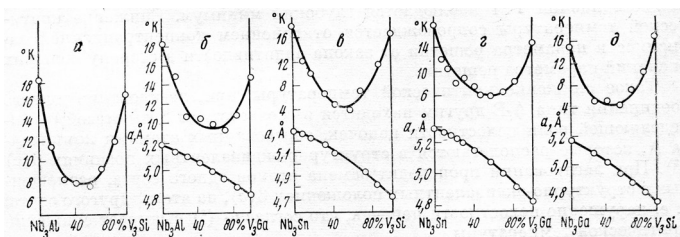


Рис. 5. Критическая температура T_K и период решетки a в псевдодвойных системах: a — Nb_3Al-V_3Si , b — Nb_3Al-V_3Ga , v — Nb_3Sn-V_3Si , z — Nb_3Sn-V_3Ga , ∂ — Nb_3Ga-V_3Si .

Надо сказать, что уже в то время использование теории БКШ в исследованиях по сверхпроводимости не у всех находило понимание. Отлично помню разговор у одного из стендов на конференции по сверхпроводимости, проводимых регулярно в ту пору в ИМЕТ, с сотрудником одного из химических институтов: «Не верю я в эту БКШ сверхпроводимость. Вы посмотрите, критические точки всех физических свойств находятся при достаточно высоких температурах, сегнетоэлектриков, магнитно упорядоченных материалов, например; у одной только сверхпроводимости она ограничена. Такого не должно быть». Мне тогда как-то было даже жаль этого химика, о чем в очень деликатной форме я ему сообщил. Мой собеседник поджал губы и добавил: «В ней нет химических взаимодействий». Он меня, конечно, не поколебал, но, что называется, зарубка в памяти осталась.

Через пару лет после этого разговора состоялось открытие сверхпроводимости тройных халькогенидов молибдена. В Университете г. Рен во Франции синтезировали серию соединений AMo_6S_8 , где A — Pb, Sn и др [10]. В.Т.Маттис, год жизни которого в то время приравнивался росту T_K на 0,2 К, предложил синтезировать эти соединения в лаборатории Bell Telephon Company, и обнаружилось, что их критическая температура приближается к 15 К. Взглянув на авторов статьи, он увидел, что первый автор — R. Chevrel. Поэтому предложил назвать эти фазы фазами Шевреля.

Открытие сверхпроводников типа фаз Шевреля было своеобразным подарком тем, кто был занят структурными исследованиями, поскольку эти фазы обладают заметно более сложной, интересной кристаллической структурой, чем соединения $A15$ [11 – 13]. Межатомные расстояния, определяемые из позиционных параметров, дают в этих структурах ценную информацию, в том числе, и для понимания особенностей химических взаимодействий, которые в этих соединениях имеют выраженный ионно-ковалентный характер.

Основной строительный блок структуры фаз Шевреля — комплекс Mo_6S_8 представляет собой куб S_8 , образованный атомами серы со встроен-

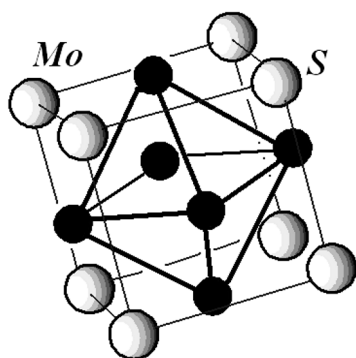


Рис. 6. Кластер Mo_6S_8 .

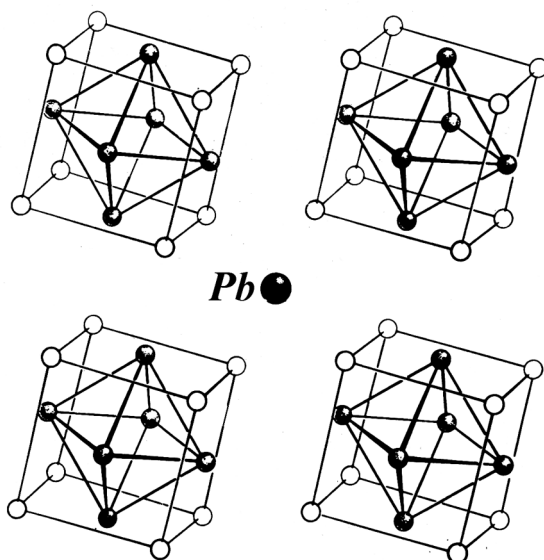


Рис. 7. Кристаллическая структура PbMo_6S_8 .

ным в него октаэдром Mo_6 (рис. 6). Эти комплексы упакованы в трехмерную решетку, третий компонент в фазах Шевреля, обладающих высокими значениями T_K , занимает позицию в центре между кубами (рис. 7, 8). Транспорт сверхпроводящих носителей в фазах Шевреля связывают с наличием бесконечных пересекающихся цепочек октаэдров Mo_6 , образующих трехмерную сеть (рис. 9).

Основные параметры этих цепочек — расстояния между атомами Mo, находящимися в соседних октаэдрах и расстояния Mo-Mo в кластерах.

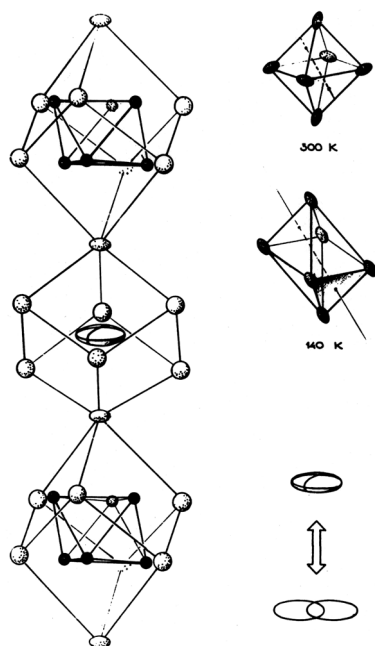


Рис. 8. Кристаллическая структура AgMo_6S_8 .

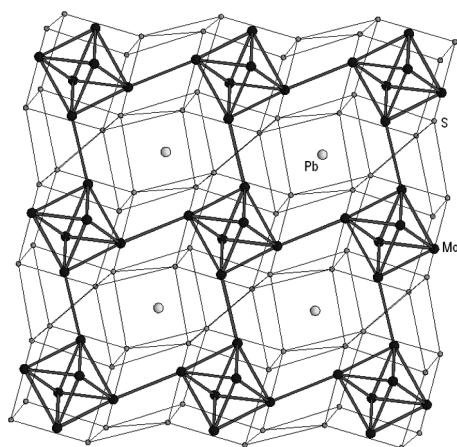


Рис. 9. Схема движения сверхпроводящих носителей в решетке фаз Шевреля.

Особую роль играет перенос заряда с S на кластеры Mo₆, вследствие чего изменяются расстояния между атомами молибдена, находящимися в соседних кластерах. Для формирования кинетических свойств эти расстояния имеют, очевидно, большое значение, поскольку они должны быть не настолько велики, чтобы препятствовать движению вдоль цепочек Mo₆ сверхпроводящих носителей. После открытия сверхпроводников фаз Шевреля резко возрос интерес к многокомпонентным неорганическим соединениям со сложным типом химической связи. Сами фазы Шевреля на долгое время стали предметом интенсивного исследования, благодаря их исключительно высоким критическим магнитным полям. Для оценки критической температуры фаз Шевреля используется уравнение Макмиллана:

$$T_C = \frac{\langle w_{\log} \rangle}{1,2} \exp \left\{ -\frac{1,04(1+\lambda)}{\lambda - \mu^*(1+0,62\lambda)} \right\}, \quad (2)$$

где $\lambda = N(E_F) \langle J^2 \rangle / M \langle w^2 \rangle$ — матричный элемент электрон-фононного взаимодействия, $N(E_F)$ — плотность состояний на уровне Ферми, $\langle J^2 \rangle$ — коэффициент электрон-фононного взаимодействия, M — масса ионов, $\langle w^2 \rangle$, $\langle w_{\log} \rangle$ — среднеквадратичная и среднелогарифмическая частоты фононных спектров, μ^* — коэффициент кулоновского взаимодействия электронов.

Одна из проблем, которая возникла, в связи с открытием сверхпроводников типа фаз Шевреля, обусловлена наличием в их кристаллической решетке магнитных ионов. Возможность упорядочения магнитных ионов молибдена в решетке фаз Шевреля и возникновения магнитного порядка стимулировало исследование по проблеме сосуществования сверхпроводимости и ферромагнетизма. При легировании соединения PbMo₆S₈ галлием в лаборатории Н.Е. Алексеевского был синтезирован сульфид Ga_xMo_yS_z, дифракционные спектры которого были выделены на многофазных образцах и, в первом приближении, были близки фазам Шевреля. Из результатов магнитных измерений следовало наличие ферромагнитного упорядочения в этой фазе при T_c ~ 20 К. Однако, как оказалось впоследствии, это соединение имеет структуру шпинели Ga_{0,5}Mo₂S₄, магнитные свойства которого обусловлены упорядочением магнитных ионов молибдена [14].

В период работы по структурам тройных сульфидов я прошел короткую стажировку в лаборатории проф. Bertout (CNRS, г. Гренобль, Франция). Была возможность записать в программу стажировки и командировку в лабораторию Университета г. Рен, где состоялось открытие сверхпроводников типа фаз Шевреля. Когда я собирался в Рен, сотрудники из лаборатории Берто меня наставляли: ни в коем случае не говорите «фазы Шевреля» говорите «тройные халькогениды молибдена». Дело в том, что работу задумал и реально осуществлял ее выполнение старший

научный сотрудник Sergent, руководитель дипломной работы Chevrel`я, его имя значилось в первой публикации вторым, но в глазах научной общественности, по крайней мере, этой лаборатории, именно он был настоящим автором открытия этих фаз. В Рене принимали хорошо, правда, мой доклад по фазам A15 был им как-то просто неинтересен. Но после доклада именно Sergent задавал мне много вопросов по фазе $\text{Ga}_{0.5}\text{Mo}_2\text{S}_4$, причем делал это с нашей недавно вышедшей статьей в руках. Помню, меня это очень порадовало: ведь читают все же наши работы!

В середине 80^х в исследованиях по сверхпроводимости, когда уже были созданы первые макетные и действующие образцы различной техники, использующие явление сверхпроводимости, стала очевидной перспективность исследований в этой области. Сверхпроводимость превратилась в комплексную программу, включающую различные направления. В рамках этой программы мы проводили структурные исследования: уточнили структуры различных многокомпонентных халькогенидов переходных металлов, обладающих сверхпроводящими и магнитными свойствами, изучили нестабильность ряда высокотемпературных сверхпроводников и др. Одновременно, совместно с Ю.В. Ефимовым, мы запустили масштабный эксперимент по изготовлению многожильного провода на основе соединения $\text{Nb}_3(\text{Al}_{0.75}\text{Ge}_{0.25})$, отвечающего максимальной критической температуре в фазе $\text{Nb}_3(\text{Al,Ge})$ в стабильном состоянии. В лаборатории Н.Е. Алексеевского продолжали поиск и исследование тяжелофермионных систем. В ФИАНе А.И. Головашкин, модернизируя свою установку по напылению пленочных материалов, стабильно повышал критическую температуру Nb_3Ge , доблестно отодвигая предельное значение $T_{\text{к}}$, выше которого соединения A15 существовать не могут, согласно существующей концепции механизма электрон-фононного взаимодействия. Как мне казалось, исследования по сверхпроводимости вошли, что называется, в свою колею, но.... «грязнул» 1986 год с его ВТСП, и многое из того, чем мы занимались, показалось кому-то вдруг неинтересным и ненужным.

До сих пор волнует вопрос: предвидел ли кто-нибудь из теоретиков в то время, основываясь на положениях состоявшейся теории сверхпроводимости, возможность такого резкого скачка в исследованиях $T_{\text{к}}$, или, все же, открытие ВТСП это награда за систематические экспериментальные исследования, их неотъемлемая часть?

Литература

1. Агеев Н.В., Шамрай В.Ф. Структура и свойства фазы $\text{Nb}_3(\text{Sn,Al,Ge})$ // Известия АН СССР Неорганические материалы. 1966. №6. С.1038-1046.
2. Алексеевский Н.Е., Агеев Н.В., Шамрай В.Ф. $T_{\text{к}}$ бета-фазы системы Nb-Sn-Al-Ge // Известия АН СССР Неорганические материалы. 1966. №.12. С.2156-2161.
3. Alexeevskii N.E., Ageev N.E., Shamray V.F. Superconductivity in $\text{Nb}_3(\text{Sn,Al,Ge})$ // Acta Cryst. 1966. №21. P.7.

4. Gavalier J. Superconductivity in Nb-Ge films above 22 K// Appl. Phys. Lett. 1973. N 23. P480-485.
5. Алексеевский Н.Е., Агеев Н.В., Шамрай В.Ф. Сверхпроводимость сплавов системы Nb_3Al-Nb_3Ge // Письма в ЖЭТФ. 1969. №9(1). С.28-32.
6. Агеев Н.В., Алексеевский Н.Е. Шамрай В.Ф. Кристаллическая структура соединения $Nb_3(Al_{0.75}Ge_{0.25})$ // Известия АН СССР Металлы. 1970. №3. С.171-176.
7. Агеев Н.В., Алексеевский Н.Е., Шамрай В.Ф. Исследование разрезов $Nb_3Al-Nb_3Ge-Nb_3Ga$ // ДАН СССР. 1971. №198(3). С.611-615. 1971
8. V.Shamrai. The volume dependence of T_c in the ternary A15 phases// J. Low Temp. Phys. 1984. N56(1/2) P.51-67. 1984.
9. Агеев Н.В., Шамрай В.Ф., Постников А.М. Сверхпроводимость некоторых четырехкомпонентных фаз с кристаллической структурой типа Cr_3Si // ДАН Техническая физика. 1974. №216(2) С. 309-310.
10. R. Chevrel, V.Sergent, J.Prigent. J. Sol. Stat. Chem. 1971. N3, P.515.
11. Шамрай В.Ф., Лейтус Г.М. Атомное строение и сверхпроводимость фазы $Cu_{1.73}Mo_6S_8$. 14 Всесоюзное совещание по применению рентгеновских лучей. Кишинев. 1985. .110.
12. Shamray V., Leitus G. The crystal structure of Chevrel phases $M_xMo_6S_8$ (M-Cu,Ag)// 10 European Cryst. Meeting. 1986. Wroclav (Poland) P.354.
13. Шамрай В.Ф., Лейтус Г.М., Тандит А.В. Кристаллическая структура $Cu_{1.73}Mo_6S_8$. Кристаллография. 1987. №32(5). С.1143-1149.
14. Shamrai V., Maedje H., Mydlarz T. Leitus G. Low temperature properties of $Ga_{0.5}Mo_2S_4$ // J. Low Temp. Phys. 1983. N49(1/2). P.123-133

Шамрай Владимир Федорович

Шамрай Владимир Федорович, доктор физико-математических наук, профессор. Окончил МАТИ в 1959 году, в течение 3 лет работал в ВИАМ по материаловедению алюминий-литиевых сплавов. Соавтор первого отечественного алюминий-литиевого сплава 1420. В аспирантуру ИМЕТ поступил в 1962 г. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических и доктора физико-математических наук защитил в 1966 г. и 1979 г. В 1970 г. окончил вечернее отделение физического факультета МГУ. Заведующий лабораторией кристаллоструктурных исследований с 1984 г. Активно сотрудничал в Международной Лабораторией Сильных Магнитных Полей и Низких температур (г. Вроцлав, Польша) по проблеме сверхпроводимости; в 1980-1982 г.г. работал заместителем директора этой лаборатории. С 1993 по 2012 г.г. был лектором филиала кафедры «Физические проблемы материаловедения» МИФИ; с 2001 по 2012 - его заведующим. Член Ученого Совета ИМЕТ РАН, член квалификационного Ученого совета Д 002.060.01, член редколлегий журналов «Металлы» и «Материаловедение».

Лаборатория кристаллоструктурных исследований

Лаборатория кристаллохимии металлов и сплавов №13 была организована академиком Н.В.Агеевым в 1951 г.

Его труды по систематическому исследованию кристаллических структур и свойств интерметаллических фаз и неорганических соединений, а также механизмов старения твердых растворов в системах Cu-Ag, Au-Cu, Cu-Al, установленная им связь между изменением физических свойств и степенью упорядочения фаз, хрупкостью хрома и его магнитной и дислокационной структурой, пионерские работы по распределению электронной плотности послужили основой начальных научных исследований Лаборатории.

Николай Владимирович всегда акцентировал внимание на том, что Лаборатория должна быть ориентирована, прежде всего, на выполнение структурных исследований, проводимых всеми подразделениями Института. Он также четко обозначил два основных направления ее научной деятельности: исследование кристаллических структур интерметаллических фаз и неорганических соединений и текстур материалов

промышленного назначения. Приоритеты исследований в этих направлениях сохранились и до настоящего времени.

Работы по кристаллоструктурному направлению начались, что называется, «с хода». Во многом это определилось деятельностью О.Г. Карпинского, которого Н.В. пригласил руководителем группы в Лабораторию с кафедры «физических проблем материаловедения» МИФИ, заведующим которой он был в то время. Постановка О.Г. Карпинским на начальном этапе основных методик, приобретение необходимого оборудования позволили Лаборатории вскоре решать многие вопросы, возникающие в различных подразделениях Института. Впоследствии, в связи с приобретением монокристалльного дифрактометра «Syntex1», возможности группы структурного анализа (Б.А. Евсеев, А.В. Аракчеева, Г.У. Лубман), заметно расширились. Оказалось возможным решать структурные задачи высокого уровня. Наиболее интересные и значимые работы были выполнены в тесном сотрудничестве с коллективами ряда лабораторий ИМЕТ: Лабораторией №3 — по структуре полукальциевых ферритов, которые служат связкой в металлургическом сырье (с большим экономическим эффектом); Лабораторией №11 — по политипным модификациям сложных полупроводниковых соединений. Основным методом структурных исследований в настоящее время служит метод Ритвелда, адаптированный к программным комплексам Jana2006 и MAUD, с помощью которых проводятся исследования, в том числе, по ВТСП (совместно с Лаб. 12) и кальциевым фосфатам, аналогом костных тканей (совместно с Лаб. 20) (А.Б. Михайлова, В.П. Сиротинкин).

В становление исследований по текстурам большой вклад внесла заместитель Н.В.Агеева — Лидия Николаевна Гусева. Ее опыт, приобретенный в тонких рентгеноструктурных исследованиях по распределению электронной плотности, включая методики, связанные с обращением Фурье, позволили ей оценить и поддержать работы молодого сотрудника А.А. Бабарэко. Результатами деятельности А.А. Бабарэко и ее группы (С.Я. Бецофен, Е.Б. Рубина, И.В. Эгиз) стали уникальные исследования по текстурам титановых сплавов (выполненные, в том числе, по договорам с НПО Прометей), текстурам и механизмам пластической деформации тугоплавких металлов, алюминиевым сплавам. Коллективом этой группы, совместно с ЦНИИЧМ, была предложена конструкция, и в СКБ ИМЕТ РАН изготовлены 2 уникальных текстургонометра для исследования текстур крупнокристаллических образцов. С участием А.А. Бабарэко и И.В. Эгиз, вышла в свет первая отечественная монография по текстурам металлических материалов «Теория образования текстур в металлах и сплавах» под редакцией Н.В. Агеева.

С.Я. Бецофен установлен эффект текстурного упрочнения материала топливных баков, производимых на предприятиях НПО «Энергия», на ~ 20%, который был включен в техническую карту производства топливных емкостей космических систем.

Обнаружен эффект кристаллографического разрушения полуфабрикатов алюминий-литиевого сплава, обладающих практически однокомпонентной структурой. Опыт, приобретенный Лабораторией в исследованиях по текстурам и микроструктуре титановых сплавов, был использован при разработке оригинального титанового сплава ИВТ1, внедренного на НПО Электросила (Л.А. Петрова, Л.П. Гранкова). В настоящее время исследования в Лаборатории по текстурам (В.Н. Серебряный, А. Калянова) направлены, преимущественно, на изучение текстур материалов из легких сплавов, в том числе — подвергнутых интенсивной пластической деформации. Значительная их часть выполняется по договорам.

В рамках исследований по защитным покрытиям, где изучались кинетика образования защитных слоев, распределение основных легирующих компонентов в поверхностных слоях, состояние их окисления (Д.В. Игнатов, Э.М. Лазарев, А.С. Гордеев), проводятся работы по антифрикционным ионно-плазменным покрытиям на изделиях из стали 30ХГСА для аэрокосмической техники (А.С. Гордеев, Ю.Э. Мухина).

80 лет проведения исследований сплавов цветных и легких металлов в Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

Л. Л.Рохлин, Н. Р. Бочвар, Т. В. Добаткина

Рохлин Лазарь Леонович



поступил на работу в ИМЕТ РАН в 1956 г. после окончания Московского Института Стали и Сплавов. Прошел путь от должности младшего научного сотрудника до главного научного сотрудника, включая заведующего лабораторией (1987-2006 г.г.). В 1963 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1983 г. – докторскую диссертацию по специальности металловедение и термическая обработка. В 1994 г. получил звание профессора. Специалист в области металловедения цветных и легких сплавов, физико-химического анализа, построения и анализа диаграмм состояния металлических систем.

Бочвар Наталия Рубеновна



поступила на работу в ИМЕТ РАН в 1959 г. после окончания Московского Института Цветных металлов и Золота им. М.И. Калинина. Прошла путь от должности лаборанта, младшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника до ведущего научного сотрудника. В 1968 г. защитила кандидатскую диссертацию по специальности металловедение и термическая обработка. Специалист в области металловедения цветных и легких сплавов, физико-химического анализа сплавов на основе алюминия, магния и меди, построения и анализа диаграмм состояния металлических систем.

Добаткина Татьяна Владимировна



поступила на работу в 1971 г. после окончания Московского Института Стали и Сплавов. Прошла путь от должности стажера-исследователя до ведущего научного сотрудника, включая заведующего лабораторией (2006-2009 г.г.). В 1979 г. защитила кандидатскую диссертацию по специальности металловедение и термическая обработка. Специалист в области металловедения цветных и легких сплавов, физико-химического анализа сплавов на основе магния и алюминия, построения и анализа диаграмм состояния двойных и тройных систем на основе магния и алюминия.

Одним из основных научных направлений образовавшегося 80 лет назад Института металлургии в составе Академии наук СССР являлось проведение металловедческих исследований сплавов цветных металлов. Включение в состав Института соответствующего структурного подразделения было связано с широким применением и большим значением для промышленности сплавов цветных металлов, необходимостью их совершенствования и создания новых материалов для техники с лучшими характеристиками. Такого рода задачи могли быть выполнены на основе результатов фундаментальных научных исследований сплавов цветных металлов, изучения закономерностей их строения и свойств в зависимости от состава, условий получения и различных видов обработки. Проведение работ в этом направлении и стало осуществляться в Институте металлургии Академии наук СССР.

За 80 лет существования в Институте металлургии произошло множество изменений в его тематике и структуре в соответствии с развитием науки и промышленности, возросшими потребностями времени. Изменилось также название института. В настоящее время — это Институт металлургии и материаловедения имени А.А.Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН). Установленное при образовании института направление, предусматривающее металловедческие исследования сплавов цветных металлов, также изменялось и развивалось, но сохранилось и не потеряло своей актуальности. Лаборатория №18 металловедения цветных и легких металлов представляет это направление и в настоящее время. В работе лаборатории уделялось и уделяется значительное внимание легким сплавам на основе алюминия и магния. Особенностью работ лаборатории являлась



Рис. 1. Свидерская Зоя Андреевна, кандидат технических наук, соавтор Бочвара А.А. в «Явлении сверхпластичности в сплавах цинка с алюминием» (Изв. АН СССР. ОТН. 1945. № 9).



Рис. 2. Бочвар Андрей Анатольевич. Первый орден. Фото 1936 г. В 1945 г. Бочвар А.А. ввел термин «сверхпластичность», ставший общепризнанным.

тесная связь с промышленностью, учет ее запросов и возможностей, участие в реализации научных результатов в практической деятельности предприятий.

Руководителями работ по металловедческим исследованиям цветных металлов в ИМЕТ РАН являлись выдающиеся ученые в области металловедения. Из них в первую очередь следует упомянуть академика Андрея Анатольевича Бочвара, который работал в ИМЕТ РАН более 10 лет. Следует также упомянуть доктора технических наук, профессора Петрова Дмитрия Андреевича, крупного специалиста в области алюминиевых сплавов и диаграмм состояния, который также один из первых в СССР стал развивать физико-химические исследования полупроводниковых материалов. После Д.А.Петрова лабораторию возглавил доктор химических наук, профессор Абрикосов Н.Х. Затем в течение длительного времени работами в области цветных и легких сплавов руководил в качестве заведующего лабораторией доктор технических наук, профессор Дриц Михаил Ефимович.

К числу наиболее значимых работ в области цветных и легких сплавов, выполненных в лаборатории, следует отнести начатые под руководством академика А.А.Бочвара исследования литейных свойств цветных сплавов (линейной и объемной усадки, приусадочного расширения, горячеломкости), закономерностей в изменении их от состава с учетом соответствующих диаграмм состояния и механизма кристаллизации с образованием эвтектической составляющей. Под руководством А.А. Бочвара были также начаты работы по исследованию жаропрочности сплавов на основе

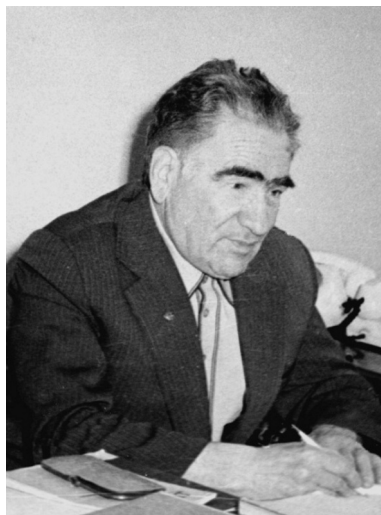


Рис. 3. Михаил Ефимович Дриц, заведующий лабораторией с 1963 по 1987 годы.

алюминия, магния и меди. В этих исследованиях была установлена связь жаропрочности сплавов с диаграммой состояния и жаропрочностью вторых фаз, образующихся в структуре. Установлена особенно высокая жаропрочность литых сплавов, в которых после кристаллизации образуется непрерывный каркас, состоящий из жаропрочной второй фазы.

А.А. Бочваром совместно с З.А. Свидерской было открыто на сплавах алюминия с цинком явление «сверхпластичности». К этому явлению проявился значительный интерес спустя многие годы в связи с возможностью разработки на его основе высокоэффективных технологий обработки давлением различных металлических и неметаллических материалов.

Вот что написано о А.А. Бочваре и «сверхпластичности» в книге Александровой Т.А., Львова А.Л. «Личность и время. Пик Металловеда (Академик Бочвар)». Москва. Издательский Дом МИСиС, 2009 г., в главе «Больше, чем пластичность»:

«Неосознанно мы получаем представление о пластичности в раннем детстве, когда впервые берем в руки такой податливый материал, как пластилин. Гораздо позднее узнаем, что это свойство характеризует движение (грацию человека или зверя) и даже, к примеру, чеховскую прозу. Словом «сверхпластичность» тренеры, да и каждый из нас, могут оценить талантливую девочку, пришедшую в художественную гимнастику. Но строгий термин «сверхпластичность» принадлежит Бочвару и металловедению.

Некоторые металлы и сплавы удивляли экспериментаторов издавна. Французы Анри Треска и Адемар Сен-Венан жили веком раньше Бочвара. А к 1912 году относится работа Бенгаха, который, нагревая латунь до 700°C, достиг относительной деформации образцов более чем полуторной (163 процента). Англичанин Розенгейн установил, что величина удлинения до разрыва образцов очень зависит от временного характера нагружения, и при определенных условиях сплав цинка, алюминия и меди начинает вести себя как ... смола. До того времени (1920 г.) никто не мог представить, что металлический сплав может вести себя как вязкая жидкость. Но на этот и другие факты высокой пластичности мировая наука обратила внимание много позже, когда шок запуска «дремучими, лапотными советами» первого спутника заставил листать назад советские и мировые научные журналы. А.А.Бочвар и его сотрудница З.А. Свидерская, обнаружившие в 1944 году удлинение 350–400% у сплава Zn-22% Al, также не знали о предшествующих исследованиях. Более того, А.А. Бочвар не знал и работы Пирсона (1934 г.), опубликованной в журнале британского Института металлов, где был сделан ряд точных выводов. Научная общественность их не заметила, так как результаты легко объяснялись представлениями того времени. Сейчас работа Пирсона по механическому поведению сплавов олово-свинец и олово-висмут признана классической Пирсон во многом опередил время, но он не увидел в полученных результатах нового явления. Для сплавов на основе таких легкоплавких

металлов, как олово, свинец, висмут, обнаруженное им поведение считалось нормальным. Так или иначе, новый значительный шаг в исследовании сверхпластичности сделал А.А. Бочвар, оценивший новое необычное поведение металла, которое не сумели оценить все его предшественники. Введенный им термин «сверхпластичность» стал общепризнанным, а сплав «цинкаль» ($Zn-22\%Al$) – классическим объектом изучения. Чтобы объяснить экспериментально наблюдаемые большие деформации при исчезающих малых напряжениях, Бочвар предложил теорию: в двухфазных материалах типа цинкаля изменение формы образца может осуществляться за счет сочетания взаимного смещения зерен и направленного диффузионного переноса массы. ... Однако, выступая в День науки перед своим коллективом, Бочвар посетовал на отсутствие законченной теории сверхпластичности и обратился с предложением к молодым специалистам подумать над этой задачей и найти ей исчерпывающее теоретическое объяснение. К началу нового века благодаря многочисленным работам отечественных и зарубежных ученых природа сверхпластичности перестала быть загадкой, подробно изучены и описаны изменения структуры во время деформации и все действующие механизмы. Эти знания позволили создать множество сверхпластичных сплавов на самых разных основах».

Под руководством доктора технических наук Д.А. Петрова в лаборатории был построен ряд тройных диаграмм состояния легких сплавов, но затем его основное внимание сосредоточилось на исследованиях, связанных с получением полупроводников со специальными свойствами. Это диктовалось возникшим в то время значительным интересом к этим материалам со стороны промышленности. Сменивший в 1958 г. Д.А. Петрова доктор химических наук Н.Х. Абрикосов также, в основном, развивал в лаборатории исследования, связанные с полупроводниками. Однако исследования по медным сплавам и легким сплавам на основе алюминия и магния продолжались в составе той же лаборатории. Во второй половине 60-х годов прошлого столетия произошло разделение одной лаборатории на две: лабораторию полупроводниковых материалов и лабораторию металловедения цветных и легких металлов. Заведующим второй лабораторией стал доктор технических наук Михаил Ефимович Дриц.

С 1987 г. по 2006 г. заведующим лабораторией был доктор технических наук, профессор Лазарь Леонович Рохлин. После него до 2009 г. заведующей лабораторией являлась кандидат технических наук, старший научный сотрудник Татьяна Владимировна Добаткина, а с того же 2009 г. и по настоящее время лабораторию возглавляет доктор технических наук, профессор Сергей Владимирович Добаткин.

При руководстве лабораторией М.Е. Дрицом после ее разделения были продолжены исследования, направленные на построение диаграмм состояния, характеризующие фазовые равновесия в сплавах на основе алюминия, магния и меди. При этом системы для исследований выбирались таким образом, чтобы в них присутствовали ранее не применявшиеся для



Рис. 4. Сергей Владимирович Добаткин, заведующий лабораторией с 2009 г. по настоящее время.

легирования алюминия, магния и меди элементы, которые рассматривались как возможные для легирования в будущем. Это были в основном различные редкие и редкоземельные металлы, а также литий и кальций. Считалось, что построение диаграмм состояния создаст основу для разработки новых сплавов с лучшими свойствами для промышленности. Работы коллектива лаборатории в области диаграмм состояния (Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Добаткина Т.В., Падежнова Е.М., Лысова Е.В.) не ограничивались только их построением. Были изучены и обобщены имеющиеся в научной литературе сведения по диаграммам состояния сплавов алюминия, магния и меди со всеми другими элементами и на основании этого составлены и опубликованы два справочника: «Диаграммы состояния систем на основе алюминия и магния» (Изд-во «НАУКА», 1977 г.) и «Двойные и многокомпонентные системы на основе меди» (Изд-во «НАУКА», 1979 г.). В дальнейшем сотрудники лаборатории были приглашены и активно участвовали в международных проектах по составлению справочников по диаграммам состояния металлических систем: “Ternary Alloys. A Comprehensive Compendium of Evaluated Constitutional Data and Phase Diagrams” (Materials Science International Services, GmbH, Stuttgart, FRG, 1991-2001 г.г.) и “Ternary Alloy Systems. Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data critically evaluated by MSIT” (Энциклопедия Landolt-Boernstein, новая серия, 2004-2010 г.г.), и при составлении отечественного справочника «Диаграммы состояния двойных металлических систем» под общей редакцией академика Н.П.Лякишева (Изд-во «Машиностроение», 1996-2000 г.г.).

Механические и другие свойства сплавов на основе алюминия, магния и меди во многом определяются возможностью протекания в них распада пересыщенного твердого раствора на базе металла-основы. Поэтому в лаборатории было уделено большое внимание изучению этого процесса при исследовании сплавов, содержащих ранее не использованные легирующие элементы. Были установлены особенности упрочнения и разупрочнения сплавов магния со всеми редкоземельными металлами при распаде пересыщенного твердого раствора, и было определено, что кинетика этого процесса существенно зависит от атомного номера этих элементов (Свидерская З.А., Рохлин Л.Л., Никитина Н.И., Падежнова Е.М., Гузей Л.С., Добаткина Т.В., Муратова Е.В., Потемкин В.Ф., Орешкина А.А., Лукьянова Е.А., Королькова И.Г., Тарытина И.Е.). Были определены редкоземельные металлы, которые в наибольшей степени способствуют повышению прочностных свойств магниевых сплавов. Это дало возможность предложить новые легкие магниевые сплавы с более высокой прочностью при близких к комнатной и повышенных температурах, например сплавы, содержащие гадолиний, в частности известный деформируемый магниевый ИМВ7-1 системы Mg-Y-Gd-Zr. Работы по магниевым сплавам, содержащим различные редкоземельные металлы, в большом объеме проводятся в настоящее время за рубежом, особенно в Китае. Проводятся сейчас они и в ИМЕТ РАН.

Значительный вклад в работах лаборатории под руководством М.Е. Дрица был сделан в изучение магниевых сплавов, содержащих в качестве основной легирующей добавки металл торий. Были изучены механические свойства магниево-ториевых сплавов, поведение сплавов при дополнительном легировании и термической обработке, предложен новый конструкционный сплав для практического использования при повышенных температурах. Магниево-ториевые сплавы до сих пор рассматриваются как наиболее жаропрочные магниевые сплавы.

Редкоземельные металлы использовались как легирующие добавки в работах лаборатории также и в случае алюминиевых сплавов (Каданер Э.С., Добаткина Т.В., Туркина Н.И., Торопова Л.С., Характерова М.Л., Камардинкин А.Н., Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р.). В этих исследованиях было установлено, что только один редкоземельный металл – скандий – является эффективной легирующей добавкой, но эффект упрочнения при введении этой добавки в алюминиевые сплавы значителен. В работах лаборатории было изучено влияние скандия на прочностные свойства алюминиевых сплавов различных основных систем и установлено, в случае каких систем и при каких условиях термической обработки и пластической деформации действие скандия на алюминиевые сплавы дает наиболее положительные результаты. Установлен также механизм упрочнения алюминиевых сплавов при введении в них скандия. В ходе этих работ был разработан для промышленности, используемый для ответственных изделий известный алюминиевый сплав, содержащий скандий, марки 1570,

который не требует упрочняющей термообработки, хорошо сваривается и отличается высокой коррозионной стойкостью. Этот сплав превосходит по своим характеристикам другие алюминиевые сплавы подобного типа. Можно считать, что возможности улучшения алюминиевых сплавов при введении в них скандия еще полностью не использованы, и работы по сплавам, содержащим эту легирующую добавку, в лаборатории продолжают.

В лаборатории значительное место было уделено алюминиевым и магниевым сплавам, содержащим литий (Свидерская З.А., Трохова В.Ф., Никитина Н.И., Кузьмина В.И., Падежнова Е.М., Добаткина Т.В.). Литий имеет более низкую плотность, чем магний, и тем более алюминий. Поэтому введение его как в магний, так и в алюминий приводит к снижению плотности содержащих его магниевых и алюминиевых сплавов, что весьма ценно, учитывая применение сплавов на основе обоих металлов в качестве легких конструкционных материалов. Введение лития в алюминиевые сплавы, кроме того, способствует повышению их модуля упругости. В лаборатории был проведен ряд исследований этого типа сплавов, которые выявили особенности их строения, зависимости свойств и структуры от присутствия других легирующих элементов с построением со-



Рис. 5. Михаил Ефимович Дриц и Владимир Иванович Добаткин, заместитель начальника ВИЛС, по дороге на конференцию по диаграммам состояния металлических систем (Звенигород, 1982 г.).

ответствующих диаграмм состояния, влияние на свойства и структуру различных видов и условий обработки, поведение сплавов в условиях возможной эксплуатации. С учетом проведенных исследований был разработан ряд сплавов, предназначенных для практического использования, в том числе промышленный деформируемый сплав, включенный в ГОСТ СССР под маркой МА21, отличающийся более низкой, чем у магния, плотностью и достаточно высокими прочностными свойствами.

Особое место в проводимых лабораторией работах занимали исследования физических свойств алюминиевых и магниевых сплавов, в частности исследования акустических свойств: затухания и скорости ультразвука в алюминиевых и магниевых сплавах (Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Зусман Л.Л., Шкиров В.С.). Эти исследования были обусловлены интересом к металлическим материалам для ультразвуковых линий задержки, устройств в радиотехнических приборах, предназначенных для задержки по времени электрических импульсов путем трансформации их на определенных этапах в импульсы ультразвука. В такого рода материалах должно быть низкое затухание ультразвука в мегагерцевом диапазоне частот, и магний, как и алюминий, в связи с особенностями их кристаллических решеток должны были быть наиболее подходящими основами для разработки сплавов с низким затуханием ультразвука (с высокой звукопроводностью). Были проведены исследования, в которых устанавливалось влияние на звукопроводность магниевых и алюминиевых сплавов их состава, обработки давлением и термической обработки и установлены материалы с наиболее высокой звукопроводностью. Предложенный для



Рис. 6. 2015 г. ВИЛС. На конференции, посвященной 100-летию со дня рождения члена корреспондента РАН Добаткина Владимира Ивановича. Выступает Сергей Владимирович. Добаткин.

промышленного использования специальный магниевый сплав с высокой звукопроводностью был принят для использования в промышленности и включен в ГОСТ СССР под маркой МА17. Проводились также исследования затухания упругих колебаний высокой амплитуды и низкой частоты (демпфирующей способности) в магниевых и алюминиевых сплавах (Шередин В.В., Рючина Г.В.)

В области медных сплавов в лаборатории проводились и проводятся исследования, связанные с использованием медных сплавов, в которых высокая электропроводность сочетается с высокой жаропрочностью (Корольков А.М., Лысова Е.В., Бочвар Н.Р., Леонова Н.П., Баранчиков В.В.). Наряду с этим проводились также исследования, направленные на разработку и внедрение в электронную технику новых проводниковых и резистивных пленочных материалов на основе меди. Это позволило существенно повысить качество и надежность приборов электроники и получить значительный экономический эффект.

В последние годы в лаборатории, руководимой доктором технических наук, профессором С.В.Добаткиным, проводятся работы, в которых для улучшения свойств стали и сплавов на основе магния, алюминия и меди используются различные способы интенсивной пластической деформации (Добаткин С.В., Рыбальченко О.В., Страумал П.Б., Шаньгина Д.В., Лукьянова Е.А., Мартыненко Н.С.). Интенсивная пластическая деформация позволяет получать ультрамелкозернистые (УМЗ) структуры в



Рис. 7. Лаборатория металловедения цветных и легких металлов (№ 18). 2011 г. Сидят: Шаньгина Д.В., Рыбальченко О.В., Леонова Н.П., Бочвар Н.Р., Рохлин Л.Л., Добаткина Т.В., Тарытина И.Е., Королькова И.Г. Стоят: Просвирнин Д.В. (лаб. № 10), Страумал П.Б., Шарипова К.А, Токарь А.А., Максименкова Ю.М, Суханов А.В., Лукьянова Е.А., Мартыненко Н.С.

металлах и сплавах, что обеспечивает существенное повышение как прочностных, так и эксплуатационных (усталостная прочность, износостойкость, электропроводность и др.) свойств сплавов. Выявлено повышение износостойкости электродов контактной сварки из УМЗ Cu-Cr-Ni сплавов в четыре раза. Показана возможность повышения биосовместимости УМЗ магниевых сплавов как *in vitro*, так и *in vivo* и использования этих сплавов в качестве биорезорбируемых имплантатов в реконструктивной хирургии и онкологии.

Исследования, проводимые в лаборатории, всегда были тесно связаны с промышленностью, ее запросами; поддерживались контакты с работниками отраслевых институтов и предприятий, работающих в области металловедения цветных и легких сплавов, а также с работниками высших учебных заведений – ВИЛС, ВИАМ, МИСиС, ГИПРОЦМО, МВТУ, МАТИ и др. Взаимодействие с работниками промышленности проявлялось также в участии сотрудников лаборатории в работах, связанных с опытно-промышленной проверкой предложений лаборатории по использованию полученных результатов исследований в промышленности и внедрением их в промышленность. Часть работ проводилась по хозяйственным договорам, в том числе с такими крупными производителями легких и цветных металлов, как Аллюминиевая Компания Америки (Alcoa), Русал, Норильский никель.

В связи с важностью для промышленности результатов исследований лаборатории, сотрудники лаборатории были дважды, в 1967 и 1999 г.г., удостоены присуждения Государственной премии. В 1986 г. сотрудники лаборатории были удостоены присуждения им Премии Совета Министров СССР.

По легким сплавам на основе алюминия и магния и на основе меди в лаборатории было защищено 3 докторских диссертации и более 30 кандидатских диссертаций. Ряд работ был отмечен медалями ВДНХ. За работы в области легких сплавов сотрудники лаборатории были дважды удостоены премии имени Д.К. Чернова НТО Машпрома.

Лаборатория «Физикохимии и технологии покрытий», №25

Создание и быстрое развитие в конце 50-х годов техники генерирования низкотемпературной плазмы явилось основой развития новых научных направлений материаловедения в ИМЕТ РАН. Академик Николай Николаевич Рыкалин явился создателем научной школы и основоположником нового направления по энергофизике и технологии воздействия высококонцентрированных потоков энергии на вещество.

Им была основана Лаборатория № 16 «Плазменных процессов в металлургии и обработке материалов», которая сочетала в себе применение плазмы для нескольких мощных направлений развития науки в области металлургии, создания и обработки новых материалов. Особенно удачное применение плазма нашла в нанесении покрытий и создании композиционных материалов (КМ). Плазма стала фундаментом для развития новых научных направлений в технике и привела к быстрому развитию технологий и их промышленному применению в ранее не существовавших отраслях техники. Плазменная обработка была положена в основу технологии создания матриц КМ, упрочнённых неметаллическими волокнами. Эти работы выполнялись совместно с Лабораторией № 20 «Композиционных материалов», под руководством д.т.н., проф. М.Х. Шоршорова.

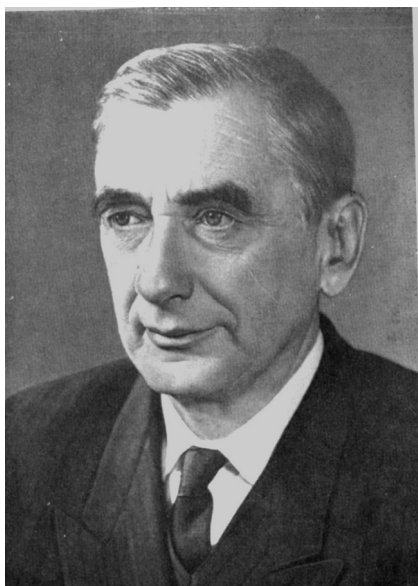


Рис. 1. Академик АН СССР Николай Николаевич Рыкалин.



Рис. 2. Шоршоров Минас Хачатурович, лауреат премии имени П.П. Аносова (1966 г.), иностранный член Лондонского Королевского общества (Британской академии наук) (1980 г.), лауреат премии имени А.А. Байкова (1981 г.), лауреат Государственной премии СССР (1984 г.).

Быстрое увеличение объёма исследований и необходимость промышленного внедрения привели к созданию в 1980 году Лаборатории № 25 «Физикохимии и технологии покрытий». Она была создана по инициативе ведущих учёных ИМЕТ РАН — академика Н.Н. Рыкалина, члена-корр. А.И. Манохина, д.т.н. М.Х. Шоршорова и д.т.н. В.В. Кудинова, который стал её организатором и первым заведующим. Лаборатория была сформирована путём объединения исследований, проводимых в лабораториях № 16 (Галкин Юрий Александрович) и № 20 (Катинова Лариса Валентиновна, Котелкин Анатолий Сергеевич), которые работали в направлении композиционных материалов и покрытий. Существенный вклад в эту тематику внес Лев Михайлович Устинов. Его аналитические исследования позволили получить прессованные ВКМ А1-В с высокими механическими свойствами, предел прочности на растяжение 158 кг/мм^2 . Сотрудники шутили: «Мы из лаборатории №36=16+20». Создание нового научного направления и самой Лаборатории № 25 было поддержано Президентом Академии наук СССР академиком Анатолием Петровичем Александровым.



Рис. 3. Президент Академии наук СССР академик Анатолий Петрович Александров (в центре), академик Николай Николаевич Рыкалин (справа), д.т.н., проф. Владимир Владимирович Кудинов (слева).



Рис. 4. Президент Академии наук СССР академик Анатолий Петрович Александров (справа), директор ИМЕТ член-корр. Евгений Михайлович Савицкий (слева), докладчик д.т.н., проф. Владимир Владимирович Кудинов (сзади).



Рис. 5. Вручение Лаборатории № 25 вымпела и почётной грамоты «Победителю социалистического соревнования» в 1984 г.: зав. лаб. В.В. Кудинов, парторг С.М. Саватеева, комсорг И.В. Трегубова, профорг О.И. Булычёв (слева направо).

Программу работ по исследованию и промышленному применению новых процессов было поручено разработать д.т.н., проф. В.В. Кудинову.

В результате создания Лаборатории № 25 и её деятельности была разработана и применена в промышленности плазменная технология получения КМ на основе алюминиевых сплавов, армированных активированными волокнами бора и борсика. Разработка технологии плазменного получения матриц для этих КМ была выполнена д.т.н. В.И. Калитой. Эта работа проводилась совместно с Лабораторией композиционных материалов. Заведующий этой лабораторией М.Х. Шорпоров руководил работой в целом, включая исследования процессов получения композитов прессованием и прокаткой. Было организовано производство этого полуфабриката плазменным напылением из алюминиевой проволоки на борные волокна в городе Калуге.

В Лаборатории № 25 разрабатывались фундаментальные основы материаловедения покрытий и напылённых материалов, обоснование их перспективных составов, проводилось изучение влияния параметров процесса напыления на структуру, фазовый состав, физико-химические и физико-механические свойства напылённого материала. Совместно с НПО «Тулачермет» был организован цех по производству порошков для нанесения покрытий и порошковой металлургии. В 1984 г. работа Лаборатории № 25 увенчалась победой в социалистическом соревновании.

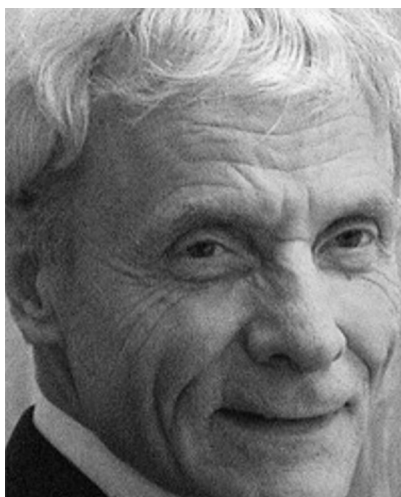


Рис. 6. Кудинов Владимир Владимирович, лауреат Государственной премии СССР (1984 г.).

Успехи Лаборатории № 25 были отмечены Правительством СССР: в 1984 г. лауреатами Государственной премии СССР стали д.т.н., проф. В.В. Кудинов и к.т.н. О.В. Гусев — за создание покрытий и материалов для спецтехники.

Г.н.с., д.т.н. Владимир Владимирович Кудинов, ученик академика Николая Николаевича Рыкалина, один из основателей в СССР научной школы по плазменному напылению. Исследования В.В. Кудинова включают все моменты плазменного напыления: нагрев напыляемого порошка в плазменной струе, его затвердевание на подложке. Особое внимание в них уделено формированию прочного соединения напыленной частицы с подложкой; для достижения этой цели проводились подробные исследования механизма твердофазного взаимодействия между ними.

Успешную научную группу, изучающую процессы формирования тонких пленок и их свойства, возглавлял к.т.н., с.н.с. Гусев Олег Владимирович, лауреат Государственной премии СССР 1986 г., присужденной за разработку технологии и организацию производства режущего инструмента с износостойким покрытием для машиностроения. Областью интересов группы также являлись характеристики поведения монокристаллов под воздействием механических нагрузок и проблемы сверхпластичности.

Лаборатория «Физики, химии и технологии покрытий» активно работала в области создания теплозащитных керамических покрытий на основе ZrO_2 . Была сформирована молодёжная группа исследователей под руководством к.т.н. П.Ю. Пекшева, которая создала несколько плаз-



Рис. 7. Грузин Михаил Васильевич, Рослякова Татьяна Леонидовна, Гусев Олег Владимирович.

менных установок для напыления, в том числе в разреженной атмосфере. Ведущие сотрудники данного научного направления — Сафиуллин Вячеслав Абдуллович, Чистый Александр Федорович, Мамонов Владимир Иванович. Особое место в исследования по формированию порошка для напыления занимает процесс механического легирования, который выполнял Черняков Сергей Владимирович.

Лаборатория принимала активное участие в выполнении работ в рамках программы по получению и исследованию материалов, обладающих свойствами высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). За счет использования ранее накопленного опыта по механическому легированию, в рамках лаборатории была разработана технология получения керамических порошков для плазменного напыления соединения $YBa_2Cu_3O_7$. Полученные порошки успешно применялись для плазменного напыления. Были получены плотные покрытия на керамических подложках и корковые изделия в виде колец толщиной до 10 мм. Мелкозернистая быстрозакаленная структура таких покрытий и изделий позволяла получить текстуру заданного направления, при последующей термообработке в градиентном тепловом поле. Исследование фазового состава и физических свойств ВТСП материалов проводилось совместно с другими лабораториями института и другими институтами Академии наук СССР. В данной работе принимали участие все сотрудники лаборатории.



Рис. 8. Пекшев Петр Юрьевич, Владиславлев Анатолий Иванович, Калита Василий Иванович.

В 1991 году директор ИМЕТ РАН Николай Павлович Лякишев назначил заведующим лабораторией В.И. Калиту, который активно занимался процессами плазменного напыления покрытий с аморфной и наноструктурой. Для формирования таких покрытий был разработан способ плазменного напыления с местной защитой, с использованием насадки к плазматрону. Использование насадки стало существенным шагом в совершенствовании технологии плазменного напыления. Уменьшение теплового воздействия плазмы на подложку и напыленное покрытие позволило получать металлические аморфные покрытия толщиной в несколько миллиметров. Таким методом были получены покрытия, экра-



Рис.9. Калита Василий Иванович, Комлев Дмитрий Игоревич.

нирующие электромагнитные поля на деталях космического навигационного оборудования и на корпусах изделий систем связи.

В 1996 году В.И. Калитой и Д.И. Комлевым были разработаны трёхмерные капиллярно-пористые (ТКП) покрытия с новым типом пористости в виде гребней и впадин. Была разработана технология нанесения таких покрытий, и создана лабораторная установка для их нанесения, в том числе и на реальные внутрикостные имплантаты. Такой тип покрытий не имеет мировых аналогов.

Распад СССР разбросал сотрудников по разным местам работы. Состояние науки было критическим, особенно для лабораторий, состоящих из молодёжи. Молодёжь ушла в бизнес. В худшие для науки годы (1998-2006 годы) в лаборатории оставалось минимальное количество научных сотрудников, площади для исследований сокращались. Особый и бесценный вклад в сохранение и умножение науки в эти тяжелые годы внесли кадровые инженеры-исследователи: Парамонов Владимир Анатольевич и Яркин Владимир Владимирович. Они активно участвовали в новых исследованиях: керметные наноструктурные и биоактивные покрытия.

Были выполнены подробные исследования структуры и механических свойств ТКП Ti покрытий. Покрытия разрабатывались для формирования поверхности на внутрикостных имплантатах. Эта разработка была реализована в медицинской практике в январе 2000 года. В настоящее время установлено более 20 тыс. тазобедренных имплантатов с ТКП Ti покрытиями, нанесенными в рамках выполнения заказов. Совместно с Институтом теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск), проведены успешные исследования в области применения ТКП покрытий для интенсификации теплообмена при смене агрегатного состояния хладагента. В настоящее время лаборатория активно занимается композиционными биоактивными покрытиями «титан – гидроксиапатит». По этой теме выполнены успешные исследования, позволившие разработать оптимальные варианты пористой структуры и фазового состава дополнительного биоактивного покрытия гидроксиапатита. В результате исследований, собственными силами разработана и изготовлена автоматизированная роботизированная установка для напыления внутрикостных имплантатов, которая не имеет мировых аналогов.

Разработка нового оборудования была бы невозможна без активной работы СКБ ИМЕТ РАН. Особенно большой вклад в изготовления обо-

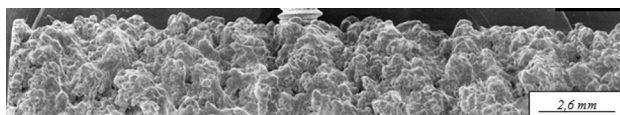


Рис. 10. Рельеф поверхности ТКП Ti покрытия.



Рис. 11. Парамонов Владимир Анатольевич, Яркин Владимир Викторович.



Рис. 12. Матюшин Евгений Григорьевич, Лоскутов Юрий Борисович, Трушин Владимир Михайлович.



Рис. 13. Академик РАН Юрий Владимирович Цветков.



Рис. 14. Лазаренко Валентин Михайлович.

рудования внесли Трушин Владимир Михайлович, Точилкин Анатолий Семенович, Лоскутов Юрий Борисович, Рокотянский Евгений Иванович, Матюшин Евгений Григорьевич.

Научная работа лаборатории была бы невозможна без совместной работы с сотрудниками всего ИМЕТ РАН им. А. А. Байкова. Особо следует отметить совместную плодотворную работу с лабораториями академика РАН Цветкова Юрия Владимировича, академика РАН Банных Олега Александровича, членов-корреспондентов РАН Григоровича Константина Всеволодовича, Баринова Сергея Мироновича, Колмакова Алексея Георгиевича, Алымова Михаила Ивановича, д.ф.-м.н. Шамрая Владимира Федоровича, д.т.н. Казенаса Евгения Константиновича, с научной группой к.т.н. Молоканова Вячеслава Владимировича.

Особая благодарность — моему другу Валентину Михайловичу Лазаренко, который помогал в самых сложных исследованиях и был

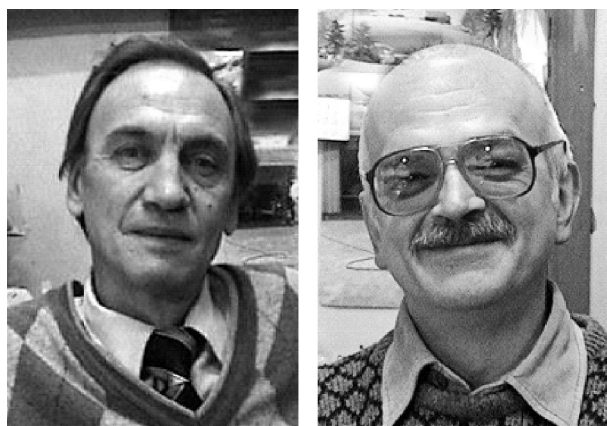


Рис. 15. Крылов Игорь Константинович, Мамонов Владимир Иванович.

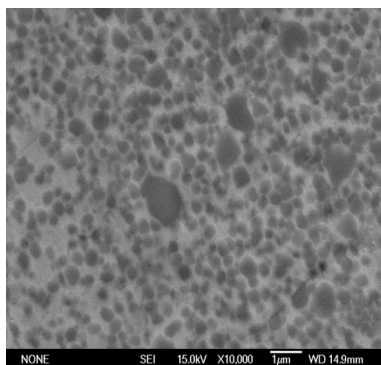


Рис. 16. Субструктура наноразмерного керметного покрытия TiCN – NiMo.

примером беззаветного служения науке! Хорошая память о Валентине Михайловиче осталась у всех нас!

Большое внимание лаборатория уделяет исследованиям керметных покрытий на основе карбидов и боридов. В первую очередь, анализу фазового состава покрытий, с целью сохранения структуры упрочняющих фаз и механических свойств композитов в целом.

Лаборатория продолжает свои исследования по композиционным материалам. В настоящее время применение теории и технологии воздействия потоков низкотемпературной плазмы на вещества и материалы позволяет создавать новые КМ и управлять их структурой и свойствами. Особенно большие возможности открывает обработка плазмой нанокристаллических материалов, как неорганического, так и органического про-



Рис. 17. Радюк Алексей Александрович, Иванников Александр Юрьевич.



исхождения. Успешно проведены исследования по активации волокон плазмой, что существенно повысило их адгезию к матричным смолам. По данному научному направлению, под руководством г.н.с. В.В. Кудинова, активно работают сотрудники — с.н.с. И.К. Крылов и с.н.с. В.И. Мамонов.

Благодаря плазменной активации упрочняющих сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых (СВМПЭ) волокон, в лаборатории получены лёгкие высокопрочные КМ полиэтиленпластики с высокими удельными характеристиками. Для активации поверхности была применена неравновесная низкотемпературная ВЧ-плазма с энергией ионного потока различных газов 10-80 эВ. Благодаря воздействию плазмы, СВМПЭ-волокнам сообщалась дополнительная энергия, необходимая для их прочного соединения с полимерной матрицей и создания высокопрочного КМ с улучшенными свойствами. По удельной прочности полиэтиленпластик превосходит конструкционные металлы в 6-7 раз, стеклопластики в 2,7 раза, а углепластики в 1,7 раза. Материал отличается высоким уровнем шумопоглощения и большой химической стойкостью. Благодаря низкой плотности (1,1 г/см³) и высокой прочности, его возможно применять в авиации, вертолётостроении, судо- и автомобилестроении, а также для производства средств индивидуальной защиты. Применение этого КМ в перечисленных областях позволит сэкономить 30-40% углеродного топлива, что улучшит экологическую обстановку окружающей среды.

Молодые сотрудники лаборатории, м.н.с. А.А. Радюк и с.н.с. А.Ю. Иванников активно включились в исследования лаборатории по плазменному напылению покрытий и их последующей электрохимической обработке. Наука жива!

Информацию об исследованиях и публикациях можно найти на сайте лаборатории <http://www.imet.ac.ru/lab25/stuff.html>

Сотрудники лаборатории обладают универсальными знаниями в области инженерных наук, и в годы безденежья в науке совмещали научную работу с самыми разными видами деятельности, не раз они ходили по Волге под парусами Стеньки Разина.

Лаборатория композиционных материалов №20

Лаборатория композиционных материалов была создана в Институте в 1971 году, когда произошло объединение Лаборатории порошковой металлургии и Лаборатории процессов соединения металлических материалов.

Возглавил новую лабораторию талантливый ученый и неординарный человек, ученик академика Николая Николаевича Рыкалина, д.т.н., профессор Минас Хачатурович Шоршоров (или просто МХ как между собой называли его сотрудники и друзья) (рис.1).

Шоршоров М.Х. родился в 25 октября 1922 года в Москве. Во время войны, с июля 1941 по январь 1942 г. находился в Народном ополчении, прервав обучение в Московском высшем техническом училище им. Баумана, куда он поступил в 1940г.; затем работал технологом в военной приемке на заводе № 828 НКМВ. Окончив МВТУ в 1947 г., а затем аспирантуру, в 1951 г. М.Х. Шоршоров успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Был распределен в Отделение электротермии АН СССР, где работал в 1951-1953 г. сначала в должности младшего научного сотрудника, а затем — ученого секретаря. После вхождения Отделения электротермии АН СССР в состав Института металлургии в 1953г., вся его дальнейшая научная жизнь связана была с ИМЕТ, здесь он прошел путь от старшего научного сотрудника до заведующего лабораторией, защитив в 1964 г. докторскую диссертацию; в 1969 г. получил звание профессора.

Минас Хачатурович был известен как создатель теоретических основ металловедения сварки стали и сплавов титана, их термопластического упрочнения, клинопрессовой сварки труб из разнородных металлов, плазменной наплавки разнородных металлов, а также — работами в области исследования сверхпластичности металлических материалов и волокнистых композиционных материалов с металлическими матрицами.



Рис.1. Шоршоров Минас Хачатурович, 1982 г.

Его научные заслуги отмечены наградами. Шоршоров М.Х. являлся лауреатом Государственной премии СССР (03.11.1984), премии имени П.П. Аносова (РАН, 1966) и премии имени А.А. Байкова (1981). Награжден Орденом Трудового Красного Знамени (13.05.1981).

Соавтор 24 монографий, более 900 статей в российских и зарубежных журналах и 164 изобретений. Ряд его книг переведен на иностранные языки и получил международное признание. В 1980 г. он был избран иностранным членом Лондонского Королевского общества (Британской академии наук).

М.Х. активно занимался педагогической деятельностью; являясь профессором МВТУ им. Н.Э.Баумана, он большое внимание уделял воспитанию и подготовке научных кадров. Под его руководством (руководством Шоршорова) защищены 100 кандидатских и 10 докторских диссертаций. Типичная картина, которую можно было наблюдать практически ежедневно в коридоре у дверей его кабинета, – это толпа из аспирантов, соискателей, сотрудников, прибывших из других организаций, как Москвы, так и всего Советского Союза, желающих получить консультацию, совет или подискутировать по тому или иному вопросу. И он консультировал, делился знаниями и обсуждал новые проекты. М.Х. часто повторял, что в науке может быть тесно только дуракам, поэтому он с радостью дарил свои идеи, с надеждой на их воплощение в жизнь и на то, что новые поставленные задачи могут быть кем-то решены.

Вместе с М.Х. Шоршоровым в лабораторию пришла Татьяна Александровна Чернышова, человек очень одаренный, эрудированный, творческий (рис. 2). «Талантливый человек талантлив во всем». Золотая медаль по окончании школы, диплом МВТУ им. Н.Э. Баумана с отличием, успешные защиты диссертаций: в 1967 г. кандидатской, а в 1978 г. — докторской диссертации. Отработав в ЦНИИМВ положенные годы



Рис. 2. Чернышова Татьяна Александровна, 1998 г.

по распределению после вуза, она поступила в 1963 году в аспирантуру (ИМЕТ к Н.Н.Рыкалину, а непосредственным руководителем работы стал ее учитель по МВТУ, профессор М.Х.Шоршоров. В ИМЕТ РАН Татьяна Александровна прошла путь от аспиранта до главного научного сотрудника.

Научные интересы Т.А. Чернышовой были достаточно широки, она являлась высококвалифицированным специалистом в области физического материаловедения, теории и технологии литейного и сварочного производства. Первые годы научной деятельности Т.А. занималась вопросами сварки тугоплавких сплавов. Перейдя в лабораторию композиционных материалов, она стала специалистом в области композиционного материаловедения.

С 1975 года, вместе с сотрудниками, Т.А. Чернышова занималась разработкой теории и технологии литых композиционных материалов. Основное научное направление работы - изучение контактных явлений на поверхностях раздела фаз и создание, на этой основе, композиционных материалов, обладающих высокими термической стабильностью, механическими и трибологическими свойствами. Были исследованы КМ на базе сплавов алюминия с различными видами волокнистых упрочнителей — волокон углерода, бора, карбида кремния. С начала 90-х годов деятельность группы была направлена на разработку технологии дисперсно-упрочненных антифрикционных, износостойких композиционных материалов для узлов трения двигателей внутреннего сгорания и средств транспортировки грузов.

За долгие годы работы Т.А. Чернышовой, совместно с коллегами, опубликовано более 300 научных трудов, в том числе 7 монографий.

Большое внимание Т.А. Чернышова уделяла своей научно-педагогической деятельности. В 1986г. она получила звание профессора. Человек, увлечённый наукой, щедро делилась Татьяна Александровна своими знаниями с учениками и сотрудниками, передавая свой опыт, постоянно занимаясь подготовкой научных кадров. Под её руководством было защищено 27 кандидатских диссертаций и 3 докторских.

В ИМЕТ продолжают работы по композиционному материаловедению ученики Татьяны Александровны: д.т.н. И.Е. Калашников, к.т.н. Л.И.Кобелева, Л.К.Болотова, П.А.Быков, И.В.Катин. В МГТУ им. Н.Э.Баумана работают профессор, д.т.н. Ю.А. Курганова и к.т.н. Р.С. Михеев.

Возглавив Лабораторию композиционных материалов, М.Х.Шоршоров сумел создать творческий научный коллектив.

Заместителем и помощником М.Х. являлся замечательный, скромный и добрейший человек, к.т.н. Виктор Васильевич Белов, который уравновешивал южный характер М.Х. Участник войны, для которого она началась после школьной скамьи в июне 1941г. и закончилась в августе 1945г. на Дальнем Востоке. Ведя свое научное направление, он в основ-

ном занимался организационной работой в лаборатории, активно) поддерживал молодых сотрудников, часто выручая их в сложных ситуациях. Его политзанятия не отличались формализмом, сплачивали сотрудников лаборатории, разрешали проблемные ситуации.

Основной научный костяк лаборатории составляли д.т.н. Александр Сергеевич Тихонов, к.т.н. Татьяна Александровна Чернышова, к.т.н. Валентин Павлович Алехин, к.т.н. Олег Владимирович Гусев, к.ф.-м.н. Виталий Иванович Еременко, к.т.н. Виктор Николаевич Мещеряков, к.т.н. Валерий Иванович Антипов, к.т.н. Сергей Степанович Дрюнин, а также бывшие сотрудники Лаборатории порошковой металлургии: к.т.н. Валентина Ивановна Бакаринова и Галина Николаевна Почкай.

Научные направления лаборатории расширялись, и ее коллектив постоянно пополнялся новыми сотрудниками. Пришли в лабораторию: к.т.н. Лев Михайлович Устинов, занимавшийся прочностными свойствами КМ, к.т.н. Сталина Михайловна Савватеева, возглавившая группу по покрытиям на армирующих волокнах, к.т.н. Борис Александрович Арефьев, который разрабатывал технологию прокатки композиционных материалов.

В 1978 г., в связи с решением усилить работы по порошковой металлургии, в ИМЕТ была переведена из ИВТАНа группа под руководством талантливейшего ученого, д.т.н. Юрия Леонидовича Красулина. В ее состав входили молодые, активные кандидаты наук. Баринов Сергей Миронович, отвечавший за работы по созданию материалов для адиабатных двигателей, выполняемых совместно с НПО ТулаЧермет, Институтом проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины и НПО «Технология» г. Обнинск (впоследствии член-корр. РАН, зам. директора ИМЕТ РАН),

Кроме того, в группу входили: к.т.н. Иванов Владимир Сергеевич, занимавшийся технологией взрывного прессования керамико-металлических материалов (совместно с Пензенским государственным университетом) и к.т.н. Асонов Александр Николаевич, занимавшийся плазменной технологией получения качественных порошков металлов и сплавов из отходов металлообработки.

Появились новые трудолюбивые, активные аспиранты, не без способностей. Леонид Егншевич Гукасян, Василий Иванович Калита, Валентина Ивановна Жамнова, Леонид Викторович Виноградов — ученики Льва Михайловича Устинова. Ученик Валентина Павловича Алехина — Михаил Иванович Алымов, в настоящее время — член-корр. РАН, директор Института Макрокинематики РАН. Многие из здесь перечисленных достигли больших успехов на поприще науки, многие стали докторами наук, многие плодотворно продолжают трудиться.



Рис. 3. Наши ветераны (слева направо): Белов Виктор Васильевич, Шоршоров Михас Хачатурович, Сеницын Михаил Петрович, Цветков Арнольд Алексеевич, Котелкин Анатолий Сергеевич.

В лаборатории были и другие ветераны войны: разведчик Арнольд Алексеевич Цветков, высококлассный сварщик; летчик Михаил Петрович Сеницын, отвечавший за хозяйственную часть в лаборатории, и м.н.с. Анатолий Сергеевич Котелкин, который тринадцатилетним парнишкой шил валенки в военной части (рис. 3). Арнольд Алексеевич и Анатолий Сергеевич были превосходными экспериментаторами, ими было выполнено много высококлассных экспериментов.

Хочется вспомнить также Василия Ивановича Михалева, механика, человека с «золотыми» руками и «светлой» головой, творчески подходившего к выполнению любого задания, умеющего делать практически все, способного изготовить любое приспособление для проведения экспериментов или починить любую установку. Все эти замечательные люди своим достойным трудом вносили вклад в выполнение работ по тематике лаборатории.

Коллектив Лаборатории композиционных материалов, под руководством М.Х.Шоршорова, внес большой вклад в различные направления композиционного материаловедения.

В лаборатории разрабатывались технологические основы изготовления КМ жидкофазными методами и методами горячего прессования, горячей прокатки из полуфабрикатов, полученных с помощью плазмы. Исследовались материалы с различными видами матриц: легких сплавов (алюминиевых, магниевых), а также сплавов титана, никеля и керамики. В качестве армирующих наполнителей рассмотрены волокна углерода, бора, карбидов, нитридов, диборидов (SiC , B_4C , TiC , BN , TiB_2), а также стальные волокна и проволоки из Mo и W .

Велись работы по анализу физико-химического взаимодействия компонентов в КМ; по исследованию деформации, прочности и разрушения КМ различного состава и полученных по разным технологиям.

Расширение лаборатории (в ее состав входило более 70 человек) привело к созданию в 1981г. нескольких лабораторий, объединенных в Отдел порошковой металлургии, композиционных материалов и защитных покрытий, под руководством М.Х. Шоршорова. Возглавили новые лаборатории д.т.н. В.В.Кудинов, д.ф.-м.н. В.П.Алехин, д.ф.-м.н. Ю.Л. Красулин, д.т.н. Б.А.Арефьев. М.Х. Шоршоров, помимо Отдела, возглавлял и лабораторию композиционных материалов, являющуюся основой всего коллектива.

Работы Лаборатории, а затем и Отдела были тесно связаны с запросами промышленности, их результаты были широко внедрены на ряде ведущих заводов в виде новых композиционных материалов. Были специально созданы опытно-промышленные производства в Калуге (1973г.) и Туле (1978г.) — по изготовлению полуфабрикатов композиционных материалов «алюминиевые сплавы – борные волокна» методом плазменного напыления и последующего горячего прессования и прокатки в виде монолит, труб, листов.

Жизнь Лаборатории не отличалась от жизни всего коллектива Института: ежемесячные политинформации, ежегодные двухнедельные работы на свежем воздухе в подшефном совхозе — это для молодых; работа на овощной базе и субботниках — для всех сотрудников, невзирая на звания (рис. 4).



Рис. 4. Субботник на Ленинском проспекте у ворот Института: д.т.н. Т.А.Чернышова, д.т.н. С.М.Баринов, к.т.н. В.С.Иванов (а); профессор, д.т.н. М.Х.Шоршоров (б).

Можно вспомнить походы всем коллективом в ресторан, когда мы дружно и весело отмечали победу в соревновании, проводимом в Институте между лабораториями. Надо сказать, что Лаборатория композиционных материалов практически всегда занимала одно из призовых мест. На банкете горячительные напитки не возбранялись, но в другое время М.Х. жестко боролся со злоупотреблениями. Однажды он с энтузиазмом распинал одного стажера, который умудрился в воскресный день попасть в вытрезвитель, взывал к его совести, грозил потерей здоровья и т.п., а затем в сердцах сказал: «Не умеешь пить — не пей, а хочешь пить — тренируйся», это-то «тренируйся» долго веселило сотрудников.

К М.Х. относились с большим уважением, но все равно иногда позволяли себе подшучивать над ним. Например, был случай, когда приехавший к нему на консультацию решил уточнить у сотрудников, стоявших рядом с кабинетом, как зовут заведующего. «Матрас Хачапурович» — последовал ответ и, когда Шоршорова поприветствовали этим именем, его возмущению не было предела, он выскочил из кабинета посмотреть на остряков, но они быстро и вовремя ретировались. Репрессий за такие шутки никогда не было.

Так мы и жили, достаточно дружно, деля радости и скорби, победы и поражения.

С уходом М.Х. Шоршорова Отдел порошковой металлургии, композиционных материалов и защитных покрытий прекратил свое существование, т.к. М.Х. являлся его умом и сердцем и душой. Лаборатории, входившие в его состав, стали самостоятельными единицами и, к счастью, существуют до сих пор.

В трудные 90-е годы Лабораторию композиционных материалов возглавлял д.т.н. И.М.Копьев, специалист в области прочности КМ.

В настоящее время направление «композиционные материалы» продолжает развиваться в Лаборатории прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов под руководством члена-корреспондента РАН А.Г.Колмакова и д.т.н. И.Е.Калашникова.

*Кобелева Л.И. — сотрудник Лаборатории прочности
и пластичности металлических
и композиционных материалов и наноматериалов*

Лаборатории полупроводниковых материалов ИМЕТ — 65 лет

М. А. Коржув

Ведущий научный сотрудник лаб. №11

В статье изложена краткая история Лаборатории полупроводниковых материалов №11 ИМЕТ им. А.А. Байкова, отмечающей в 2018 году юбилей — 65 лет своего основания (1953).

Введение

В 2018 Институт металлургии им А.А. Байкова отмечает юбилей — 80 лет своего основания (1938). В этом же году исполняется 65 лет со дня основания Лаборатории полупроводниковых материалов №11 ИМЕТ (1953- 2018). Институт металлургии был основан непосредственно перед Второй Мировой войной в связи с необходимостью получения новых металлических материалов для оборонного комплекса СССР [1]. В свою очередь, дата основания Лаборатории полупроводниковых материалов (1953) совпала с началом интенсивных работ в СССР по получению новых полупроводниковых материалов для электронной техники.

В настоящей статье изложена краткая история создания Лаборатории №11 (1953), а также описана ее работа в период 1953 – 2018. Статья написана на основании воспоминаний старейших сотрудников лаборатории №11, часть из которых сохранилась в их личных архивах, либо была опубликована в научных изданиях [2, 3]. Дополнительно привлекались документы и фотографии прежних лет, хранящиеся в архиве лаборатории. Широко использовались также материалы стенной газеты лаборатории №11 — «Затравка» (Главный редактор — С.Н. Горин, бессменный художник — Л.Д.Иванова [4]). Часть статьи написана по воспоминаниям автора, поступившего на работу в лабораторию №11 после окончания физического факультета МГУ (1971).

Полупроводники

К концу XIX века в связи с открытием возможности передачи энергии на большие расстояния усилился интерес исследователей к электрофизическим свойствам веществ [5]. В результате исследований выявилась группы веществ, хорошо и плохо проводящих электрический ток. Первыми были металлы (удельная электропроводность $\sigma = 10^6 - 10^4$ См/см), вторыми — диэлектрики (изоляторы) ($\sigma = 10^{-8} - 10^{-12}$ См/см). Вещества с промежуточным значением удельной электропроводности ($\sim 10^{-10}$ См/см $< \sigma < 10^5$ См/см) называли полупроводниками. Полупроводники

не годились ни для передачи электрического тока, ни для изоляции проводов и поэтому большого интереса у исследователей на первых порах не вызывали. Они использовались для иных целей, не связанных с их проводящими свойствами. Так, например, селен (Se) использовался для обесцвечивания и окрашивания стекла, карбид кремния (SiC) – как абразивный материал.

Со временем выяснилось, что положение полупроводников, промежуточное между металлами и диэлектриками, определяет ряд их особых физических свойств, которые можно успешно использовать в технике. Так, например, полупроводники селен (Se) с 1920 г. и куприт (Cu_2O) с 1926 г. стали использовать для производства выпрямителей тока (вентилей). В 1929 г. акад. А.Ф.Иоффе (рис.1) указал на особую перспективность использования полупроводников для повышения коэффициента полезного действия (кпд) η термоэлектрических преобразователей энергии (генераторов (ТЭГ), охладителей (ТЭО) и нагревателей (ТЭН) [5].

Далее последовал активный рост производства полупроводников и создание на их основе различных изделий электронной техники — фотосопротивлений, фотоэлементов, термисторов, варисторов и др. Наконец, после открытия транзистора (Дж. Бардин, У. Браттейн, У. Шокли, США, 1947 г.) полупроводники заняли ведущее место в радиоэлектронике, вычислительной технике, атомной энергетике, ракетной технике, освоении космоса и т.д. Во всех передовых, технически развитых странах, начались интенсивные работы с целью получения новых полупроводниковых материалов [5].

Предыстория лаборатории. Создание лаборатории полупроводниковых материалов в ИМЕТ АН СССР имеет свою интересную предысторию, подробно описанную Н.Х.Абрикосовым в своих воспоминаниях [2].



Рис. 1. Акад. Иоффе Абрам Федорович (1880–1960), советский физик и организатор науки. Создатель ленинградской школы физиков.



Рис. 2. Акад. Георгий Григорьевич Уразов (1884 — 1957).
Заведующий Отделом физико-химического анализа ИОНХ им.
Н. С. Курнакова АН СССР.

Согласно [2], в 1950 году академик А.Ф.Иоффе (рис.1), находившийся в командировке в Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова АН СССР (ИОНХ), попросил академика Г.Г Уразова (рис.2) начать работы по химии полупроводниковых материалов. А.Ф.Иоффе считал, что известные в то время полупроводники – Ge, Si, Se, Cu_2O , PbS, PbTe, и др. — не смогут в недалеком будущем удовлетворить запросы быстро развивающейся новой техники. Нужно было искать новые материалы с разнообразными физическими свойствами, причем перспективными

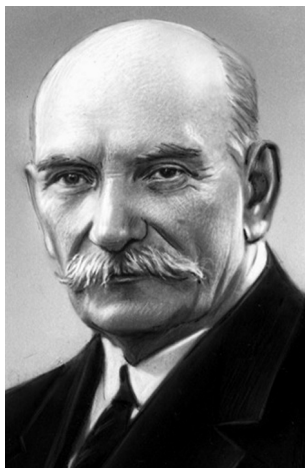


Рис. 3. Проф. Николай Семенович Курнаков (1860 -1941), разработавший основы физико- химического анализа неорганических соединений.

полупроводниковыми материалами при этом могли оказаться фазы как постоянного, так и переменного состава («дальтонида» и «бертоллиды» по классификации Н.С. Курнакова (рис. 3) [6]).

Ни в коей мере не принижая роли «физиков» в исследовании полупроводников, А.Ф.Иоффе подчеркивал, что в работах по получению полупроводниковых материалов необходимо также подключить «химиков». «Химики» должны были взять на себя ведущую роль в получении полупроводников высокой чистоты, контроль за содержанием примесей в полупроводниках, изыскание новых соединений, обладающих полупроводниковыми свойствами, легирование полупроводников и определение состояния атомов легирующих компонентов в кристаллах. После беседы с А.Ф.Иоффе академик Г.Г. Уразов в кратчайшие сроки организовал в ИОНХ группу химиков из 5 человек, которой поручил работу по синтезу новых полупроводниковых материалов [2].

В эту группу вошли Н.Х.Абрикосов, М.С. Миргаловская, Н.Д.Нагорская, Д.И.Прокофьев и А.В.Аверьянова. Группа приступила к работе и сразу же получила важные научные результаты. Так, например, уже в середине 1950 г. М.С. Миргаловская изучила свойства AlSb – полупроводника из большой группы важных соединений $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$. В свою очередь, в 1952 г. Н.Х.Абрикосов и А.В.Аверьянова получили сплавы Ge-Si с низкой теплопроводностью, вызвавшие большой интерес у А.Ф.Иоффе [2]. Позже метод снижения теплопроводности термоэлектрических материалов путем создания твердых растворов получил в литературе название — «метод А.Ф. Иоффе» [6].

Кроме группы Н.Х.Абрикосова, в ИОНХ работала группа проф. Д.А.Петрова, занимавшаяся монокристаллическим германием. Эта группа также присоединилась к проводимым исследованиям полупроводников.

Основание лаборатории. В марте 1953 по распоряжению Президента РАН академика А.Н. Несмеянова (рис.5) группы Д.А.Петрова и Н.Х. Абрикосова были переведены в ИМЕТ, только что получивший новое, прекрасное и удобное здание (зимой — тепло, летом — прохладно) по Ленинскому проспекту, 49 (рис.6).

Этот год (1953 г.) считается годом основания Лаборатории полупроводниковых материалов ИМЕТ. На первых порах лаборатория не имела собственных помещений, и работы по полупроводникам проводились в Лаборатории металловедения цветных и легких металлов — одной из старейших в ИМЕТ.

Согласно воспоминаниям академика Н.Н.Сироты [3] (рис. 4), он также в конце 1953 г. вместе со всеми перспективными «полупроводниковыми» группами ИОНХ был переведен в ИМЕТ, однако продолжал работу в ИОНХ до 1954 г. В 1954 Н.Н.Сирота привлекался к организации Спецсектора ИМЕТ АН СССР [3].



Рис. 4. Николай Николаевич Сирота (1913 – 2006) — ученик Курнакова Н.С., физик, к.ф.-м.н. (1939), д.ф.-м.н. (1950), профессор (1952), академик АНБССР (1956). Основатель Института физики твёрдого тела и полупроводников (ИФТТП) (Минск) (1963), его директор (1963- 1975). После увольнения из ИФТТП вернулся в Москву (1975). Участвовал в конкурсе ИМЕТ на замещение вакансии заведующего Лабораторией сплавов для атомной энергетики, но проиграл д.т.н. Вотинову С.Н. В 1978-2006 заведовал кафедрой физики Московского государственного университета природообустройства. (МГУП), вел семинар: «Химическая связь и физика конденсированных сред». Подготовил 90 кандидатов и 15 докторов наук. Заслуженный деятель науки РФ (2004).

В 1954 г. Президиум РАН выделил для работ по полупроводниковой тематике в ИМЕТ 40 ставок. В 1959 г. Лаборатория полупроводниковых материалов была выделена из Лаборатории металловедения цветных и легких металлов в отдельную структурную единицу ИМЕТ [1]. Бывший в те годы директором ИМЕТ И.П. Бардин оказал Лаборатории посильную помощь на первом этапе ее становления [2].

Первым руководителем Лаборатории полупроводниковых материалов был назначен проф., д.т.н. Д.А.Петров. Период работы Д.А.Петрова заведующим лабораторией (1953 – 1960 г.г.) пришелся на время послевоенного восстановления страны. В основу работы лаборатории в этот период Д.А.Петров положил основы физико-химического анализа неорганических соединений, разработанные ранее проф. Н.С.Курнаковым [6]. «Курнаковский подход» предполагал построение химических диаграмм



Рис. 5. Слева — первый директор ИМЕТ, вице-президент АН СССР, акад. И.П.Бардин (1883 –1960), справа — президент АН СССР, акад. А.Н.Несмеянов (1899 – 1980),организовавший в стране несколько новых институтов. В центре — фрагмент «дорожки Бардина», сохранившийся в саду ИМЕТ (2018) (Фото автора).



Рис. 6. Новое здание ИМЕТ на Ленинском проспекте, 49 в различные времена. Годы: 1953 (слева), 2011 (справа) (Архив лаборатории).



Рис. 7. Первые сотрудники лаборатории полупроводниковых материалов (1955 – 1960). Слева — к.х.н., с.н.с. М.С.Миргаловская. В центре, второй ряд: С.И.Усачев, М.Я.Дашевский, Э.М.Комова, Д.В.Прахов. Справа — В.М.Глазов (1955 – 1960) (Архив Э.М.Комовой).

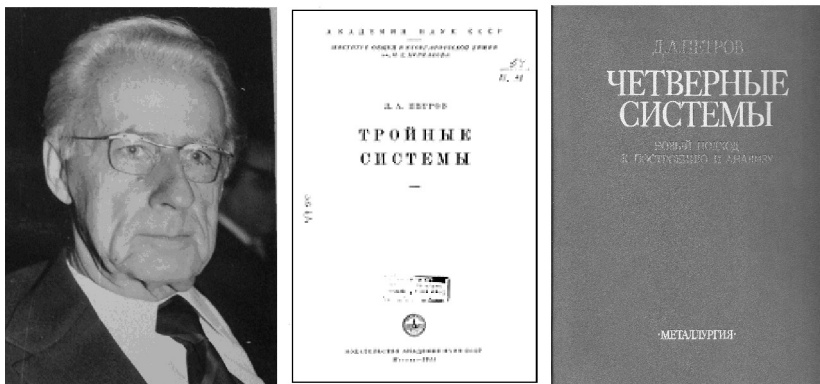


Рис. 8. Основатель лаборатории полупроводниковых материалов ИМЕТ проф. Д.А.Петров в возрасте 85 лет (1987). Справа — титульный лист его монографии — «Тройные системы» (1953) [7] и «Четверные системы» (1991) [9].

состояния исследуемых материалов и последующее исследование связей «фазовая диаграмма — структура-свойство». Согласно Курнакову, в химической диаграмме химия получает геометрический язык, аналогичный языку химических формул, но гораздо более общий, так как он относится не только к определенным соединениям, но ко всем химическим превращениям [9].

Первые сотрудники лаборатории полупроводниковых материалов ИМЕТ (1955 – 1960 г.г.) показаны на рис.7.

Д.А.Петров развил «курнаковский подход» применительно к бинарным, тройным и четверным полупроводниковым системам [7-9]. Он читал лекции по диаграммам состояния в ИОНХ им. Н.С.Курнакова и в ВИЛС. Глубокие теоретические познания, искусство лектора, а также представительная внешность и аристократические манеры, уже редкие в то время даже среди сотрудников АН СССР, способствовали популярности Д.А.Петрова в широких научных кругах.

Использование «курнаковского подхода», развитого Д.А. Петровым применительно к полупроводниковым материалам, обеспечило успешную работу лаборатории в течение нескольких последующих десятилетий. Несомненной заслугой Д.А.Петрова была также подготовка им двух учеников — проф. В.М. Глазова (рис.9) и проф. В.С. Земскова (рис.10) [11], внесших в последующие годы значительный вклад в развития отечественного полупроводникового материаловедения.

В 1960 г., после отставки Д.А. Петрова и его ухода из ИМЕТ, руководителем лаборатории был назначен проф., д.х.н. Н.Х. Абрикосов, крупнейший в СССР специалист по физико-химическому анализу по-



Рис. 9. Проф., д.х.н., Василий Михайлович Глазов (1931 – 2000). Окончил Московский институт цветных металлов и золота им. Калинина. Заведующий кафедрой физической химии МИЭТ (г. Зеленоград). Внизу — 8 его лучших монографий [11-19].

лупроводниковых материалов (рис.11). На долю Н.Х. Абрикосова выпал самый благоприятный исторический период работы лаборатории — т.н. «эпоха Гагарина», сопровождавшаяся невиданным ранее подъемом престижа науки в обществе, связанным, в частности, с первыми успехами отечественной космонавтики. После назначения заведующим лабора-

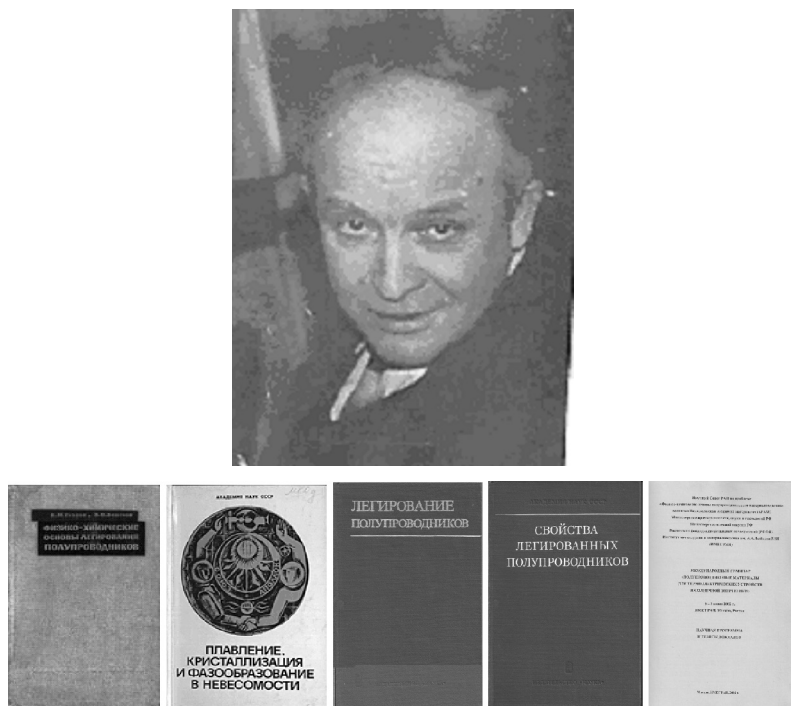


Рис. 10. Проф., д.т.н Виктор Сергеевич Земсков. Родился в.Клину, родительский дом находился на улице Горького (поселок Десятилетия Октября) . В 1946 закончил в Клину десятилетку. В 1952 завершил учебу в МВТУ им. Баумана. С 1952 занимался технологией полупроводников в ИОНХ и ИМЕТ РАН. Зав. Лабораторией полупроводниковых материалов ИМЕТ (1974 – 2005). Заслуженный металлург РФ. Автор 27 изобретений, 330 научных статей и двух монографий. (<https://izi.travel.ru>). (1978). Внизу: монографии и сборники проведенных им конференций [20 – 23].

торией Н.Х. Абрикосов приступил к экспериментальному исследованию $T - x$ — диаграмм состояния многокомпонентных полупроводниковых систем. В соавторстве с другими сотрудниками лаборатории Н.Х. Абрикосовым были впервые исследованы или уточнены диаграммы состояния более 30 важнейших многокомпонентных полупроводниковых систем. Были написаны монографии, остающиеся настольными книгами специалистов по полупроводниковому материаловедению до настоящего времени (рис.12) [25 – 28].

Юбилейный семинар – 25 лет лаборатории. 30 марта 1978 г. состоялся юбилейный семинар, посвященный развитию исследований по полупро-

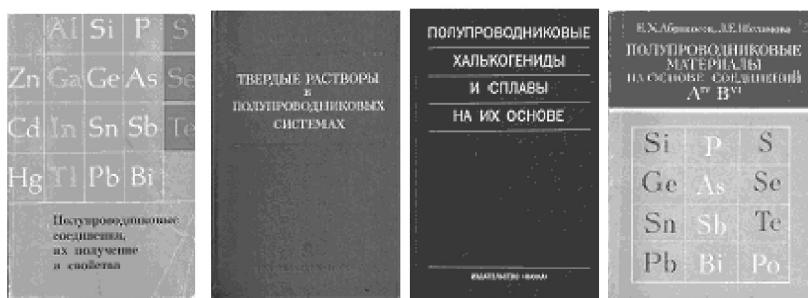
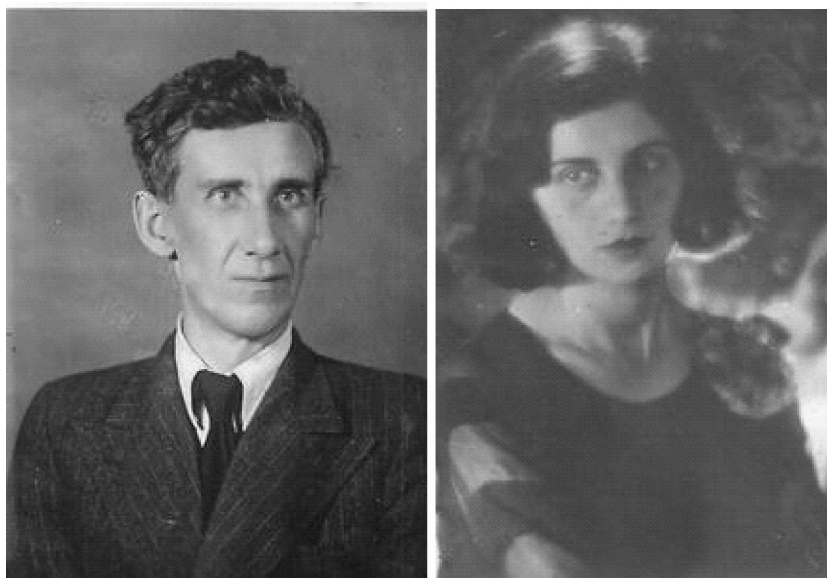


Рис. 11. Проф., д.х.н. Николай Хрисанфович Абрикосов (1908 – 1988) с женой Ниной Максимовной Абрикосовой (Ванштейн) (1900 – 1989) (Москва, 1937).

водниковым материалам в лаборатории №11 ИМЕТ за последние 25 лет. На семинаре присутствовало около 100 человек — сотрудников ИМЕТ и гостей из других организаций.

С докладами выступили: проф., д.х.н. Н.Х.Абрикосов, с.н.с., к.х.н. А.А.Плетюшкин, с.н.с., к.ф.-м.н. Л.С.Милевский, заведующий лабораторией (с 1974 г.), проф., д.т.н. В.С.Земсков, с приветствиями и вручением адресов – гости семинара (рис.13). В своем выступлении на Юбилейном семинаре Н.Х.Абрикосов перечислил основные достижения лаборатории за первые 25 лет ее существования, а также отметил сотрудников, внесших основной вклад в эти достижения (рис.16) [3].

Металловед, окончил МВТУ им Н.Э. Баумана (1936). Работал на промышленных предприятиях Москвы. Осенью 1941 года был призван в Народное ополчение, но вскоре был отозван, в связи с тем, что тылу требовались специалисты по производству металлов. Всю войну трудился на оборонных предприятиях. Заведующий Лабораторией №11 ИМЕТ (1960-1974). Автор более 30 изобретений в данной области. (Из архива: http://abrikosov-sons.ru/vetv_nikolaya_alekseev). Внизу — его основные монографии [25 – 28].

Согласно сообщению Н.Х. Абрикосова, основными достижениями лаборатории в этот период были следующие:

В 1954 г. впервые в СССР были получены монокристаллы германия с заданным временем жизни неосновных носителей заряда (Д.А. Петров, В.С. Земсков, В.В. Рождественская).

В 1954 – 1956 гг. методом Чохральского получены монокристаллы германия, сложнoleгированные элементами третьей и пятой групп Периодической системы (Д.А. Петров, В.С. Земсков, А.Д. Белая).

В 1954 г. впервые в СССР (одновременно с Гиредметом) получены монокристаллы кремния методом Чохральского (Д.А. Петров, В.Д. Хвостикова).

В 1960 – 1970 гг. экспериментально обнаружены все основные типы дислокаций в структурах алмаза и сфалерита (Л.С. Милевский, В.Д. Хвостикова, З.А. Зарифьянц).

В 1956 – 1957 гг. впервые в СССР получены монокристаллы сплава германий- кремний (М.Г. Кекуа, А.Д. Белая, И.Н. Белокурова).

В 1953 – 1970 гг. разработаны методы получения соединений $AlPbSb$ и выращены монокристаллы этих соединений; монокристаллы $AlSb$ были выращены впервые в СССР (М.С. Миргаловская, И.А. Стрельникова, Ю.М. Пашков, Э.М. Комова).

В 1955 – 1970 гг. проведен физико-химический анализ тройных систем $AlPb - Sb -$ легирующая добавка в широком интервале концентраций добавки, что обеспечило возможность получения материалов с заданными свойствами (М.С. Миргаловская, Е.В. Скуднова, И.А. Стрельникова, Э.М. Комова, Л.И. Маткова).

В 1964 – 1970 г.г. разработаны методы получения монокристаллов антимонида индия для новой техники (М.С. Миргаловская, М.Р. Раухман, М.Я. Дашевский).

В 1954 – 1971 г.г. проведен большой комплекс исследований жидких полупроводников, подтверждающий основное положение А.Ф.Иоффе, что за полупроводниковые свойства ответственен ближний порядок в расположении атомов (В.М. Глазов, С.Н. Чижевская, Н.Н. Глаголева).

В 1959 г. впервые в СССР получены монокристаллы карбида кремния $-SiC$ (С.Н. Горин, Л.М. Иванова, А.А. Плетюшкин).

В 1965 – 1966 г.г. Впервые разработан метод получения компактного нитрида алюминия (А.А. Плетюшкин, Н.Г. Славина).

В 1953 – 1970 г.г. проведены фундаментальные работы по физико-химическому анализу двойных и тройных систем на основе халькогенидов элементов IV и V групп Периодической системы, определены оптимальные составы термоэлектрических материалов. Значительно для низкого и среднего интервала температур диаграммы состояния двойных систем на основе халькогенидов сурьмы, висмута и германия (Н.Х. Абрикосов, Л.Е. Шелимова, В.Ф. Банкаина, Г.Т. Данилова-Добрякова, Л.В. Порецкая).

В 1953 – 1954 г.г. на примере сплава германий-кремний впервые обнаружен эффект значительного снижения решеточной теплопроводности твердых растворов. После этой работы все применяемые в термоэлектрических элементах сплавы синтезируются на основе твердых растворов, образованных двумя соединениями (Н.Х. Абрикосов, В.П. Аверьянова).

В 1957 г. выявлены закономерности образования полупроводниковых свойств в соединениях переходных металлов (Л.Д. Дудкин).

В 1953 – 1970 г.г. получены и исследованы термоэлектрические свойства силицидов переходных металлов (марганца, хрома, железа) и разработаны эффективные термоэлектрические материалы из недефицитных и дешевых элементов (Н.Х. Абрикосов, Л.Д. Дудкин, Е.И. Елагина, Л.Д. Иванова, Л.И. Петрова).

Космическое материаловедение

В своем вступлении на Юбилейном семинаре проф. В.С.Земсков рассказал о новом направлении работы лаборатории – космическом материаловедении, в основе которого лежало изучение «физики невесомости». Лаборатория приступила к работе по космической тематике в 1975 г. во время экспериментального полета космических кораблей Апполон (США) и Союз (СССР) (программа ЭПАС). Инициатором проведения совместного полета американского и советского пилотируемых космических кораблей со стыковкой на орбите выступило Национальное авиакосмическое агентство США (NASA) (рис.12).

Реализация проекта ЭПАС стала возможна после подписания 24 мая 1972 года в Москве председателем Совета министров СССР А.Н.Косыгиным и президентом США Р.Никсоном «Соглашения о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях». Статьей № 3 соглашения предусматривалось проведение экспериментального полета кораблей двух стран со стыковкой и взаимным переходом космонавтов в 1975 г. Во время полета предполагалось провести ряд научных экспериментов, среди которых был проект «Универсальная печь». Проект предполагал изучение влияния невесомости на некоторые кристаллохимические и металлургические процессы в полупроводниковых и металлических материалах. Кроме лаборатории № 11, к работе по космической тематике были привлечены лаборатории № 3, 6, 9, 10, 12, 13, 14 ИМЕТ, а также многие ведущие лаборатории и институты страны

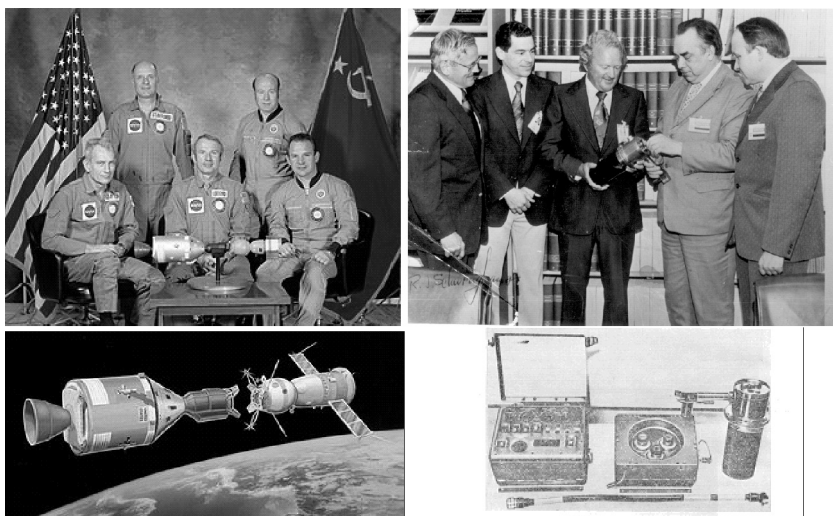


Рис.12. 1 — космонавты: Слейтон, Стаффорд, Бранд (США), Леонов, Кубасов (СССР); 2 — встреча с сотрудниками центра, занимавшегося выполнением эксперимента «Универсальная печь»: Швингермайер (слева), Бойс (в центре) (США), Л.И.Иванов, В.С. Земсков (ИМЕТ); 3 — схема стыковки кораблей «Аполлон» (слева) и «Союз-19»; 4 — универсальная печь, разработанная учеными США (1975).

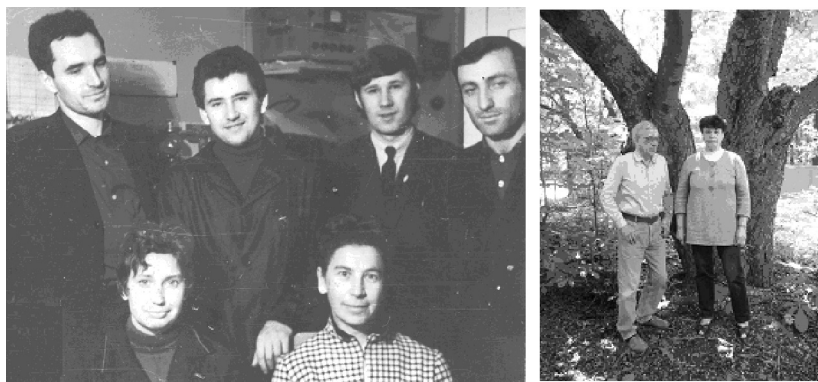


Рис.13. Слева: группа физических исследований лаборатории полупроводниковых материалов ИМЕТ (1970). Стоят: стажер-исследователь Иванов-Смоленский Г.К., ст. лаборанты Галютин В.И. и Авилов Е.С., аспирант Джабуа З.У. (ГрПИ, ГССР). Сидят: м.н.с., к.х.н. Шелимова Л.Е., с.н.с., к.ф.-м.н. Новикова С.Н. Справа — сотрудники современной группы физических исследований — в.н.с., к.т.н. Е.С.Авилов и н.с. М.А.Кретьева, в саду ИМЕТ у каштана, посаженного С.И.Новиковой в 1955 году. (Фото автора, 2018)

Гиредмет, ФИАН, ФТИ, ряд предприятий МЭП и др. Результаты работ по проекту «Универсальная печь» подробно изложены в монографии [20].

В целом, подведение итогов работы лаборатории за 25 лет обернулось ее триумфом. К этому времени я уже работал в лаборатории около 7 лет и имел свои собственные научные разработки.

Распределение в лабораторию. Я поступил на работу в лабораторию №11 ИМЕТ в группу С.И. Новиковой в качестве стажера-исследователя по распределению после окончания физического факультета МГУ (1971 г.) [28 – 30].

Группа С.И. Новиковой. Группа имела хорошо сбалансированный состав «физиков» и «химиков» (рис.13). В группе работали авторы известных монографий по полупроводникам и твердому телу (рис.19). Также имелось первоклассное по тем временам техническое оборудование (рис.20). В группе был реализован «замкнутый» цикл исследований, позволявший самим (без дополнительного привлечения «ростовиков») получать кристаллы полупроводников, а затем исследовать их физические свойства (рис.20). Моя работа быстро пошла на лад, и вскоре были получены первые результаты по электросопротивлению α -фазы GeTe (1973) [33]. Однако, в 1974 в ИМЕТ произошло «стихийное бедствие» — институт получил из Президиума АН СССР приказ о плановом сокращении научных сотрудников на 10%.

Сокращение сотрудников (1974). Под это сокращение попали ведущие научные сотрудники лаборатории — зав. лаб. Н.Х. Абрикосов, руководители групп — М.С. Миргаловская и С.И. Новикова, а также квалифицированный физик из группы М.С. Миргаловской — Л.Н. Ильченко. Формально Н.Х. Абрикосов и М.С. Миргаловская сокращались «по достижении пенсионного возраста», С.И.Новикова и Л.Н.Ильченко — как сотрудники, работающие «не по профилю лаборатории». Подобная формулировка показала нам, работникам физической группы, более чем странной, поскольку мы работали по планам, утвержденным дирекцией института. Кроме того, незадолго до сокращения штатов из печати вышла превосходная монография С.И. Новиковой — «Тепловое расширение твердых тел» (рис.14) [32], по материалам которой она предполагала защитить докторскую диссертацию. Защитить докторскую диссертацию С.И.Новиковой удалось только два десятилетия спустя.

Как потом стало ясно, плановое сокращение в АН СССР (1974 г.) было отдаленным предвестником надвигающейся катастрофы 1991 г. Страну постепенно начинал охватывать финансовый кризис, его бюрократы предполагали преодолеть за счет сокращения финансирования науки. При этом форма сокращения сотрудников путем «отрицательного отбора», так удивившая нас в тот период, как оказалось, стала в период застоя обычной тактикой руководства, укреплявшей таким образом свои ряды [35-37].

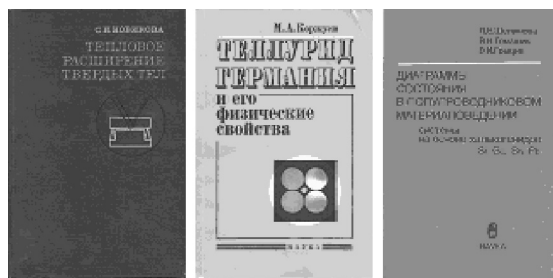


Рис. 14. Монографии, написанные сотрудниками группы физических исследований лаборатории №11 в разные годы [32 – 34].

Однако, тогда в 1974 г., общий ущерб лаборатории от проведенного «сокращения», к счастью, оказался незначительным. По предложению директора Н.В. Агеева лабораторию возглавил проф. В.С. Земсков — воспитанник Д.А.Петрова, а группу М.С. Миргаловской — ее ученик к.т.н М.Р. Раухман (Директор ИМЕТ акад. Н.В.Агеев пользовался большим уважением сотрудников института за высокий научный уровень — он имел диплом на открытие нового физического явления [39]).

Научные исследования по тематике лаборатории были продолжены. Академику Н.В.Агееву удалось также «выбить» ставку с.н.с. для сокращенного проф. Н.Х.Абрикосова, и он был переведен в нашу группу как ее руководитель. Работать с Н.Х.Абрикосовым было легко и приятно, и в последующие годы нами было опубликовано около 50 совместных научных статей и докладов, проведены две научные конференции. В 1979 г. мною под руководством Н.Х.Абрикосова была защищена кандидатская диссертация, а в 1986 г. — издана монография (рис.14), в которой Н.А.Абрикосов выступил как научный редактор [33].

Юбилей лаборатории — 35 лет. Этот юбилей пришелся на начальный период «перестройки». Его лаборатория отмечала более скромно, чем 25-летний юбилей 10 лет назад. Итоги работы лаборатории за отчетный период подвели Н.Х. Абрикосов и В.С. Земсков [4]. Н.Х.Абрикосовым были отмечены новые успехи лаборатории в изучении многокомпонентных диаграмм состояния на основе большой группы полупроводниковых соединений, халькогенидов элементов IV и V групп друг с другом, с легирующими элементами и с элементами, используемыми для коммутации. Были установлены закономерности изменения термоэлектрических свойств этих сплавов в зависимости от их состава (Чижевская С.Н., Свечникова Т.Е., Иванова Л.Д. Порецкая Л.В., Петрова Л.И.). Были впервые изучены области гомогенности ряда соединений $A^{IV}B^{VI}$ в зависимости от легирования. Все эти исследования позволили целенаправленно производить поиск материалов с оптимальными свойствами (Шелимова Л.Е., Авилов Е.С., Кретова М.А.). Были выполнены также работы по из-

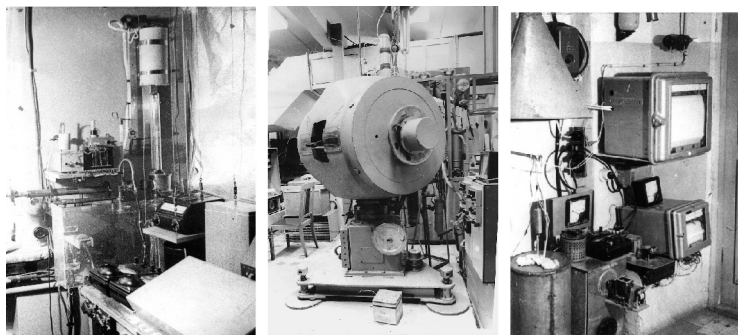


Рис. 15. Научное оборудование группы Новиковой С.И.: кварцевый дилатометр П.С.Стрелкова (комн.205) (слева), электромагнит (магнитное поле да 32 кЭ), изготовленный по спецзаказу на заводе «Динамо» (в центре), установка для получения монокристаллов методом Бриджмена (подвал 6б) (справа) (1971).

учению структуры дефектов кристаллов кремния в зависимости от условий выращивания, было показано, что совершенством кристаллов можно управлять (Горин С.Н., Ткачева Т.М. и др.). Исследовано взаимодействие радиационных дефектов в полупроводниках, в результате рекомендованы некоторые методы управления их концентрацией (Скуднова Е.В., Дегтярев В.Ф., Колокольцев В.Н.). Продолжено исследование методов получения и изучения свойств высокотемпературного полупроводникового материала – карбида кремния (Плетюшкин А.А., Горин С. Н., Иванова Л.М., Демина Т.Н., Славина Н.Г, Султанова Т.Н.). В.С.Земсков в своем докладе, наряду с успехами лаборатории отметил неожиданные



Рис. 16. Г.н.с., д.х.н., зав. лаб.№11 (с 2006) Надежда Николаевна Киселева. Справа — титульный лист ее монографии (2005) [47, 48].

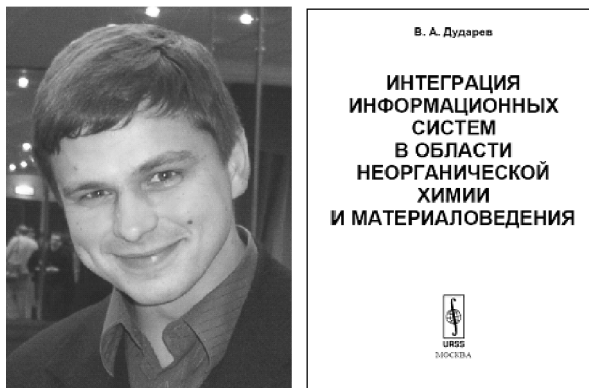


Рис. 17. В.н.с., к.х.н. Виктор Анатольевич Дударев – специалист по информационным технологиям. Справа — титульный лист его монографии (2016) [49].

трудности, появившиеся в институте в последнее время и связанные с обновлением экспериментального оборудования, притоком молодого научного пополнения, нехваткой инженерно-технического персонала [4]. Существенно возросли также трудности, сопровождающие внедрение научных разработок в промышленность. Практически важнейший механизм «внедрения» научных разработок в промышленность в это время уже не работал.

Юбилей – 65 лет лаборатории (2018 г.). В настоящее время, несмотря на то, что число сотрудников лаборатории уменьшилось в 5 раз, оставшиеся сотрудники активно работают в области создания новых наноструктурированных термоэлектрических материалов (ТЭМ), а также в области информатики. Эти существенно отличные друг от друга научные направления в пределах лаборатории взаимодействуют друг с другом, публикуются совместные работы [38].

Термоэлектрические материалы. В лаборатории получили дальнейшее развитие работы по физико-химическим исследованиям перспективных ТЭМ нового поколения для термогенераторов и термоэлектрических охладителей. Изучаются возможности повышения эффективности термоэлектрических преобразователей за счет использования в них сплавов, полученных быстрой закалкой из расплава (группа Л.Д. Ивановой) [39]. Исследуются материалы на основе сложных тетрадимитоподобных соединений, образующихся в системах $A^{IV}B^{VI} - A^VB^{VI}$, и представляющие собой естественные наноструктуры с особыми свойствами (группы Авилова Е.С. и Коржуева М.А.) [40].

Работа лаборатории в области информатики. В лаборатории было развито новое перспективное направление химии твердого тела: компьютерное конструирование новых неорганических материалов на основе

использования информации баз данных и методов искусственного интеллекта. Написаны монографии [41, 42], а также разработаны различные базы данных, доступные из сети Интернет.

Благодарность. Автор благодарит всех сотрудников лаборатории, предоставивших материалы из своих архивов.

Литература

1. Официальный сайт ИМЕТ <http://www.imet.ac.ru>
2. Абрикосов Н.Х. Воспоминания о А.Ф.Иоффе. Л.: Наука. 1973. С.175-179.
3. Воспоминания об академике Н.Н. Сироте (К 95-летию со дня рождения) / Сост. Олехнович Н. М., Рыжковский В. М. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2008. 181 с.
4. Коржуев М.А. Стенная газета лаборатории полупроводниковых материалов №11 ИМЕТ АН СССР «Затравка» (1975- 1988) – электронная файл 480 Мб.
5. Исаков В. Б. Кто и как развалил СССР. Хроника крупнейшей геополитической катастрофы XX века. М.: Книжный мир. 2012. 124 с
6. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М: Высшая школа. 1973. 656 с.
7. Курнаков Н.С. Введение в химико-физический анализ. М.: Издательство АН СССР, 1940.С. 83.
8. Петров Д.А. Тройные системы. М.: Издательство АН СССР, 1953. 316 с.
9. Петров Д.А. Двойные и тройные системы. М.: Металлургия, 1986. 256 с.
10. Петров Д.А. Четверные системы. М.: Металлургия, 1991. 284 с.
11. Земсков В.С. Исследование условий получения германия с заданными электрическими характеристиками. Диссертация. на соискание ученой степени к.т.н.// Научный руководитель – проф., д.т.н. Д.А.Петров. М. ИМЕТ. 1956. 194 с.
12. Глазов В.М., Вобст М., Тимошенко В.И. Методы исследования свойств жидких металлов и полупроводников. М.: Металлургия. 1989. 384 с.
13. Глазов В. М., Чижевская С.Н., Глаголева Н.Н. Жидкие полупроводники. М., Наука, 1967. 244 с.
14. Регель А.Р., Глазов В. М. Закономерности формирования структуры электронных расплавов. М.: Наука. 1982. 320 с.
15. Глазов В. М. Основы физической химии. М.: Высшая школа. 1981. 456 с.
16. Глазов В. М., Павлова Л. М. Химическая термодинамика и фазовые равновесия. (Двухкомпонентные металлические и полупроводниковые системы). М., Металлургия, 1981. 336 с.
17. Глазов В. М., Лазарев В.Б., Жаров В.В. Фазовые диаграммы простых веществ. М.: Наука. 1980. 272 с.
18. Глазов В.М., Вигдорович В.Н. Микротвердость металлов. М.: ГНТИЛЧИЦМ.1962. 224 с.
19. Глазов В.М., Айвазов А.А. Энтропия плавления металлов и полупроводников. М.: Металлургия, 1980. 172 с.

20. Глазов В.М., Земсков В.С. Физико-химические основы легирования полупроводников. М.: Наука.1967. 372 с.
21. Иванов Л. И., Земсков В. С., Кубасов В. Н., Пименов В.Н., Белокурова И. Н., Гуров К. П., Дёмина Е. В., Титков А. Н., Шульпина И.Л.. Плавление, кристаллизация и фазообразование в невесомости. Эксперимент «Универсальная печь» по программе «Союз» - «Аполлон» // Изд. «Наука». Москва. - 1979. – 255 с.
22. Легирование полупроводников. // Под ред. Н.Х. Абрикосова, В.С.Земскова, Л.С.Милевского, А.А.Плетюшкина, И.Н.Белокуровой. М.: Наука.1982. 296 с.
23. Свойства легированных полупроводников // Под ред. В.С.Земскова, Л.С.Милевского, А.А.Плетюшкина, И.Н.Белокуровой. М.: Наука.1977. 240 с.
24. Материалы международного семинара: «Полупроводниковые материалы для термоэлектрических устройств и солнечной энергетики», 5- 7 июня 2002. М.: ИМЕТ. 67 с.
25. Абрикосов Н.Х., Банкина В.Ф., Порецкая Л.В., Скуднова Е.В., Щелимова Л.Е. Полупроводниковые соединения, их получение и свойства. Халькогениды элементов II, IV и V групп периодической системы. М.: Наука. 1967. 176 с.
26. Земсков В.С., Лазарев В.Б., Абрикосов Н.Х., Карпинский О.г., Медведева З.С., Миргаловская М.С., Скуднова Е.В., Садовская О.А. Твердые растворы в полупроводниковых системах. Справочник. М.: Наука. 1978. 198 с.
27. Абрикосов Н.Х., Банкина В.Ф., Порецкая Л.В., Скуднова Е.В., Чижевская С.Н. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе. М.: Наука. 1975. 220 с
28. Абрикосов Н.Х., Щелимова Л.Е. Полупроводниковые материалы на основе соединений $AlVbVI$. М.: Наука. 1975. 196 с.
29. Лебин Б.Д., Цыпкин Г.А. Права работника науки. Л.: Наука. 1974. 228 с.
30. Коржуев М.А. Исследование диэлектрических свойств кристаллов KH_2PO_4 (KDP) и RbH_2PO_4 (RDP) вблизи сегнетоэлектрической точки Кюри // М.: Физический факультет. Отделение физики твердого тела. Кафедра физики кристаллов МГУ им. М.В.Ломоносова.. 1970. 62 с. (Научный руководитель – проф., д.ф.-м.н. Струков Б.А).
31. Струков Б.А., Коржуев М.А., Баддур А., Копчик В.А. Спонтанная поляризация кристалла KH_2PO_4 вблизи точки Кюри // ФТТ. 1971. Т.13. №7. С.1872-1877.
32. Струков Б.А., Коржуев М.А., Копчик В.А. О критическом поведении кристаллов KH_2PO_4 и RbH_2PO_4 // Изв.АН СССР, сер. физ. 1971. №9. С.1846-1848.
33. Новикова С.И., Щелимова Л.Е., Абрикосов Н.Х., Авилов Е.С., Коржуев М.А. Анизотропия электросопротивления теллурида германия // ФТТ. 1973. Т.15. №11. С.3407- 3409.
34. Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел. М.: Наука. 1974. 292 с.
35. Коржуев М.А. Теллурид германия и его физические свойства. М.: Наука. 1986. 104 с.

36. Шелимова Л.Е., Томашик В.Н., Грыцив В.И. Диаграммы состояния в полупроводниковом материаловедении. Системы на основе Si, Ge, Sn, Pb. М.: Наука. 1991. 368 с.
37. В защиту науки. Комиссия по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований РАН. Билл. №3. // Под ред. Э.П.Круглякова. М.: Наука. 2008. 299 с.
38. Российская академия наук. Хроника протеста. Июнь- июль 2013. Соствитель А.Н.Паршин. М.:Журнал «Русский репортер», 2013. 256 с.
39. Сорокин П.А.. Дальняя дорога. Автобиография. М., «Московский рабочий; ТЕРРА», 273 с.
40. Агеев Н. В., Быков В. Н., Виноградов С. И, Головкин В. С., Левдик В. А.. Явление аномального упорядочения магнитных моментов в кристаллических структурах. Открытие № 191 с приоритетом от 21 ноября 1958 г. Государственный реестр открытий СССР.
41. Авдуевский В.С., Лесков Л.В. Работает невесомость. М.: Молодая гвардия.1988. 224 с.
42. Космическое материаловедение. Введение в научные основы космической технологии. Под ред. Б.Фойербахера, Г.Хамахера, Р.Наумана. М.: Мир. 1989. 478 с.
43. Земсков В. С., Раухман М. Р., Шалимов В. П. Итоги экспериментов ИМЕТ РАН по выращиванию монокристаллов полупроводников в условиях полётов космических аппаратов С.383- 407. В Сб.: Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова РАН — 75 лет. Сб. научных трудов под ред. академика К.А. Солнцева. М.: Интерконтакт Наука, 2013, 792 с.
44. Храмов Ю. А. Физики: Биографический справочник. Под ред. А.И. Ахиезера. —М.: Наука. 1983. 400 с.
45. Киселева Н.Н., Дударев В.А., Коржуев М.А. База данных по ширине запрещенной зоны неорганических веществ и материалов // Материаловедение. 2015. №7. С.3- 8.
46. Авилов Е.С., Коржуев М.А, Кретьова М.А. Экспресс- методики анализа характеристик термоэлектрических материалов и преобразователей // Известия ДТГУ. Техн. Науки. 2018. Т.45. № 1. С.49- 59.
47. Савицкий Е.М., Грибуля В.Б., Киселева Н.Н., Ростич М., Николич З., Стоилькович З., Живкович М., Арсеньева И.П. Прогнозирование в материаловедении с применением ЭВМ. Под. ред. А.М.Евсеева. М.: Наука. 1990. 88 с.
48. Киселева Н.Н. Компьютерное конструирование неорганических соединений; использование баз данных и методов искусственного интеллекта. М.: Наука. 2005. 289 с.
49. Дударев В.А.Интеграция информационных систем в области неорганической химии и материаловедения. М.: Красанд, 2016. 320 с.

Лаборатория «Диагностики материалов». Как быстро летит время!

К.В. Григорович

Лаборатория «Диагностики материалов» (ЛДМ), являясь одной из самых молодых лабораторий Института, в этом, 2018 году празднует свое двадцатилетие. Она была создана при активной поддержке директора Института академика Н.П. Лякишева ровно двадцать лет тому назад. Приказ № 148 о создании «Научного центра исследования материалов ИМЕТ-ЛЕКО» в ИМЕТ РАН был подписан 15 июня 1998г. Центр создавали, как сказано в приказе, «...для проведения широкого спектра физико-химических исследований, определения состава, структуры и свойств металлических материалов, разработки и совершенствования методов анализа». При этом, юридических оснований для создания Центра не было, поскольку в Уставе ИМЕТ таких структурных единиц не значилось. Но поначалу никто, кроме отдела кадров, на это не обратил внимание. Центр благополучно просуществовал до 2001г., и только тогда встал вопрос о легитимности существования в Институте Центра ИМЕТ-ЛЕКО. В новом приказе от 16.04.2001г. директора, академика Н.П. Лякишева было написано: «...Создать в Институте лабораторию диагностики материалов и присвоить лаборатории порядковый номер 17. Включить в состав лаборатории диагностики материалов Научный центр исследований материалов ИМЕТ-ЛЕКО. Назначить и.о. заведующего лабораторией диагностики материалов доктора технических наук Григоровича К.В., с последующим прохождением по конкурсу».

Но, по большому счету, история ЛДМ началась осенью 1991 года, когда на выставке «Наука 1991», которая проходила в выставочном центре на Красной Пресне, я встретил бывшего сотрудника ИМЕТ Павла Васильевича Макарова, который, как оказалось, в то время работал в Представительстве фирмы LECO Instrumente GmbH (Германия) в Москве. Я его хорошо знал по работе в ИМЕТ и футбольным баталиям на институтской спортивной площадке. Мы разговорились, и я рассказал о наших работах в области анализа газов в металлах. В лаборатории «Физикохимии металлических расплавов» (№2) мы, в содружестве с математиками факультета ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова, на переделанном старом газоанализаторе немецкой фирмы Strohlein, пытались создать метод фракционного газового анализа (ФГА). Сделали автоматический контроль состава газовой фазы и температуры аналитического расплава через компьютер, мой аспирант написал программу управления процессом анализа и блок вывода данных для обработки. Подходящих для реализации метода ФГА отечественных газоанализаторов тогда не выпускали, как, впрочем, не выпускают их и по сегодняшний день. И что-то у

нас даже стало получаться, как нам тогда казалось. Вот с этим я и пришел на выставку — встретиться с ребятами из фирмы Strohlein, с которыми до этого делились результатами работы на приборе. «Зачем Вам Strohlein, — сказал Павел (немцы были главными конкурентами американской фирмы LECO) — давайте работать с нами». Он организовал мне встречу со специалистом фирмы по газовому анализу Винфредом Башнером и с Генеральным директором фирмы Стюартом Илли, которые тогда работали на выставке в Москве. Я показал им некоторые наши результаты. Результаты показались им интересными, но спорными. С этого момента и началось наше сотрудничество. Мы несколько раз встречались с ними и американскими специалистами фирмы LECO на международных конференциях, где они интересовались мнением известных специалистов по газовому анализу о наших разработках.

И вот, в 1992 г., во время встречи в Московском офисе фирмы Стюарт Илли спросил: «А на нашем, американском анализаторе ТС-436 LECO Вы можете продемонстрировать работу Вашего метода?»

«Можем, — нахально сказал я, только у нас в Институте такого анализатора нет».

«А если мы Вам его привезем?»

«Было бы здорово, только, боюсь, денег на него мы в ИМЕТе не найдем» — ответил я.

Я-то знал, что стоит этот новый анализатор ТС-436 фирмы LECO 120 000 \$ US. Моя зарплата ст.н.с. составляла тогда долларов 30, и стоимость анализатора для меня была просто нереальной, заоблачной.

«А если мы Вам привезем анализатор бесплатно, в качестве технической помощи Институту, Вы метод ФГА на нашем анализаторе сделаете? Вы нам — метод, мы Вам — анализатор» — спросил Стюарт.

«Хорошо, — ответил я, сделаем, только анализатор вперед».

Стюарт, подумав, сказал: «Договорились, только теперь этот вопрос мне надо согласовывать в Америке с президентом фирмы LECO Бобом Уорреном».

Вернувшись на следующий день в Институт, я рассказал моему начальнику, заведующему Лаборатории «Физико-химии металлических расплавов» Виталию Ивановичу Кашину, что фирма LECO предлагает поставить в нашу лабораторию самый современный газоанализатор ТС-436 бесплатно, в порядке оказания технической помощи. Он мне, конечно, не поверил, и поэтому легко согласился поставить прибор у меня в группе — если прибор привезут. Вместе с ним мы сходили к директору и получили его согласие. Честно говоря, я мало верил в то, что американцы нам поставят прибор бесплатно. Прошло около двух месяцев — и вдруг раздается звонок П.В. Макарова:

«Привет, через неделю анализатор ТС-436, в максимальной комплектации, с запасом тиглей и расходных материалов на год работы прилетает в Москву в Шереметьево — Карго в адрес ИМЕТа, бесплатно, в качестве

оказания технической помощи. Оформляй документы, я не знаю, какие надо, и забирай».

«Вот так, запросто получить для наших исследований, в лабораторию, лучший в мире газоанализатор, — подумал я. Наверное, им, действительно, некуда девать деньги». Оказалось, что у них — прислать прибор — это просто. А вот получить его у нас — совсем не просто. Мы в институте составили какое-то письмо и я, с этим письмом от ИМЕТа, приехал на Шереметьевскую таможню — забирать бесплатный прибор.

«Так... бесплатно... в порядке оказания технической помощи...» — сказал таможенник, рассматривая документы. «Бесплатно... ну, парень, тогда ты точно попал! Не скоро ты у нас свой прибор заберешь».

Оказалось, что для таможенного оформления научных приборов и оборудования, полученных бесплатно, в качестве технической помощи, существовала довольно сложная процедура, включающая сбор огромного количества разрешающих, подтверждающих и прочих документов — на всех уровнях властных структур. Надо было получить решение Государственного Комитета по науке и технике СССР, затем решение комиссии МИД СССР. Эти документы могли быть получены только после соответствующего ходатайства Президиума АН СССР, которое, в свою очередь, могло быть получено только после ходатайства дирекции ИМЕТ, предоставления договора между Институтом и фирмой-дарителем и целой кучи подтверждающих бескорыстные намерения дарителя документов и т.д. В общем, больше двух месяцев со дня прибытия прибора на таможню, вместо отпуска, я непрерывно бегал по инстанциям, оформляя бумажки, а анализатор пылился на таможенном складе. И он, при этом, не просто пылился, — непрерывно работал счетчик оплаты за его хранение. В результате, я забрал прибор с таможенного склада через три с лишним месяца. Институту еще повезло, что выдавшая разрешение на вывоз анализатора сотрудница таможни перепутала даты, не поверив, что что-то может храниться на таможенном складе более месяца, и денег с нас взяли сравнительно мало. После благополучной доставки анализатора в ИМЕТ, был впечатляющий запуск прибора. На запуске было много дыма и искр, поскольку наладчики фирмы перепутали на силовом щитке фазу с землей. Прибор сожгли. Сгорели три электронных платы управления прибора на сумму больше 15000 \$ US. Новые платы привезли из Америки через месяц и заменили. И, наконец, анализатор заработал. Вот с этих замечательных событий и началась история нашей лаборатории.

Мы начали проводить интересные исследования в совершенно новой для нас области фракционного газового анализа, эксперименты, конференции, выставки, поездки на семинары и, наконец, в 1998 г., был подписан договор о сотрудничестве между Институтом и фирмой LECO Instrumente GmbH (Германия). У фирмы в России дела шли неплохо, они хотели расширять свои возможности для рекламы и демонстрации приборов. Фирме в Москве нужна была демо-лаборатория, но создавать

собственную было очень дорого. С директором Института, академиком Н.П. Лякишевым и сотрудниками моей группы у руководства фирмы установились хорошие деловые отношения. Поэтому, в рамках договора о сотрудничестве, в Институте был начат проект создания нового структурного подразделения — «Научного центра исследования материалов ИМЕТ-ЛЕКО» — для исследований и аттестации новых перспективных материалов. Было принято решение привезти в ИМЕТ современное аналитическое оборудование фирмы «LECO» (США):

— атомно-эмиссионный спектрометр тлеющего разряда — SA-2000 — первый в России новейший прибор для послыйного анализа;

— оптический микроскоп Olimpus PME-3, с только что разработанной в Америке системой анализа изображения IA-3001;

— автоматический компьютерный микротвердомер M400H1;

— анализатор серы и углерода CS 400;

— оборудование для подготовки проб — шлифовально-полировальный станок SS-2000,

— прибор для ультразвуковой очистки образцов RK-255.

Газоанализатор TC 436 для анализа кислорода и азота в материалах у нас тогда уже был.

Общая стоимость поставляемого в Институт оборудования составляла 550 000 US долларов. Тогда это была очень большая сумма для Института. С фирмой LECO Instrumente удалось договориться о рассрочке в платежах и значительной скидке, в обмен на обязательство бесплатно демонстрировать работу приборов фирмы заинтересованным сторонним организациям. При этом Институт обязался выделить под установку оборудования заново отремонтированные помещения с полным электро-, водо-, и газоснабжением, сотрудниками и инфраструктурой. Стоимость приборов, даже с учетом скидки, предоставляемой фирмой LECO Instrumente Институту, все равно составила 125 000 US долларов. У Института таких денег, конечно, не было, как не было ни готовых отремонтированных помещений, ни достаточного количества обученных сотрудников. По просьбе Николая Павловича Лякишева, Президиум Российской академии наук выделил для закупки оборудования 50 000 US долларов, оставалось найти где-нибудь еще 75 000. А в это время оборудование начали привозить в Институт, и отступать уже было поздно. На территории ИМЕТ тогда арендовал помещения Фонд поддержки малого бизнеса при Правительстве РФ. Николаю Павловичу удалось договориться с председателем Фонда, Иваном Михайловичем Бортником, о финансировании двух проектов, с выделением денег, в виде беспроцентных кредитов, на оборудование для малого предприятия — нашего Центра. Я готовил документы со сроком погашения беспроцентного кредита Институтом через десять лет и, таким образом, мы смогли оплатить фирме еще 50 000 долларов. Где взяли остальные деньги, я уже сейчас не помню. Знаю только, что собственно Институт на покупку оборудования не потратил ни рубля. Даже деньги по

кредиту отдавать не пришлось, поскольку позднее случился дефолт, рубль сильно обесценился и Фонд долг Института просто списал. Оборудование пришло, стояло на складе, а куда его ставить, мы не знали.

Тогда Центру, для установки аналитического оборудования, были выделены 429 (1-5) и 430 комнаты на третьем этаже главного здания ИМЕТ. Денег, для проведения ремонта передаваемых Центру помещений, покупки лабораторных столов и мебели, у Института тоже не было. Николай Павлович поручил решить эти непростые проблемы заместителю директора по общим вопросам, к.т.н. Евгению Геннадиевичу Пруцкову и сказал при этом, что денег на это не даст. Евгений Геннадиевич, как это ни удивительно, все организовал быстро и эффективно. Мебель для Центра подобрали из старых институтских завалов. Старые, но вполне приличные лабораторные столы и стулья нашли в законсервированных и превращенных в склады туалетах 4 этажа и отремонтировали. Часть офисной мебели и сейф забрали у обанкротившихся арендаторов. Необходимые для ремонта расходные материалы, вплоть до светильников в туалет, поставили все те же арендаторы из находившихся на территории ИМЕТ магазинов, в счет оплаты аренды. Нашли рабочих для проведения ремонта, и месяца через три ремонт был полностью закончен. Повесили над дверями таблички, и состоялось торжественное открытие Центра.

В штатном расписании лаборатории установили ставки заведующего лабораторией (Центра), одного научного сотрудника, двух ведущих инженеров и механика КИП. При этом, в наличии были только сотрудники лаборатории №2 –заведующий — ст.н.с., к.т.н. К. В. Григорович, научный сотрудник П.В. Красовский и механик КИП Г.П. Быков. Первым сотрудником, пришедшим к нам в Центр работать, была Лидия Васильевна Уланская, единственный в нашем подразделении настоящей аналитик. Лидия Васильевна, — выпускница кафедры аналитической химии Ленинградского университета. До прихода к нам она пятнадцать лет проработала в аналитической лаборатории комбината Норильский никель и стала для нас непререкаемым аналитическим авторитетом.

Приборов в центре было много, а работать на них никто не умел. В Центре был микроскоп, система анализа изображений, твердомер, но не было ни одного специалиста в области металловедения, пока в декабре 1999 г. к нам не пришла работать аспирантка второго года обучения — с кафедры Металловедения и физики прочности МИСИС, Анна Сергеевна Богданова (в замужестве Трушникова). Специалисты фирмы ЛЕСО организовали для нас «курсы молодого бойца», и каждый из сотрудников Центра научился работать на нескольких приборах, на свой (и начальни-ка) выбор. Мне же пришлось осваивать работу на всех приборах.

Первым защитившим кандидатскую диссертацию в новой лаборатории в 1999 г. стал Павел Владимирович Красовский. Вторым защитившим (правда, докторскую диссертацию) в 2000 г. стал я. В начале 1999 г., после создания Центра, меня вызвал к себе Николай Павлович и сказал:

«А Вы знаете, что у нас в Институте все заведующие лабораториями — доктора наук. ? А вот Вы — кандидат. Сколько Вам надо для написания докторской диссертации,... полгода — достаточно? Я мог бы стать у Вас научным консультантом. Принесите мне через пару месяцев первые главы, я готов посмотреть». Я оторопел от такого предложения и, неожиданно для себя самого, согласился. Правда, интенсивно проработав над диссертацией месяц, я закрутился с делами и о защите забыл, решив, что сделаю это когда-нибудь потом, а сейчас время на это тратить не буду. Однако, к моему большому удивлению, Николай Павлович ничего не забыл, и через два месяца снова меня вызвал и спросил: «Ну, и где..?». В общем, деваться было некуда, пришлось просидеть лето над манускриптом и затем защищаться. Благо, материалов для этого у меня уже было опубликовано предостаточно.

Лаборатория остро нуждалась в кадрах, и когда в 2000 г. меня пригласили работать профессором на кафедру «Металлургии стали» МИСИС, я согласился, чтобы иметь возможность отбирать лучших студентов для работы в ИМЕТе. Первым студентом МИСИС, который в апреле 2001г. пришел в лабораторию делать студенческую научную работу, был Сергей Шибаев — отличник, очень способный студент. Он защитил у нас диплом, а затем поступил в аспирантуру и на десять лет остался работать в лаборатории. С 2002г. у нас начал работать аспирант факультета ВМК МГУ Антон Горохов. В 2003 г. пришли к нам работать аспирант кафедры Metalловедения и физики прочности МИСИС Александр Арсенкин и выпускница той же кафедры Юлия Миронова. Так постепенно формировался коллектив, и к 2003 г. в лаборатории работали уже 11 сотрудников. Мы были самой молодой лабораторией Института, и средний возраст сотрудников лаборатории тоже был самым маленьким — 31 год.

У лаборатории наладились хорошие связи с тремя кафедрами МИСИС — кафедрой «Металлургии стали и ферросплавов», где я работал сначала профессором, а с 2010 г. стал заведующим этой кафедры, с кафедрой «Metalловедения и физики прочности», которой руководил Сергей Анатольевич Никулин, и с кафедрой «Аккредитации и сертификации», заведующим которой тогда был чл.-корр. Юрий Александрович Карпов. Юрий Александрович подсказал нам название нашей лаборатории — ЛДМ — лаборатория диагностики материалов, за что мы ему очень благодарны. С дружественных кафедр к нам приходили на КНИР студенты и оставались делать дипломные работы, а затем лучшие из них устраивались на работу в нашу лабораторию. С кафедры «Металлургии стали и ферросплавов» к нам работать пришли Алексей Далматов (2005), Арсений Гарбер (2005 г.), Константин Демин (2007), Николай Барановский (2007), Татьяна Шибаева (2007), Игорь Костенко (2009), Ярослав Табаков (2010), Анна Хилько (2010), Борис Румянцев (2010), Ольга Комолова (2011), Александр Алпатов(2011), Дмитрий Горкуша(2015). С кафедры сертификации: Андрей Инкин (2005), Катя Яйцева (2005), Георгий

Спрыгин (2007), Ирина Венедиктова и Ярослав Химюк (2008). С кафедры «Металловедения и физики прочности», кроме уже перечисленных, пришел Марк Железный (2013). Георгий Чашин (2004), Ринат Хакимов (2004) а затем и Екатерина Мансурова (2009) пришли к нам из Колледжа аналитической химии.

В 2001 г. я, по совету Юрия Александровича Карпова, решил аккредитовать нашу лабораторию. Целый год мы к этому готовились, нам помогали студенты-дипломники кафедры сертификации и, в 2002 г. Лаборатория диагностики материалов прошла аккредитацию на соответствие требованиям Системы аккредитации аналитических лабораторий (СААЛ) и была аккредитована в Государственном реестре. С тех пор, до настоящего времени лаборатория ежегодно подтверждает аккредитацию.

Лаборатория Диагностики материалов с самого начала успешно сочетала работу по обслуживанию лабораторий Института с фундаментальными и прикладными исследованиями.

Сотрудниками лаборатории был выполнен комплекс экспериментальных и теоретических исследований и, совместно с сотрудниками Факультета ВМК МГУ, проведено согласованное описание термодинамических свойств двойных и тройных систем (Ni-Al, Ni-Cr, Ni-Cr-Al, Fe-Si, Ni-Mo, Ni-Nb) в широком интервале температур и концентраций [1-2, 12-14, 18, 20-25]. Были выполнены экспериментальные исследования растворимости кислорода и проведено описание термодинамических свойств расплавов систем: Ni-Cr-O, Fe-Si-O [27], Ni-Al-O, Fe-Ni-Si-O, Fe-Ni-Al-O [3-7]. Был получен ряд важных термодинамических констант. Результаты работ опубликованы в научных журналах, изложены в кандидатских диссертациях С.С. Шибаета, А.В. Горохова, докторской диссертации К.В. Григоровича, и известны в нашей стране и за рубежом.

В лаборатории был разработан и реализован в новейших приборах метод фракционного газового анализа (ФГА), который получил широкое мировое признание, а также сформулированы основные принципы метода. Сотрудниками лаборатории был выполнен комплекс исследований, связанных с разработкой физико-химических основ фракционного определения газообразующих примесей в металлах и сплавах, порошках, в том числе наноразмерных [8-11, 13-18, 28-33]. Результаты выполненных исследований были опубликованы в научных журналах, изложены в кандидатских диссертациях П.В. Красовского, А.В. Горохова, Я.И. Табакова, докторской диссертации К.В. Григоровича.

Сотрудники лаборатории провели комплекс исследований в области атомно-эмиссионной спектроскопии тлеющего разряда для разработки методик и программного обеспечения количественного послыонного анализа. Результаты исследований были опубликованы в научных журналах [34], изложены в кандидатских диссертациях Г.С. Спрыгина и М.М. Мизотина.

Большой объем работ лаборатория выполняла по хозяйственным договорам с заводами и промышленными компаниями, приобретая бесценный опыт.

Первой серьезной работой, с которой в 2000 г. начали свою хозяйственную деятельность сотрудники лаборатории, был договор с Белорусским металлургическим заводом (РУП «БМЗ»), который располагался в г. Жлобин. Договор назывался: «Анализ и оптимизация технологии выплавки и внепечной обработки кордовой стали на Республиканском унитарном предприятии БМЗ». Целью договора была разработка технологий выплавки и внепечной обработки кордовой стали, адаптированных к условиям РУП «БМЗ» и направленных на получение стали с заданным количеством, составом и морфологией неметаллических включений, при минимальных затратах на производство. Производство металлокорда – одно из наиболее высокотехнологичных и наукоемких направлений в металлургии, которое появилось во второй половине XX в. и получило развитие только в экономически высокоразвитых странах мира. Металлокорд – это тонкий стальной канат, свитый из тончайших (диаметром 0,12-0,35 мм) высокопрочных проволок с латунным (чаще всего) или цинковым покрытием, которое обладает более высокой адгезией к резине, чем сталь, и кроме того, защищает сталь от коррозии. Всего пять-шесть признанных мировых производителей обеспечивают кордом весь автомобильный транспорт. Бельгийская компания “Bekaert” производит около 20 % мирового рынка корда. Второй крупнейшей компанией, производящей металлокорд, является Швейцарская компания “Trefil Arbed”. Крупнейшие компании, производители металлокорда – “Goodyear”, “Michelin”, “Bridgeston” и “Pirelly” представляют до 45% мирового рынка металлокорда. Белорусский завод, построенный в советское время австрийской фирмой FAI, входил в число этих лучших производств. Нам было лестно получить от руководства завода предложение о сотрудничестве. К высокопрочной стали для металлокорда (0,8-0,9 % C) предъявляют повышенные требования, выполнение которых обеспечивается высокой чистотой литой заготовки. Работой с технологией производства стали для металлокорда сотрудники лаборатории занимались несколько лет, и ее результаты позволили сформулировать критерии чистоты кордовой стали по неметаллическим включениям и скорректировать технологию производства кордовой стали на РУП «БМЗ» [12, 18, 22-24]. Дополнительным результатом работы стала защита кандидатской диссертации в 2003 г. техническим директором завода Эдуардом Владимировичем Ивановым, по результатам совместных с нами исследований.

В 2003 г. началось сотрудничество нашей лаборатории с ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» по договору: «Исследование образцов электротехнической анизотропной стали (ЭАС) ОАО «НЛМК» методами фракционного газового анализа и оптической спектрометрии тлеющего разряда». Результатом этого сотрудничества стали: корректи-

ровка заводской технологии внепечной обработки и создание метода контроля качества [29].

Следующей важной темой, которой занимались сотрудники лаборатории, было повышение качества металла для железнодорожных рельсов и колес. Условия эксплуатации рельсов на Российских железных дорогах предъявляют особые требования к их качеству. Эти особенности определяются сложными климатическими условиями железных дорог и значительным объемом грузопотоков. Поэтому качество рельсов и железнодорожных колес является одним из основных показателей безопасности железнодорожного сообщения. Практически ежедневно из пути работники РАО РЖД изымаются более 300 дефектных рельсов. Сотрудники нашей лаборатории внесли свой вклад в повышение качества рельсов и железнодорожных колес, помогая заводам совершенствовать технологии производства рельсовой и колесной стали, а также методы контроля качества.

В конце двадцатого века российские заводы-производители рельсовой продукции: Новокузнецкий металлургический комбинат (ОАО НКМК) и Нижне-Тагильский металлургический комбинат (ОАО НТМК) ликвидировали свое мартеновское производство, и перешли на современные технологии производства рельсовой стали, включая внепечную обработку и непрерывную разливку. На ОАО НТМК полупродукт выплавляли в кислородных конвертерах, а в Новокузнецке выплавка проводилась в сверхмощной дуговой сталеплавильной печи (ДСП). При этом результаты полигонных испытаний на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ рельсов обоих заводов-производителей, изготовленных по новым технологиям, показали очень плохие эксплуатационные характеристики: полученный на кольце — 80% — гамма-ресурс пропущенной нагрузки не превышал 250 млн т. брутто. Гамма-ресурс определялся по пропущенной рельсами нагрузке, при изъятии из пути 20% рельсов от партии с образовавшимися при испытаниях дефектами. При расчетах эксплуатации рельсов, РАО РЖД учитывает нормативный срок службы рельсов — 10-12 лет, что соответствует ресурсу пропущенной рельсами нагрузки — 500 млн.т. брутто. Испытания показали, что 80% -гамма-ресурс пропущенной нагрузки выпущенных по новым, современным технологиям отечественных рельсов оказался 200 млн.т. брутто — вдвое меньше нормативного, уверенно нарабатываемого на мартеновских рельсах. При этом поставленные одновременно с Российскими рельсами в кольцо партии рельсов японских фирм Nippon Kokan Co и Nippon Steel Co, партии рельсов фирмы FAI — австрийского производства и фирмы Sogeraill французского производства показали очень высокий эксплуатационный ресурс — более 1 млрд т. брутто.

Причины столь низких эксплуатационных характеристик отечественных рельсов, при соблюдении заводами всех требований ГОСТа к составу и структуре металла, были непонятны, и Лаборатория диагностики ма-

териалов была привлечена ОАО «ВНИИЖТ» к исследованиям рельсов, прошедших эксплуатационные испытания в Экспериментальном кольце. Для того, чтобы понять причины столь низкой эксплуатационной стойкости отечественных рельсов, нами был проведен комплекс исследований химического состава и загрязненности стали неметаллическими включениями, металловедческих исследований микро и макроструктуры, электронно-микроскопических исследований, а также — определение ударной вязкости образцов рельсовых сталей различных производителей. Нашими исследованиями было продемонстрировано, что макро и микро-структура различных рельсов, которые показали существенные различия в эксплуатационных испытаниях на опытном кольце ОАО ВНИИЖТ в Щербинке, отличается незначительно [15, 26]. Небольшие различия в химическом составе и микроструктуре рельсов не могли объяснить существенные отличия в эксплуатационной стойкости. Исследования показали, что объемная доля недеформируемых оксидных НВ и их средние размеры в рельсах производства Австрии, Японии и Франции, которые показали рекордную эксплуатационную стойкость, существенно ниже, чем в рельсах отечественных производителей. При этом количество, размеры неметаллических включений, их морфология и распределение в металле определяются технологией производства рельсов. Основной причиной выхода рельсов из строя, на тот момент, было возникновение дефектов контактно-усталостного происхождения, вызываемого недеформируемыми оксидными неметаллическими включениями (НВ). Интенсивность накопления контактно усталостных трещин определяется как условиями эксплуатации рельсов — величинами и количеством контактных давлений колес на рельс, так и качеством рельсового металла. Зарождение контактно усталостных дефектов в рельсовом металле и скорость их развития до разрушения определяются свойствами стали — ее составом (включая содержание примесных элементов), макро- и микро-структурой (размерами зерен, характером границ, размерами перлитных колоний, наличием свободного зернограницного феррита и т.д.), а также содержанием в металле неметаллических включений. Известно, что основные контактно-усталостные дефекты (11 и 21), по классификации, зарождаются в рабочей зоне закругления головки рельса на глубине 5-10 мм от поверхности катания, испытывающей сжимающие напряжения при контакте с нагруженным колесом. Результаты проведенных исследований показали, что наиболее часто встречающимися видами включений в очагах контактно-усталостных дефектов в рельсах являются крупные включения оксидов алюминия. Несмотря на некоторые различия в оценке приводимой различными исследователями величины критического размера включения в рельсовой стали, было показано, что необходимо стремиться к полному удалению из металла крупных неметаллических включений размером 15-20 мкм и более.

Было сделано предположение, что чем больше включений неблагоприятных типов в металле, тем больше вероятность того, что вблизи поверхности качения рельса возможно образование контактно-усталостного дефекта. Таким образом, количество кислорода на кривой ФГА, для каждого конкретного пика газовой выделенности, характеризует количество включений данного типа и, следовательно, их возможное влияние на усталостные свойства стали. Сопоставление результатов количественной металлографии и Фракционного газового анализа позволило достоверно аттестовать чистоту рельсового металла.

При производстве современных рельсов из непрерывно-литой заготовки, по сравнению с их производством из слитков, после прокатки происходят меньшие изменения микро- и макроструктуры готового металла и размеров неметаллических включений. Это связано с заметным уменьшением степени обжатия и меньшей проработкой структуры при горячей прокатке рельсов из непрерывно-литой заготовки, по сравнению с прокаткой из слитков (10-11, против 40). Меньшая проработка металла при горячей пластической деформации непрерывно-литой заготовки приводит к недостаточному «очищению» металла, за счет уменьшения размеров деформируемых включений и измельчения недеформируемых. При этом не может не измениться критический размер неметаллических включений, которые являются причиной зарождения в металле контактно-усталостных трещин. Следовательно, и чистота рельсового металла по неметаллическим включениям в стали, выплавленной по новым технологиям, должна быть существенно выше.

Существующие методы контроля, регламентируемые международными стандартами, были недостаточно эффективны для оценки качества стали по НВ. Действующая на тот момент технология производства рельсовой стали не позволяла стабильно достигать требуемый уровень чистоты стали по оксидным неметаллическим включениям.

В цикле работ, выполненных в лаборатории Диагностики материалов Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, была обоснована необходимость применения методов количественной металлографии и фракционного газового анализа для оценки загрязненности рельсового металла. Был проведен сравнительный анализ чистоты рельсового металла по НВ методами электронной микроскопии, количественной металлографии и ФГА.

В технические условия производства отечественных рельсов для сочлененного и скоростного движения, при нашем непосредственном участии, были введены новые требования по содержанию неметаллических включений и общего кислорода в металле, который должен быть менее 20 ppm.

В 2002 г. был заключен договор с ОАО «НКМК» ЕВРАЗ, и в 2004 г. был заключен договор с ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат». Результатом проведенной на комбинатах работы стала коррек-

тировка и оптимизация технологий выплавки и внепечной обработки рельсовой стали, включающей проведение теоретических и экспериментальных исследований, с целью уменьшения брака по недеформируемым высокоглиноземистым включениям, а также выдача рекомендаций по оптимальному проведению процесса.

Алюминий, как раскислитель, многие годы активно применялся в процессах раскисления и ковшевой обработки рельсовой стали для удаления кислорода и обеспечения необходимых значений ударной вязкости. Однако, как показали сравнительные исследования, величина ударной вязкости рельсового металла зарубежного производства, установленного в опытное кольцо ВНИИЖТ, почти в два раза ниже, чем в рельсах Российского производства (0,30-0,35 МДж/м² для металла производства ОАО НТМК и ОАО НКМК и 0,140 МДж/м² для металла производства Австрии, 0,160 МДж/м² — Японии и 0,180 МДж/м² — Франции). При этом содержание растворенного алюминия в рельсовом металле иностранного производства также на порядок ниже (менее 0,002%, по сравнению с 0,009-0,010%, в металле Российских производителей). В металле, раскисленном алюминием, основным продуктом раскисления являются высокоглиноземистые недеформируемые включения, трудно удаляемые из жидкого металла. Другой важной особенностью раскисленного алюминием металла является склонность к образованию плен и скоплений глиноземистых включений, при вторичном окислении металла. Содержание алюминия в ферросплавах и состав применяемых синтетических шлаков также в значительной мере влияют на процесс образования продуктов реакций раскисления. Низкие допустимые концентрации алюминия в жидкой стали определяют необходимость учета взаимодействия металла с огнеупорными материалами и шлаком, при внепечной обработке и разливке. Проблемы, связанные с необходимостью контроля НВ в металле, привели к исключению применения алюминия при раскислении рельсовой стали и ограничению его содержания в готовом рельсовом металле величиной 0,004%. Совместные работы, проведенные специалистами лаборатории диагностики материалов ИМЕТ РАН, ГУП ВНИИЖТ, ОАО НТМК и ОАО НКМК, позволили научно обосновать и опробовать технологию вакуум-углеродного раскисления, позволившую значительно повысить металлургическое качество рельсовой стали [36-43].

В 2004г началась работа по анализу и оптимизации технологии производства стали для железнодорожных колес на Выксунском металлургическом заводе (договор с заводом был подписан в 2005г). Завод также перешел на новые технологии внепечной обработки, и резко повысился брак железнодорожных колес по дефектам ультразвукового контроля. Результатом работы специалистов Лаборатории диагностики материалов стала скорректированная технология внепечной обработки колесной стали, позволившая существенно сократить брак [35, 36]. Данными работами сотрудники лаборатории занимались несколько лет, и их результаты

позволили сформулировать критерии чистоты транспортного металла по неметаллическим включениям, сформулировать требования к технологиям внепечной обработки, установить новые параметры прогноза эксплуатационной стойкости рельсов, основанные на определении объемной доли недеформируемых неметаллических включений и среднего индекса оксидной загрязненности. Была разработана и аттестована методика ФГА для определения высокоглиноземистых НВ в рельсовом металле. Совместными исследованиями ИМЕТ РАН и УИМ был аттестован государственный стандартный образец углеродистой стали ГСО СГ-4 на содержание кислорода в высокоглиноземистых включениях, необходимый для аттестации НВ в рельсовой стали.

Разработанный метод фракционного газового анализа успешно применяется для контроля чистоты конструкционных сталей по неметаллическим включениям и в настоящее время включен в ГОСТ Р 51685 «Рельсы железнодорожные» (общие технические условия) и в Межгосударственный стандарт. Метод используется на крупнейших российских и зарубежных металлургических заводах: таких, как ОАО «НТМК», ОАО «НКМК», ОАО «Оскольский Электрометаллургический комбинат», ТОО «Актюбинский рельсобалочный завод» (Республика Казахстан). Закономерным результатом проведенных исследований также стали защиты кандидатских диссертаций по рельсовой тематике: в 2009 г. — А.С. Трушниковой и А.К. Гарбером и диссертации по технологии производства сталей для железнодорожных колес — К.Ю. Деминым в 2012 г.

Сотрудники лаборатории выполняли договорные работы практически со всеми ведущими металлургическими заводами страны: ПАО «Северсталь», ЕВРАЗ «НТМК», ЕВРАЗ «КМК», ПАО «НЛМК», ПАО «Мечел», ПАО «Завод Электросталь», ОАО «Волжский трубный завод», ОАО «Красный Октябрь», ОАО «ОМК Сталь».

Всего, с момента создания лаборатории, ее сотрудниками были защищены 1 докторская и 14 кандидатских диссертаций. За разработку и промышленное освоение технологий и оборудования для производства стальных конструкций и роторов турбогенераторов для атомной и тепловой энергетики, заведующий лабораторией — К. В. Григорович в 2014 г. был удостоен звания лауреата Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Сотрудники лаборатории активно ведут преподавательскую работу в НИТУ «МИСИС». В лаборатории было выполнено более 40 дипломных и магистерских работ.

Библиография

1. K.V. Grigorovitch*, A.S. Krylov //Thermodynamics of liquid Al-Ni alloys Thermoshemica Acta, 1998, 314, p. 255-263.
2. К. В. Григорович, П. В. Красовский, А.С. Крылов //Экспериментальное исследование и математическое моделирование термодинамических свойств

- расплавов системы Ni-Cr и Ni-Cr-O. в сб. Институту металлургии и материаловедения 60 лет. Москва: «Элиз» 1998.
3. К. В. Григорович, П. В. Красовский // Исследование термодинамических свойств расплавов Ni-Cr-O. Расплавы 1999, №2, с. 32-39.
 4. В.Я. Дашевский, Н.Н. Макарова, К.В. Григорович, В.И. Кашин // Влияние Cr, Mn, V, Si, Ti и Al на растворимость кислорода в расплавах Fe-Ni. Расплавы 1999, №4, с. 52-60.
 5. Дашевский В.Я., Макарова Н.Н., Григорович К.В., Кашин В.И. // Термодинамический анализ растворов кислорода в расплавах Fe-Ni, содержащих ванадий. Металлы, 1999, N 5 с. 10-15.
 6. K.V. Grigorovitch*, P.V. Krasovskii, A.S. Krylov Fractional Gas Analysis – Basic Principles and Application in Steel Quality. Proceedings of the 50th Chemists Conference, British Steel, U.K. British Steel plc. Teesside Technology Centre 1999, p.129-131.
 7. Дашевский В.Я., Макарова Н.Н., Григорович К.В., Кашин В.И., Поликарпова Н.В. Термодинамика растворов кислорода в расплавах Fe-40% Ni-15% Cr содержащих Mn, Si, Ti, Al. Изв. вузов, Черная металлургия 2000, № 7, 3-9.
 8. Григорович К.В. // Физико- химический анализ процессов раскисления многокомпонентных металлических расплавов и процессов неизотермического восстановления оксидов, разработка методов контроля чистоты сталей и сплавов по оксидным неметаллическим включениям. Автореферат докторской диссертации Москва, 2000, 32с.
 9. Григорович К.В. Фракционный газовый анализ – новое направление в контроле качества материалов // Аналитика и контроль, 2000, т.4, №3, с. 244-251.
 10. К.В. Григорович, Мельничук Т.А., Трушникова А.С., Шубина С.Б. Исследование государственных стандартных образцов для определения кислорода методом фракционного газового анализа // Аналитика и контроль, 2000, т.4, №3, с. 289-292
 11. Красовский П.В., Григорович К.В. Термодинамика тройных железоуглеродистых расплавов с кремнием и алюминием // Металлы 2001, №4, с. 7-16.
 12. Филиппов В.В., Иванов Э.В., Исаков С.А., Григорович К.В. Совершенствование технологии производства кордовой катанки // Сталь. – 2001.- № 12. с. 2 - 4.
 13. Красовский П.В., Григорович К.В. // Термодинамические свойства расплавов никеля с углеродом. Металлы 2002, №1, с.26-29.
 14. Красовский П.В., Григорович К.В. Термодинамика процессов неизотермического восстановления оксидных включений в насыщенных углеродом расплавах. // Металлы 2002, №2 с. 10-16.
 15. Снитко Ю.П., Григорович К.В., Шур Е.А. Влияние неметаллических включений на усталостные свойства рельсов. // Материалы юбилейной рельсовой комиссии 2002 г., Новокузнецк, с. 257-268.
 16. К.В. Григорович, П.В. Красовский, А.С. Трушникова Анализ неметаллических включений – основа контроля качества стали и сплавов // Аналитика и контроль, 2002, т.6, № 2, с. 133-143.
 17. К.В. Григорович Фракционный анализ кислорода в металлах – особенности и возможности метода // Аналитика и контроль, 2002, т.6, № 2, с. 151-159.

18. Филиппов В.В., Иванов Э.В., Исаков С.А., Григорович К.В. Совершенствование технологии производства кордовой катанки в условиях РУП «БМЗ» // Литье и металлургия. – 2002. - № 1. – с. 88 – 90.
19. Григорович К.В., Красовский П.В., Исаков С.А., Горохов А.А., Крылов А.С. Обработка и интерпретация результатов фракционного газового анализа. // Заводская лаборатория, 2002, №9, том 68, с.3-9.
20. К.В. Григорович, А.С. Крылов Экспериментальные исследования и согласованное описание термодинамических свойств многокомпонентных металлических расплавов на основе никеля. // В сб. Фундаментальные исследования физикохимии металлических расплавов М., ИКЦ «Академкнига», 2002г. с. 78-97.
21. Григорович К.В., Красовский П.В. Фракционный анализ включений Al_2O_3 и SiO_2 в сплавах на основе железа методом восстановительного плавления в потоке газа носителя. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2002, №10, том 68, с.17-24.
22. Григорович К.В., Иванов Э.В., Исаков С.А. Резервы улучшения качества катанки кордовой стали // Сталь. – 2003.- № 12. – с. 64 – 68.
23. Андрианов Н.В., Григорович К.В., Иванов Э.В., Эндерс В.В. Оптимизация технологии производства высококачественной кордовой стали // Литье и металлургия. – 2003. - № 4. – с.105 – 109
24. К.В. Григорович, Андрианов Н.В. Контроль и оптимизация технологии производства качественной кордовой стали // Сталь. – 2003.- № 10. – с..
25. V. Ya. Dashevskii, N.N. Makarova, K.V. Grigorovitch, A.K. Kanevskii and V.I. Kashin. Deoxidation Equilibrium of Aluminium and Silicon in Liquid Iron-Nickel Alloys // ISIJ International, vol. 45(2005), No 1, pp 8-11
26. Григорович К.В. Контроль металлургического качества рельсовой стали – надежная основа высоких эксплуатационных свойств рельсов в пути // Промышленный транспорт XXI века, 2005 № 4 с. 47-50.
27. Sergey S. Shibaev, Pavel V. Krasovskii, Konstantin V. Grigorovitch Solubility of oxygen in iron-silicon melts in equilibrium with silica at 1873 K // ISIJ International, vol. (2005) pp. 1243-1247.
28. Grigorovich K V., Krasovskii P. V. Shibaev S. S., Krylov A.S. Fractional gas analysis method for non metallic inclusion control // Selected Proceedings of the 8th China-Russia Symposium on new Materials and Technologies, Journal of Guangdong Non Ferrous Metals 2005, vol. 15 N 2-3, pp. 213-216/
29. Шибаев С.С., Красовский П.В., Григорович К.В. Раскисление кремнием и контроль оксидных включений в электротехнических сталях, Металлы, №2 2006, с.14-27
30. Шибаев С.С., Красовский П.В., Григорович К.В. Определение форм нахождения кислорода в нержавеющей сталях методом восстановительного плавления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов №6, 2006, т. 72, с.10-16
31. Grigorovich K V. Fractional gas analysis Applications for metals and nanopowders // Proceedings of the 5th by-national Russian-Israel Workshop 2006, Novosibirsk 2006, p.67-75
32. Григорович К.В. Контроль неметаллических включений – гарантия высокого качества кордовой стали // Черная металлургия №10, 2006г. с.63-68.

33. Григорович К.В. Новые возможности современных методов анализа газообразующих примесей в металлах //Заводская лаборатория. Диагностика материалов №1, 2007, т. 73, с. 23-34
34. Спрыгин Г.С., Григорович К.В., Мизотин М.М., Крылов А.С. Сглаживание данных атомно-эмиссионной спектроскопии // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т. 74, № 2, С. 3-7
35. Григорович К.В., Арсенкин А.М., Шибаев С.С., Демин К.Ю., Демин Ю.С., Московской К.А. Улучшение технологии внепечной обработки колесной стали// Электromеталлургия. 2007. №12. с.2-12.
36. Шибаев С.С., Гарбер А.К., Григорович К.В., Арсенкин А.М., Трушников А.С., Кушнарв А.В., Петренко Ю.П., Матвеев В.В., Белокурова Е.В., Шишов А.А., Демин Ю.С., Московской К.А. Анализ различных вариантов технологии внепечной обработки транспортного металла // Труды III Международной конференции «TRANSMET - 2007», г. Нижний Тагил. 2008.
37. Shibaev S.S., Garber A.K., Trushnikova A.S, Grigorovich K.V. Optimization of the ladle treatment of the rail steel // Proceedings of the 4th International Congress on the Science and Technology of Steelmaking (ICS2008). October 6-8, 2008. Gifu, Japan. p. 326-329.
38. Григорович К.В., Гарбер А.К., Кушнарв А.В., Петренко Ю.П., Костенко И.В.// Анализ и оптимизация внепечной обработки рельсовой стали в условиях ОАО «НТМК», Сталь. 2008, №10, . с.73-78.
39. Григорович К.В. Трушников А.С., Шибаев С.С. Сравнение методов контроля неметаллических включений для оценки качества железнодорожных рельсов //Промышленный транспорт XXI век, № 4, 2010, с. 36-39.
40. Григорович К.В., Гарбер А.К., Шибаев С.С., Костенко И.В., Арсенкин А.М., Матвеев В.В., Кушнарв А.В., Петренко Ю.П. Совершенствование технологии внепечной обработки рельсовой стали в условиях ОАО «НТМК» с целью повышения качества рельсов // Промышленный транспорт XXI век, № 4, 2010, с. 44-52.
41. К.В. Григорович, А.М. Арсенкин, К.Ю. Демин, В.Г. Моляров Перспективы использования карбонитридообразующих элементов в углеродистых сталях с целью повышения комплекса их механических свойств// Металлы, 2011 №5, с.157-164.
42. К.В. Григорович, А.К. Гарбер Анализ процессов комплексного раскисления расплавов углеродистых сталей// Металлы, 2011 №5, с.171-181.
43. Григорович К.В., Демин К.Ю., Арсенкин А.М., Гарбер А.К. Перспективы применения барийсодержащих лигатур для раскисления и модифицирования транспортного металла// Металлы, 2011 №5, с.146-157.
44. Grigorovich K. V., Demin K., Garber A. A new method of optimization and inclusions control during a ladle treatment process of rail and rail wheel steels. // Proceedings of the 5th International Congress on the Science and Technology of Steelmaking (ICS2012). October 1-3, 2012, Dresden, Germany. p. 416-419.

Лаборатория «Физико-химические основы металлургии цветных и редких металлов»

Постановлением Президиума АН СССР от 15 октября 1938 г., в составе Отделения технических наук был организован Институт металлургии. Первым директором института утвержден академик Иван Павлович Бардин.

После февральских выборов 1939 г. в Академии наук образовалась значительная группа ученых металлургов: академики М. А. Павлов, А. А. Байков, Э. В. Брицке, Н. Т. Гудцов, члены-корреспонденты А. А. Бочвар, Д. М. Чижиков, П. Ф. Антипин.

Создание Института металлургии в системе Академии наук СССР было обусловлено тем, что перед советской металлургической промышленностью стояли важные задачи, направленные на коренное повышение количественных и улучшение качественных показателей производства металлов основного фундамента социалистического народного хозяйства страны. Решение этих проблем требовало углубленного теоретического подхода к ним, и это могло быть обеспечено, в достаточной мере, созданием крупного научного центра в системе Академии наук СССР. В числе многих научных направлений, Институт металлургии был призван также развивать теорию металлургических процессов в металлургии цветных и редких металлов, комплексном использовании полиметаллических руд, получении металлов высокой чистоты.

Для развития научных исследований и решения ряда актуальных задач цветной металлургии, в структуре Института металлургии в мае 1939 г. была организована Лаборатория металлургии цветных и редких металлов, заведование которой было возложено на члена-корреспондента Академии наук Давида Михайловича Чижикова.

В первый период деятельности лаборатории, из-за отсутствия необходимой для развертывания научной деятельности площади в выделенном для Института металлургии помещении Отделения технических наук, группа сотрудников проводила исследования на кафедре металлургии тяжелых цветных металлов бывшего Московского института цветных металлов и золота, где состоял профессором руководителем лаборатории Д. М. Чижиков.

Первым штатным научным сотрудником лаборатории цветных и редких металлов была Г.С. Балихина (Френц); первым аспирантом лаборатории был Н.Н. Севрюков, ныне доктор технических наук, профессор Университета дружбы народов им. Лумумбы.

В 1941 г., с начала Великой Отечественной войны Институт металлургии был эвакуирован в г. Свердловск, где размещался Уральский филиал Академии наук. Эвакуированные научные работники были встречены

весьма дружелюбно сотрудниками институтов металлургии и химии УФ АН СССР — членом-корреспондентом

Г.И. Чуфаровым, доктором технических наук Н. П. Диевым, доктором химических наук С.В. Карпачовым. Сотрудникам лаборатории была предоставлена возможность продолжать прерванные исследования. В дальнейшем, совместными усилиями были решены многие актуальные вопросы цветной металлургии, связанные с нуждами фронта. Особо следует отметить плодотворную работу сотрудников институтов в созданной при Академии наук СССР Комиссии по мобилизации ресурсов Урала, Западной Сибири и Казахстана на нужды обороны. Комиссию возглавлял Президент АН СССР В.Л. Комаров и вице-президент И.П. Бардин.

Выезжавшие на места комплексные бригады комиссии, совместно с инженерно-техническими работниками промышленных предприятий, разрабатывали планы конкретных мероприятий по увеличению производства и улучшению качества продукции.

Бригада, во главе с академиком А.А. Байковым, с участием академика Э.В. Брицке и члена-корреспондента Д.М. Чижикова, дважды выезжала на Уральский алюминиевый завод. Бригада специалистов, во главе с академиком А.А. Скочинским и членом-корреспондентом Д.М. Чижиковым, выезжала на медные предприятия Центрального Казахстана (в Джезказган и Балхаш), на которых, вместе с работниками заводов и рудников, были обсуждены необходимые мероприятия по увеличению добычи угля и меди.

Бригада специалистов, во главе с Д.М. Чижиковым и Г.И. Чуфаровым, работала на никелевых предприятиях Урала в Орске и Уфалее, на медно-серном заводе в Медногорске.

Бригада ученых и инженеров, во главе с А.А. Байковым и Д.М. Чижиковым, выезжала на Новосибирский оловянный и Беловский цинковый дистилляционный заводы. На вновь выстроенном оловянном заводе внедрялся процесс электроплавки оловянных концентратов, в разработке технологии которого в предвоенное время принимали участие сотрудники Лаборатории цветных металлов Института металлургии, под руководством аспиранта Е.И. Хазанова (разработка физико-химических основ процесса электроплавки оловянных концентратов послужила основой его диссертации).

На Беловском цинковом заводе в это же время Н.Н. Севрюковым и В.В. Крапухиным внедрялся процесс ректификации цинка в карборундовых, непрерывно действующих ретортах. Разработка физико-химических основ этого процесса явилась темой кандидатской диссертации Н.Н. Севрюкова, которая была защищена им в начале 1941 г. На эту же тему перед началом войны защитил свой дипломный проект студент В.В. Крапухин.

За плодотворную работу большая группа участников Комиссии по мобилизации ресурсов была удостоена Государственной премии 1-й степени.

В числе лауреатов были работники Института металлургии: академики И.П. Бардин, Э.В. Брицке, член-корреспондент Д.М. Чижиков, старший научный сотрудник В.В. Рикман.

По возвращении в Москву возобновилась научная деятельность Института металлургии. Было начато проектирование собственного здания Института металлургии. Временно группа сотрудников Лаборатории металлургии цветных и редких металлов размещалась в разных местах: в Гинцветмете, Институте стали, в помещении на ул. Осипенко.

Большой вклад в дело строительства здания Института (закончившегося в 1952 г.) на Ленинском проспекте внес вице-президент АН СССР академик И.П. Бардин.

Со дня основания Института работы по металлургии цветных и редких металлов возглавлял член-корреспондент АН СССР Д.М. Чижиков. Основным направлением работ было развитие фундаментальных исследований в области цветной металлургии, с целью создания промышленных технологий получения цветных металлов.

Началась планомерная научно-исследовательская и экспериментальная работа лаборатории: постепенно выработывался профиль, подбирались научный персонал, монтировалась опытная аппаратура.

К своему тридцатилетию лаборатория оформилась как научно-исследовательская группа, развернувшая глубокие теоретические исследования по физико-химическим основам металлургии цветных и редких металлов и экспериментальные работы по разработке новых и усовершенствованию практикуемых в настоящее время технологических схем и процессов.

Специфической особенностью в организации научно-исследовательских работ лаборатории является тесная взаимосвязь между теоретическими исследованиями по термодинамике и кинетике вновь разрабатываемых процессов и техническим, инженерным оформлением последних.

На различных стадиях научно-экспериментальных исследований углубляются теоретические вопросы химизма и механизма процесса, и совершенствуется конструктивное оформление новой технологии. Осуществляется непрерывная прямая связь между лабораторией, опытным металлургическим цехом и промышленными предприятиями.

Были развернуты работы по изучению термодинамики, кинетики и механизмам окисления сульфидов и восстановления оксидов в разных агрегатных состояниях, хлорированию соединений цветных и редких металлов. Коллективом сотрудников лаборатории редких и цветных металлов были разработаны и внедрены в промышленность оригинальный способ извлечения германия из зол энергетических углей, конвертирование Cu-Ni-штейнов с получением низкокремнистых шлаков, хлоридный способ переработки оловянных концентратов, W-Мо-сырья и пиритных огарков, комбинированной переработки Fe-Mn-конкреций. Были так-

же проведены исследования электрохимической переработки отходов электронной техники и твердосплавной промышленности, пенно-барботажной переработки вторичного техногенного сырья — конвертерных шлаков медной и никелевой подотрасли. В последнее время разрабатывается оригинальная технология применения при электрохимических процессах переменного тока. Ветеранам ИМЕТ хорошо известны имена ведущих сотрудников лаборатории физико-химических основ металлургии цветных и редких металлов Г.С. Френц, З.Ф. Гуляницкой, И.Н. Карязиной, Е.А. Субботиной, Л.И. Плигинской, И. Китлера, Н.А. Гурович, Б.Я. Трацевичкой, Е.К. Казенаса, Ю.А. Лайнера и др. После кончины Д.М. Чижикова лабораторией последовательно руководили проф., д.т.н. Г.Н. Звиададзе, к.т.н. И.К. Тагиров, проф., д.т.н. В.А. Брюквин.

В рамках совместно в 2004г. утверждённого руководством ОАО «ГМК «Норильский никель» (компания) и Институтом металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова (ИМЕТ РАН) генерального соглашения, в ИМЕТ РАН, на базе имеющегося структурного подразделения, создана проблемная лаборатория ГМК «Норильский никель» (ПЛ), с возложением на неё ряда функций, предполагающих научно-организационную и практическую деятельность ПЛ в направлении обоснования стратегии развития компании на ближайшую и долгосрочную перспективу:

— проведение теоретических, поисковых и инициативных исследований, с целью создания новых технологических процессов (в том числе комбинированных) и аппаратов, позволяющих, на их основе, экономически эффективно осуществлять переработку сырья Компании с минимальным образованием и выбросом диоксида серы;

— освоение производства принципиально новых видов продукции, в том числе — для наукоёмких отраслей промышленности;

— проведение испытаний технологий, разрабатываемых или предлагаемых Компанией;

— проведение экспертизы заказываемых Компанией различным исследовательским организациям РФ технологических и научных разработок;

Конкретизация научных исследований созданной лаборатории определяется выдвигаемыми новыми процессами, разработка и внедрение которых должны знаменовать прогрессивное развитие металлургии, непрерывное совершенствование технологии и техники производства цветных и редких металлов, которое диктуется необходимостью полного и комплексного извлечения всех ценных составляющих полиметаллического многокомпонентного рудного сырья.

Прогрессивное развитие производства цветных и редких металлов базируется на максимальном развитии и внедрении электротехнологических процессов (электротермия, электролиз), на химизации технологии получения металлов (использование кислорода, природного газа, хлора,

щелочей), на разработке прецизионных способов получения сверхчистых веществ и металлов и их соединений с заданными особыми свойствами,.

Применительно к поставленным перед ПЛ задачами, лаборатория физико-химических основ металлургии цветных и редких металлов имеет в своём активе разработку и участие во внедрении в промышленность следующих технологических процессов: электрохимической переработки металлических отходов цветных и редких металлов с применением переменного тока (д.т.н. Палант А.А., д.т.н. Брюквин В.А., к.т.н. Левин А.М., к.т.н. Левчук О.М., к.т.н. Кузнецова О.Г.); комплексной переработки пирротиновых концентратов и фаянштейна (к.т.н. Винецкая Т.Н., д.т.н. Брюквин В.А., Макаренкова Т.А., Цыбин О.И., Рослова А.А., Больших М.А.); низкотемпературного обжига и автоклавной электрохимической переработки магнитной фракции фаянштейна (к.ф.-м.н. Леонтьев В.Г., к.т.н. Субботина Е.А., к.т.н. Кузнецова О.Г.); плазменного способа получения ультрадисперсных порошков вольфрама и молибдена (к.т.н. Дейнека С.С., к.т.н. Благовещенский Ю.В., Пятакова М.И.); и др.

В последующие годы текущего пятилетия научная деятельность лаборатории будет сосредоточена на дальнейшей глубокой теоретической разработке и эффективном инженерном решении разрабатываемых новых технологических процессов, на их продвижении и промышленном внедрении.

Г.н.с. В.А. Брюквин

Лаборатория аналитическая №6

В.А. Волчёнкова

25 августа 1949 г. на расширенном заседании президиума АН СССР было принято решение о создании в Институте металлургии АН СССР химико-аналитической лаборатории (постановление №42). Однако до переезда Института в 1952 г. в новое здание на Ленинском проспекте в помещении на улице Осипенко работала группа лаборантов из 5-6 человек, которые и выполняли самые элементарные определения.

Для организации аналитической лаборатории в новом здании на должность заведующего лабораторией в 1951 году из Института горючих ископаемых АН СССР был приглашен старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук Ардалион Иванович Пономарев, который очень грамотно, используя зарубежный опыт организации лабораторий такого типа, приступил к её созданию. Директор института академик И.П.Бардин прекрасно понимал значение химического анализа для успешного проведения серьёзных научно-исследовательских работ в Институте металлургии и лично интересовался вопросами размещения аналитической лаборатории в стенах института и укомплектования ее современным оборудованием. С появлением новых методов анализа лаборатория планомерно расширялась. Так, только в течение 1955 — начала 1957 годов уже существующая лаборатория увеличилась на 21 штатную единицу с присоединением новых комнат общей площадью 147 кв. м — помещений для анализа редких элементов, хроматографии, микрохимии, спектрального анализа, активационного анализа и др.

В результате через 15 лет к 1967 году Аналитическая лаборатория со штатом сотрудников в 65 человек располагалась на площади 500 кв.м. В соответствии с профилем института в ней были представлены классические и инструментальные методы анализа, а также разрабатывались новые методы определения элементов. В создании новых методик аналитического контроля объёмными и весовыми методами анализа принимали участие квалифицированные сотрудники, публикации которых до сих пор не устарели и используются в повседневной работе, — Лапчинская Л.Л., Шескольская А.Я., Архипова А.В., Куненкова Е.Н. Было опубликовано 150 статей и 6 монографий, которые стали настольными руководствами для многих химических лабораторий научно-исследовательских институтов и заводских лабораторий. В их числе монографии А.И.Пономарева «Методы химического анализа силикатных и карбонатных горных пород» и «Методы химического анализа железных, титаномagnetитовых и хромовых руд», неоднократно издававшиеся в издательстве «Наука», и книги П.П.Коростелева «Приготовление растворов для химико-аналитических работ», «Реактивы и растворы в металлургическом анализе», «Реактивы для технического анализа». Эти книги переиздаются до на-

стоящего времени и являются настольными книгами практически всех аналитических лабораторий научно-исследовательских институтов и учебных заведений не только геологического, металлургического профиля, но и других областей, связанных с материаловедением, и входят в список рекомендуемой литературы аналитических кафедр высших учебных заведений России.

Была создана школа опытных химиков-аналитиков. Многие сотрудники пришли в ИМЕТ совсем молодыми в начале 50-х годов и проработали в аналитической лаборатории вплоть до своего ухода на пенсию (с.н.с. Юлия Ивановна Быковская — пом. зав. лаб., с.н.с. Л.И.Веселаго, н.с. Е.Н. Куненкова, Г.Г. Родная, Т.А. Петрова, И.С. Постникова и др.). С особой теплотой вспоминают Елизавету Николаевну Куненкову, которая учила азам классического анализа молодых сотрудников и прививала им любовь к аналитике.

В лаборатории получили развитие следующие методы аналитического контроля, которые возглавляли уникальные специалисты:

Атомно эмиссионная спектрометрия (спектральный анализ): В 50-х и начале 60-х годов руководителем группы был Александр Наумович Штейнберг. В это же время с 1959 по 1962 г. после окончания химического факультета МГУ в группе начал научную деятельность Владимир Трофимович Калинин, который впоследствии стал членом-корреспондентом, а затем — академиком и членом президиума РАН. Майя Викторовна Никитина — высококвалифицированный спектроскопист, работала практически с основания спектральной группы, принимала активное участие в оснащении оборудованием, вела научные разработки и руководила производственным процессом вплоть до ухода на пенсию в 1986 году. Кроме большого объема серийных анализов разрабатывались химико-спектральные методики определения примесей в чистых металлах, многокомпонентных продуктах металлургического производства, различных природных объектах и продуктах их переработки. Научно-методические разработки периодически обобщались в сборниках «Методические рекомендации», были внедрены в практику аналитической лаборатории и широко использовались в других лабораториях аналогичного профиля. По разработанным методикам спектрального определения примесей в молибдене и вольфраме в 1969 году были введены первые ГОСТы на методы спектрального анализа молибдена (исп. Фришберг А.А.) и вольфрама (исп. Родионова С.К.).

Электрохимические методы анализа: Полярография — Людмила Ивановна Веселаго; Амперометрия — Галина Константиновна Астахова; —Ирина Серафимовна Постникова; Спектрофотометрия и фотометрия —Екатерина Андреевна Гутан;Бумажная хроматография — Ирина Серафимовна Постникова; Газовый анализ — Валентин Трофимович Бурцев.

Для исследования новых материалов, разрабатываемых в ИМЕТ, были созданы новые аналитические направления: анализ тугоплавких сплавов (Тамара Алексеевна Петрова), анализ платиновых металлов (Ирина Серафимовна Постникова), анализ редкоземельных элементов (Екатерина Андреевна Гутан).

В 70-х годах в Аналитической лаборатории ИМЕТ, одной из первых в стране, появились новые в то время методы атомно-абсорбционной спектрометрии (н.с. Галина Георгиевна Родная, в.н.с. Наталья Васильевна Поликарпова); рентгено-спектрального анализа (н.с. Хломов В.С., н.с. Сокольский С.А.) и рентгено-флуоресцентного анализа (Смирнова В.П.), а в 80-х годах — метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (в.н.с Волченкова В.А.), который стал доминирующим при проведении практически всех исследований, проводимых в Институте. В 2008 году в лаборатории появились новые современные системы автоклавной пробоподготовки: микроволновая система MARS 5 и СВЧ-минерализатор «Минотавр 2», позволившие значительно упростить и ускорить трудоемкую процедуру растворения образцов, необходимую при проведении химического анализа (н.с. Кряжков И.И., н.с. Андреева Н.А.).

В 70-80-годы в лаборатории наблюдался приток молодых специалистов, в основном выпускников химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова.

История Лаборатории, Института тесно связана с историей нашей страны. 90-ые годы стали не самыми лучшими в жизни лаборатории. Из-за регулярных задержек зарплат (ставших мизерными) многие специалисты, особенно молодые и перспективные, вынуждены были искать подработки или увольняться. Сокращение штата сотрудников, изъятие помещений лаборатории для сдачи в аренду, регулярное недофинансирование: нехватка реактивов, посуды; старение оборудования, коммуникаций, обветшание помещений — наследство, которое до сих пор не позволяет лаборатории работать на уровне международных стандартов аналитических центров при высочайшем научном потенциале и огромном практическом опыте сотрудников.

Основная черта нового тысячелетия — создание новых технологий и получение современных перспективных материалов. Наиболее востребованы в последнее время тугоплавкие металлы и материалы на их основе. Для получения новых функциональных соединений необходимо контролировать содержание примесей в материалах, как на протяжении всего технологического процесса, так и в конечном продукте

В последние годы работа лаборатории ведется по теме «Разработка методов диагностики и исследования структуры и свойств металлических функциональных и наноразмерных материалов»

С использованием метода атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой разработаны следующие методики:

— определение примесей в материалах на основе титана, циркония, гафния, ванадия, ниобия, тантала, рения, молибдена и вольфрама без предварительного отделения основы. Такой подход позволяет осуществлять надёжный экспрессный контроль содержания большого числа примесей (Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hf, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, Pb, Sb, Si, Sn, Sr, Ta, Ti, V, W, Y, Zr) в сплавах и порошках тугоплавких металлов и их соединениях, в том числе наноразмерных;

— экспрессное определение РЗЭ и скандия в широком диапазоне концентраций (0,00n – n·10%) в алюминиевых и магниевых сплавах, что обеспечивает контроль состава разнообразных образцов при проведении физико-химических исследований новых систем легких сплавов на основе алюминия и магния;

— определение РЗЭ и скандия в природных минеральных объектах, что позволило разработать технологию переработки комплексных фосфатно-редкоземельных руд;

— определение содержания примесей (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V, Zn) от 0,0001 до n% в различных соединениях кальция— фосфатах и карбонатах кальция, природных кораллах, — для проведения исследований по разработке керамических биоматериалов нового поколения, в частности, композиционных материалов медицинского назначения, применяемых для восстановления костной ткани;

— химический анализ наноструктурированных покрытий износостойких поверхностей;

— определение примесей при получении чистого пентаоксида ванадия;

— определение селена и сопутствующих минеральных элементов в различных частях растений (топинамбур) при разработке нового способа обогащения наноразмерным селеном пищевых продуктов.

Новые методики определения элементов выгодно отличаются от прежних экспрессностью, возможностью одновременно определять большой набор элементов в широком интервале концентраций от 0,00 до n·10% из ограниченной навески образцов (от 1 мг) с хорошими метрологическими характеристиками

Исследования, проводимые в лаборатории в 2016-2018 годах по теме «Фазовый анализ примесных элементов продуктов металлургического производства», являются одними из приоритетных направлений современной аналитической химии: «Изучение форм нахождения примесных элементов». Разработаны новые методики раздельного количественного определения содержаний различных форм элементов-примесей: Al – Al₂O₃; Zr – ZrO₂ в сплавах на основе железа и никеля, что позволяет изучить процессы образования неметаллических включений и механизм их удаления, взаимодействие неметаллических включений со шлаками, используемыми в различных процессах плавки и разливки.

В лаборатории сохраняются и развиваются классические схемы пробоподготовки и проведения анализов, такие как гравиметрия (с.н.с. Овчинникова О.А., инженер Яшукова В.Н.), титриметрия (н.с. Дергунова Н.Н.), Спектрофотометрия (инженер Яшукова В.Н.). Руководитель группы — с.н.с. Пенкина Т.Н.

В настоящее время в арсенале лаборатории представлено большое число современных инструментальных методов анализа, отражающих основные тенденции развития аналитической химии:

Атомно эмиссионная спектрометрия (спектральный анализ) (руководитель группы — н.с. Светлана Константиновна Родионова — «спектроскопист от бога», которая работает в лаборатории более 50 лет, и инженер Антонина Павловна Дегтярева);

Атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (руководитель группы — к.х.н. в.н.с. Валентина Анатольевна Волченкова, с.н.с. Татьяна Николаевна Пенкина, н.с. Надежда Александровна Андреева);

Атомно-абсорбционная спектрометрия (руководитель группы — н.с. Валентина Борисовна Смирнова);

Рентгено-флуоресцентный анализ (руководитель группы — с.н.с. Ольга Александровна Овчинникова);

Современные системы пробоподготовки (руководитель группы — н.с. Алла Алексеевна Фомина, н.с. Надежда Александровна Андреева).

Все эти методы, а также классические химические методы (гравиметрия и титриметрия), в сочетании с различными приемами разделения и концентрирования элементов, используются в аналитической лаборатории института для создания новых эффективных методик определения элементов в самых разнообразных объектах металлургического производства: в сталях и чугунах, кеках, шламах, шлаках, сплавах на различной основе (алюминия, магния, меди, цинка, никеля, кобальта, титана, циркония, молибдена, вольфрама, ниобия, рения, тантала, хрома, ванадия, благородных металлов, редкоземельных элементов и др.), полупроводниковых, высокотемпературных сверхпроводящих материалах, аморфных и композиционных материалах, природных материалах и продуктах их переработки, в керамических материалах различного состава, ультрадисперсных порошках и нанопорошках.

Особого внимания и благодарности заслуживает Михаил Павлович Калеев, который на протяжении 50 лет обеспечивает техническое и инженерное сопровождение всех работ, проводимых в лаборатории.

Совместные работы проводились со многими научно-исследовательскими организациями и институтами: МГУ им. М.В.Ломоносова, МИСиС, МЭИ, Чермет, Гиредмет, Композит, Найтек и др. Многолетние работы по изучению физикохимии природных процессов, форм нахождения элементов и экспериментальному изучению растворимости природ-

ных минеральных соединений связывают сотрудников аналитической лаборатории с ИГЕМ РАН (Москва) и ИЭМ РАН (Черноголовка).

В лаборатории с использованием современных методов анализа создаются новые эффективные методики определения элементов для обеспечения работ по созданию новых материалов и технологий другими подразделениями Института. В частности, Российской медицинской академией последиplomного образования (РМАПО) и лабораторией плазменных процессов ИМЕТ РАН (в рамках проекта МНТЦ) изучалось влияние наноматериалов на живые организмы. Характер воздействия наноматериалов и нанопорошков на человека и другие живые организмы изучен мало, поэтому исследования в этой области представляют несомненный интерес. С применением метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индукционной плазмой было исследовано распределение нанопорошков карбидов вольфрама разного размера в органах крыс. Из-за малых содержаний определяемых веществ, трудностей растворения образцов и особенностей органических матриц пришлось разрабатывать методы пробоподготовки для столь непривычных объектов исследования. В результате проведенных исследований было обнаружено, что наибольшее количество карбида вольфрама содержится в лёгких и печени, а наименьшее — в сердце. Установлено, что наночастицы накапливаются и в других органах крыс, включая мозг, т.е. преодолевают гематоэнцефалический барьер. Наночастицы попадают и в гонады, т.е. могут повлиять на наследственный аппарат животных, при этом, чем меньше размер частиц, тем больше они накапливаются в органах и тем медленнее выводятся. Результаты исследований свидетельствуют о необходимости разработки критериев гигиенического нормирования наноматериалов в зависимости от размера частиц и физико-химических свойств.

Сотрудники лаборатории выступают с докладами на различных конференциях, в том числе международных. За годы существования лаборатории сотрудниками опубликованы сотни работ и многочисленные монографии, отражающие результаты фундаментальных и прикладных исследований, получены патенты на изобретения (№2359050 от 20 июня 2009 г., Волченкова В.А. и др. «Способ экстракционного извлечения индия из серноокислых растворов»). Аналитическая лаборатория выполняет разнообразные виды химических работ (не считая аналитических) для всех сотрудников Института. Большое внимание уделяется молодым ученым, которые получают консультации квалифицированных сотрудников лаборатории, проводят эксперименты и обучаются работе на современном аналитическом оборудовании. С участием научных сотрудников лаборатории подготовлены десятки специалистов (дипломников, стажеров, аспирантов).

С 1985 года по настоящее время лабораторией руководит специалист в области масс-спектрометрии д.т.н. Евгений Константинович Казенас. За последнее 20 лет им были подготовлены и выпущены монографии:

- «Испарение оксидов», 1997, 550 с.;
- «Термодинамика испарения двойных оксидов», 2004, 550 с.;
- «Термодинамика испарения оксидов», 2008, 480 с.;
- «Испарение карбидов», 2018, 800 с.

Готовится к изданию монография «Термодинамика испарения нитридов» (700 с.).

Работы сотрудников лаборатории отмечались премиями, дипломами и т.д. Премия имени П.П. Аносова присуждена д.т.н. Казенасу Е.К. и академику Цветкову Ю.В. в 2008 году за серию работ по термодинамике испарения и диссоциации оксидов, обобщенных в монографиях «Испарение оксидов» и «Термодинамика испарения оксидов».

Исходя из современных требований, предъявляемых к работе аналитической лаборатории — сочетанию экспрессности и воспроизводимости результатов анализа, нестандартному переменному составу объектов анализа, их возрастающему разнообразию, необходимости определения 75 химических элементов в обширном интервале концентраций от 10⁻⁶ до n·10% (массовых) и другими — лаборатория должна располагать широким набором как классических, так и современных инструментальных методов аналитического контроля. Е. К. Казенас внес большой вклад в оснащение лаборатории новым аналитическим оборудованием.

Возглавлять аналитическую лабораторию, традиционно состоящую из прекрасной половины человечества, задача архисложная. Е.К.Казенас успешно решил этот «бином Ньютона», создав в лаборатории доброжелательную атмосферу взаимопомощи и понимания, что очень позитивно сказывается на работе. Конечно, помог семейный опыт. Недаром Евгений Константинович является отцом большой и дружной семьи: 4-х успешных детей, 12 внуков и 3 правнуков.

При проведении международной аттестации образцов разнообразного состава: сплавов, руд, промпродуктов — аналитическая лаборатория ИМЕТ РАН вошла в пятерку лучших лабораторий Европы (к.х.н. в.н.с. Волченкова В.А., с.н.с. Овчинникова О.А., инженер Яшукова В.Н.)

Разработанные новые методики определения элементов в сочетании с используемыми ранее позволяют успешно проводить контроль химического состава материалов, создаваемых и исследуемых в Институте, в результате чего за последние 30 лет сотрудниками Аналитической лаборатории было выполнено более 300000 элементо-определений в различных объектах. Без преувеличения можно сказать, что все, что создавалось в лабораториях Института, (новые материалы различного назначения для разных областей народного хозяйства, многофункциональные покрытия, высокочистые вещества) прошло через руки химиков-аналитиков лаборатории.

И, конечно, наличие современных приборов, как для пробоподготовки, так и анализа, значительно расширяет возможности аналитической лаборатории, но в основе методов, требующих проведения химических

аналитических исследований (переведения образцов в раствор, получения устойчивых форм элементов в растворе и т.д.), лежит добротное знание химии элементов — опыта классических химиков-аналитиков лаборатории, которым мы с благодарностью пользуемся, помним их имена и вклад в создание, становление и развитие Аналитической лаборатории ИМЕТ РАН.

Научное наследие Юрия Абрамовича Лайнера и вклад в развитие способов переработки алюминийсодержащего сырья

Т. Н. Ветчинкина

В 1957 году, после окончания Московского института цветных металлов и золота им. М.И. Калинина, по распределению, Ю.А. Лайнер был направлен в ИМЕТ РАН, где прошел путь от старшего лаборанта до заведующего лабораторией. Основой его деятельности в Институте металлургии было создание научного направления, решающего проблему комплексной переработки алюминийсодержащего сырья нетрадиционными способами и заключающегося в разработке физико-химических и технологических основ новых процессов, а также — проверке и реализации их в промышленности.

Академия наук всегда уделяла большое внимание развитию научных и технологических основ переработки алюминийсодержащего сырья до конечного продукта — металла. Исследования в этой области, со дня основания ИМЕТ им. А.А. Байкова АН СССР, проводились в Лаборатории № 5 «Физико-химических основ металлургии цветных и редких металлов», под руководством чл.-корр. АН СССР Д.М. Чижикова, а затем были продолжены проф., д.т.н. Ю.А. Лайнером. С переходом группы по переработке алюминийсодержащего сырья из Лаборатории №5 в Лабораторию № 1 «Проблем металлургии комплексных руд им. ака-



Юрий Абрамович Лайнер (1934 –2016 гг.)

демика И.П. Бардина», исследования выполнялись под руководством проф., д.т.н. В.А. Резниченко и проф. д.т.н. Ю.А. Лайнера, а также — его учениками: к.т.н. Г.А. Мильковым, к.т.н. Б.А. Симановским, к.т.н. Т.Н. Ветчинкиной, к.т.н. А.С. Тужилиным, к.т.н. С.А. Тодоровым, к.т.н. С.П. Переходой, Е.Н. Самойловым и др. В марте 2002 года, по инициативе академика Н.П. Лякишева, была создана Лаборатория № 21 «Физикохимии и технологии алюминия».

С момента образования лаборатории и до последних дней жизни Ю.А. Лайнера, он был ее бессменным научным руководителем. После кончины Ю.А. Лайнера 11 апреля 2016 г., Лаборатория № 21 была объединена с Лабораторией № 1.

В Лаборатории № 21 ИМЕТ РАН, под руководством Ю.А. Лайнера, были выполнены исследования по физикохимии и технологии перспективных способов получения алюминия и соединений на его основе [1,2]. Была изучена кинетика выщелачивания гидроксида алюминия, входящего в состав гиббситовых бокситов, щелочными растворами при атмосферном давлении; получены новые данные в области исследования физико-химических свойств щелочных и кислых растворов — проведен термодинамический анализ равновесных алюминатных растворов; определены основные закономерности разделения жидкой и твердой фаз в щелочных и кислых средах, с использованием новых марок органических флокулянтов. Был проведен термодинамический анализ взаимодействия компонентов красного шлама с углеродом в широком интервале температур и выполнены физико-химические исследования, позволяющие наметить пути его переработки.

Исследования по использованию в глиноземном производстве электролиза с ионитовыми мембранами, выполненные под руководством Ю.А. Лайнера, позволили: интенсифицировать процесс декомпозиции крепких алюминатных растворов, выделенных по способу Байера; осуществить очистку и концентрирование растворов щелочи для возврата ее в производственный цикл; изучить кинетику зародышеобразования при электродиализном осаждении гидроксида алюминия [1]. Как известно, при электродиализе карбонатная щелочь переходит в каустическую. Этого нельзя добиться, например, при выпарке алюминатных растворов. В глиноземном производстве образуется большое количество подшламовых вод и щелочных растворов слабой концентрации, которые необходимо утилизировать. Методом электролиза из таких растворов получают концентрированную щелочь и гидроксид алюминия, из которого успешно синтезированы высокоэффективные коагулянты: сульфат и гидроксохлорид алюминия. Попутно электролиз решает еще одну важную проблему — утилизацию сточных вод, что очень важно для улучшения экологической обстановки на действующих предприятиях.

Ю.А. Лайнер руководил исследованиями по переработке различных видов минерального высококремнистого алюминийсодержащего сырья

(нефелина, алунита, каолиновых глин и др.) кислотными и щелочно-кислотными способами. Применение этих способов позволяет в самом начале технологического процесса провести селективное выделение кремнезема и, тем самым, резко сократить материальные потоки, отказаться от использования дефицитной щелочи. Кроме того, промежуточными продуктами при кислотных способах являются сульфатные и хлоридные соли алюминия, которые широко применяются в качестве коагулянтов [2,3].

Много внимания уделялось комплексной переработке различных алюминийсодержащих отходов [4-7]. Предложены кислотная и щелочная схемы переработки шлаков литейного производства, которые позволяют получать: глинозем, коагулянты (сульфат алюминия, гидроксохлорид алюминия ГОХА) для очистки питьевых и сточных вод, стройматериалы и др. [8]. Изучены кинетические закономерности взаимодействия с соляной кислотой металлического алюминия, который является составной частью литейного шлака. Исследованы физико-химические свойства (плотность, вязкость, температура кристаллизации, кислотность) ГОХА различной основности. В зависимости от условий проведения синтеза различных форм ГОХА, определена степень полимеризации гидроксокомплексов в растворах феррон-методом, который позволяет оценить количество мономеров, олигомеров и полимеров [6]. Проведено термодинамическое моделирование и экспериментально исследованы оптимальные условия спекания алюмосиликатного остатка, образующегося после содово-щелочного выщелачивания шлака с карбонатами натрия и кальция. Разработана технология комплексной переработки стружки, шлака, гидроксидного остатка с получением глинозема, коагулянтов и стройматериалов [8,9].

Проведены исследования по комплексной переработке отработанных катализаторов. Изучен фазовый состав конкретных марок катализаторов гидроочистки, кинетика и механизм растворения оксида молибдена в растворах соляной, серной, азотной кислот и карбоната натрия. Исследована возможность получения осаждением продукционного молибдата кальция. Определены условия получения из алюмооксидного остатка глинозема и различных коагулянтов — для очистки питьевых и сточных вод (сульфата, гидроксосульфата, гидроксохлорида алюминия). Предложены технологические схемы промышленной переработки отработанных катализаторов гидроочистки на парамолибдат аммония или молибдат кальция, глинозем или коагулянты [10,11].

Предложена технологическая схема комплексной переработки зол Подмосковных углей [3]. Преимуществом разработанной технологии является комплексность использования золы, например, наряду с глиноземом, в качестве товарной продукции, возможно получать коагулянты – сульфат, гидроксосульфат и гидроксид алюминия и строительные материалы – портландцемент и силикатный кирпич. Из железистого продукта, после его переработки, могут быть выделены концентраты редких

металлов: скандия, циркония, лантана, иттрия и др. [11]. По данной технологии на нескольких заводах Китая внедрена переработка зол углей.

Проведенные физико-химические исследования легли в основу модифицирования способа Байера. Была разработана технологическая схема двухстадийного выщелачивания бокситов. Исследовано взаимодействие гидроксида алюминия, входящего в состав бокситов, со щелочными растворами при атмосферном давлении. Сущность двухстадийного способа выщелачивания бокситов заключается в том, что на первой низкотемпературной стадии, при атмосферном давлении, полностью разлагается гиббсит, а на второй – при более высоких температурах, в автоклавах проводится довыщелачивание боксита. При этом снижается каустический модуль, что позволяет частично разложить трудновскрываемые соединения: алюмогематит и алюмогетит. Для разделения алюминатного раствора и красного шлама использовали органические флокулянты нового поколения для щелочных и кислых пульп [1,2,24].

Проведены исследования по очистке алюминатных растворов окислительными и сорбционными способами от органических примесей, которые образуются и накапливаются при гидрощелочной обработке бокситов, что оказывает негативное влияние на основные технологические пределы способа Байера. Окисление органических примесей предложено проводить манганатом или гипохлоритом натрия. Работы осуществлялись совместно с Лаб. № 1 (зав. лаб., д.т.н. Садыхов Г.Б.). Манганат натрия хорошо растворяется в водных и щелочных растворах, является сильным окислителем и легко может быть подвергнут регенерации. При взаимодействии с органикой марганец восстанавливается из Mn (VI) до Mn (IV) и выпадает в осадок в виде MnO_2 , который направляют на получение манганата натрия, обеспечивая замкнутость цикла оборота Na_2MnO_4 . При использовании манганата натрия достигается почти 90% - ная степень удаления органических веществ. Эксперименты по сорбции органических примесей из маточных алюминатных растворов (после декомпозиции) проводились на активированных углях. При использовании отечественных марок углей ГИД-3 и СКТ степень очистки алюминатных растворов от органических примесей (в пересчете на содержание органического углерода) составила 50-60 % [12].

Совместно с Лабораторией № 16 «Плазменных процессов в металлургии и обработке материалов» (зав. лаб., академик Ю.В. Цветков и пом. Зав. лаб. к.т.н. А.В. Самохин), были выполнены расчеты равновесных составов и энергетических характеристик термической диссоциации молекул кислорода, водяного пара и их смесей в интервале температур 2000 – 5000 К и проведены испытания метода воздействия плазменной струи на окисление органических примесей в технологических алюминатных растворах, отобранных из производственного цикла Николаевского глиноземного завода. На основании анализа физико-химических процессов, протекающих при истечении плазменной струи в слой технологического

раствора определена возможность существенного увеличения интенсивности окислительных процессов в водных растворах органики [13].

Из перспективных и важных способов получения алюминия, под руководством Ю.А. Лайнера выполнены физико-химические исследования хлорирования оксида алюминия, полученного щелочно-кислотными способами переработки алюминийсодержащего сырья. Сырьем для получения хлорида алюминия могут служить нефелины, бокситы, каолиновые глины, отходы углеобогащения и угледобычи, сланцы и др. Успешная реализация этого способа возможна на основе качественной перестройки технологии и аппаратуры. Создание крупномасштабной регенерации хлора и практически изолированной технологии позволит обеспечить условия для охраны окружающей среды. Получение хлорида алюминия — одна из основных проблем в хлорной технологии производства алюминия, которая обусловлена хлорированием оксида алюминия, имеющего высокую реакционную способность по отношению к хлору. Оксид алюминия может быть получен прокалкой гидроксида алюминия, выделенного в различных условиях существующими способами. Для исследований использовали гидроксид алюминия, полученный карбонизацией алюминатного раствора при 20-80°C, без примесей и содержащий гидроалюмосиликат натрия в количествах, соответствующих изменению кремневого модуля (μ_{Si}) от 25 до 400, и гидроксид алюминия, полученный декомпозицией алюминатного раствора по способу Байера. Гидроксид алюминия, выделенный карбонизацией алюминатного раствора при 40 °С, представлен в основном байеритом. Декомпозиционный гидроксид алюминия имеет гибситовую структуру. Установлено, что алюмосиликат натрия служит стабилизатором низкотемпературных модификаций оксида алюминия. Изучен полиморфизм оксида алюминия, полученного термическим разложением различных кристаллогидратов солей алюминия марки «х.ч.» и черного глинозема, выделенного кислотным обогащением углистой породы с содержанием основных примесей: оксидов железа до 4% и оксидов кремния до 1,0%. Присутствие нефтяного кокса и примесей железа оказывают ингибирующее действие на образование высокотемпературных модификаций оксида алюминия. Хлорирование является гетерогенным процессом, и кинетика взаимодействия зависит от состояния поверхности оксида алюминия, полученного разными способами из небокситового сырья. Наибольшую величину удельной поверхности, из всех оксидов, имели: оксид алюминия, выделенный при температуре дегидратации 700-750°C карбонизированного при 40 °С гидроксида алюминия ~350 м²/г, и оксид алюминия, полученный термическим разложением сульфата алюминия ~300 м²/г. Проведен термодинамический анализ процесса хлорирования и выполнены исследования по кинетике процесса хлорирования. Рассчитанные, на основании теории переходного состояния, значения энергии активации исследуемого процесса, позволили по-

строить модель возможного механизма хлорирования оксида алюминия в присутствии твердого восстановителя [14-19].

Разработаны щелочно- и кислотно-хлорные технологические схемы переработки алюминийсодержащего сырья, состоящие из двух основных переделов – производства хлорида алюминия и его электролиза. Проведены укрупненные испытания на пилотной установке по хлорированию в кипящем слое, совместно с ВАМИ (г. Санкт-Петербург). Хлорный способ производства алюминия отличается следующими преимуществами: возможностью (после щелочного или кислотного обогащения) прямого и эффективного перевода исходного материала в хлориды; значительной экономией электроэнергии, использованием графитовых нерасходуемых электродов при электролизе хлорида алюминия. Кроме того, отпадает необходимость использования дорогостоящих фторсодержащих солей и криолита, сооружения установок для очистки фторсодержащих газов [19].

Одно из последних и главных научных направлений работ, выполняемых под руководством Ю.А. Лайнера – это синтез и испытание инертных анодов при электролизе криолито-глиноземных расплавов. Исследования выполнялись в ИМЕТ РАН, при активном участии заведующих лабораторий и их сотрудников: проф., д.т.н.: В.Я. Дашевского, д.т.н. К.Е. Казенаса, академика К.А. Солнцева, чл.-корр. К.В. Григоровича, д.т.н. В.И. Калиты, чл.-корр. М.И. Алымова, д.х.н. Ю.Ф. Каргина, проф., д.т.н. Л.Л. Рохлина, к.т.н. Чернявского, к.т.н. Т.В. Добаткиной и др.

Переход на малорасходуемые (инертные) аноды в алюминиевой промышленности должен привести к экономии электроэнергии, к снижению расхода угольных материалов, полностью исключить выбросы оксида углерода, соединений серы, фторидов углерода, бензопирена и пр. К инертным анодам предъявляются весьма жесткие требования: скорость износа менее одного см/год; электросопротивление (при рабочей температуре около 960 °С) менее 50 мкОм·м; изменение электросопротивления в течение года работы не более, чем на 10%; термостойкость не менее 100 теплосмен; прочность, при сжатии, не менее 50 МПа; трещиностойкость не менее 1,5 МПа·м^{0,5}; сохранение геометрических размеров при температурах до 1000 °С; возможность сварки или механической обработки анода (площадью до 145·70 см) и др. [20,21].

Основной задачей исследований был поиск новых перспективных материалов, стойких к воздействию криолито-глиноземных расплавов, с целью создания инертного анода. Аноды из металлокерамики (керметы), состоящие из стойкой к коррозии оксидной матрицы – NiFe₂O₄, NiO и электропроводной металлической составляющей на основе меди или серебра, были получены прессованием с последующим спеканием или газотермическим (плазменным) напылением. Испытания для керметов, полученных плазменным напылением, показали, что расчетный износ

анода на лучших образцах составил 0,75 мм в год. Синтез и испытание капсулированных градиентных материалов показал перспективность исследований в этом направлении. Были проведены исследования пяти типов анодов, отличающихся по составу и технологии изготовления. 1-й тип — однородные металлические аноды, полученные по технологии СВС-спекания путем одноосного двухстороннего прессования; 2-й тип — однородные металлические аноды, полученные по технологии горячего прессования; 3-й тип — капсулированные аноды, полученные по гибридной технологии, сочетающей СВС-спекание и плазменное напыление керметного покрытия; 4-й тип — капсулированные аноды, полученные по гибридной технологии, сочетающей горячее прессование и последующее плазменное напыление керметного покрытия; 5-й тип — однородные и градиентные металлокерамические аноды — были получены методом горячего прессования на установке КСЕ-014 фирмы «RLEIN» в атмосфере аргона, при температуре 1200 °С и давлении 300 атм. В процессе электролизных испытаний все образцы этого типа показали более высокую стойкость к криолито-глиноземному расплаву по сравнению с ранее полученными образцами анодов. Максимальную стойкость к криолито-глиноземному расплаву в процессе электролизных испытаний, показали образцы 5-го типа [21-23].

Следующий этап исследований был направлен на изучение образцов (1, 2), имеющих определенную структуру металла, обладающую повышенной стойкостью к коррозии при электролизе в криолито-глиноземном расплаве. 1-й образец, полученный с применением высокотемпературной механической обработки (ВТМО) с последующим отжигом, почти сохранил свою геометрическую форму после проведения электролизных испытаний; дефектный слой, образовавшийся на его поверхности, имел меньший разброс по толщине, по сравнению с образцом 2-м, который не подвергался ВТМО. Таким образом, истинный износ анода, не прошедшего высокотемпературную деформацию, больший, по сравнению с предварительно деформированным.

Были продолжены работы: по изучению влияния на коррозионную стойкость оксидных поверхностных слоев образцов анода, полученных в токе кислорода и водяного пара, с последующим их окислением на воздухе; по созданию композиционных металло-керамических материалов, состоящих из керамической матрицы на основе феррита никеля и импрегнированной в неё металлической составляющей из меди и никеля. Синтезированные окислительным конструированием керамические материалы обладают повышенной механической прочностью, термической и электрохимической стойкостью. Выполнены их сравнительные электролитические испытания [25,26].

Полученные положительные результаты по синтезу и испытаниям разных видов керметных, градиентных, металлических и композиционных металло-керамических материалов инертных анодов, позволяют

считать целесообразным осуществить переход от лабораторных испытаний к укрупненным. В настоящее время РУСАЛом в Красноярске создан целый ряд электролизных установок до силы тока 5кА — для проведения длительных ресурсных испытаний по оценке материалов инертного анода и смачиваемого катода, разработки новой конструкции электролизера с вертикальными электродами, с целью выдачи необходимых данных для промышленной реализации электролизеров с инертными анодами [25].

Кратко итоговые основные достижения лаборатории № 21 «Физико-химии и технологии алюминия», выполненные под руководством Ю.А. Лайнера за последние годы его научной деятельности, следующие:

— разработана технология по расширению сырьевой базы алюминиевой промышленности РФ за счет вовлечения в производство высококремнистого алюминийсодержащего сырья (бемит-каолиновых бокситов, каолиновых глин и др.), с использованием солянокислотного способа

— реализован в промышленных масштабах щелочной способ переработки бокситов нового месторождения Сьерра-Леоне на заводе «Алюм» (г. Тульчия, Румыния), входящего в состав Российского предприятия ООО «Би Холдинг»;

— разработана схема концентрирования низкоконцентрированных алюминатных растворов методом электродиализа с ионитовыми мембранами — для получения концентрированной щелочи, направляемой в оборот, и электродиализного осадка — оксида алюминия, который может быть использован для получения глинозема, синтеза высокоэффективных коагулянтов или в качестве ускорителя затвердевания цементных растворов;

— разработаны способы получения коагулянтов нового поколения — оксихлоридов алюминия (ГОХА) из минерального вторичного сырья, для очистки питьевых и сточных вод. Технология получения гидроксохлорида алюминия (ГОХА) из гидроксида алюминия и соляной кислоты внедрена на промышленном предприятии ООО «Северхимпром» (г. Череповец).

— на опытно-промышленной установке в ЗАО «Гидромет» (г. Санкт-Петербург) внедрена технология получения трехоксида молибдена из отработанных никель-молибденовых и кобальт-молибденовых катализаторов;

— разработаны научные основы и найдены технологические решения комплексной переработки красного шлама (отходов глиноземного производства) с получением коагулянтов для очистки питьевых и сточных вод, глинозема, сорбентов, стройматериалов, металлопродуктов, что позволит вовлечь в производство значительные запасы техногенных отходов и обеспечить рациональное природопользование;

— разработаны физико-химические основы получения пригодного для хлорирования оксида алюминия, реакционная способность которого определяется наличием низкотемпературных модификаций,

значительной удельной поверхностью и высокими сорбционными свойствами. Проведены испытания ИМЕТ РАН (г. Москва), совместно с ВАМИ (г. Санкт-Петербург), в опытно-заводских условиях — на установке кипящего слоя по хлорированию различных видов оксида алюминия, полученных по щелочной и кислотной технологиям переработки нефелинового концентрата и минеральной части углистой породы;

— созданы новые способы получения инертных (малорасходуемых) анодов с использованием: капсулированных, керметных, градиентных, металлических (с нанесением оксидных покрытий на металлическую подложку), композиционных металло-керамических материалов, состоящих из керамической матрицы на основе феррита никеля и импрегнированной в неё металлической составляющей из меди и никеля.

Разработанные Ю.А. Лайнером технологии переработки алюминий-содержащего сырья были реализованы более чем на 10-и предприятиях цветной и химической промышленности (АООТ «Ачинский глиноземный завод», ОАО «Бокситогорский глинозем», ОАО «Ангренэнергоцветмет», ОАО «Фосфорит», завод «Алюм» (Румыния), ОАО «Северхимпром», ОАО «Медногорский медносерный комбинат» и др.), с реальным экономическим эффектом от внедрения, составившим сотни миллионов рублей.

Ю.А. Лайнер был автором более 500 научных работ, в том числе 17 монографий и обзоров, учебного пособия для ВУЗов «Производство глинозема» (в соавторстве); имел около 100 авторских свидетельств и патентов. Под его руководством было защищено большое количество студенческих дипломных работ и более 30 кандидатских и докторских диссертаций. Он являлся членом ученого и специализированного советов по присуждению научных степеней при ИМЕТ РАН, Государственной аттестационной комиссии МИСиС, членом экспертного совета ВАК. Принимал участие и был научным руководителем в более десяти программах Отделения химии и наук о материалах и программ Президиума РАН, многочисленных грантов РФФИ и РНФ.

За научную деятельность он неоднократно был отмечен благодарностью Президиума РАН, Минцветмета, Минхимпрома, награжден медалями и дипломами ВДНХ, в течение ряда лет ему присваивали статус «Выдающегося Ученого Российской Федерации».

Указом президента Р.Ф. от 20 января 2015 г. «О награждении государственными наградами Российской Федерации» Ю.А. Лайнеру было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Р.Ф.»

Юрий Абрамович за свою творческую жизнь отмечал «круглые» даты. Поздравления, пожелания (цитируются не полностью, выборочно) позволят добавить штрихи к «портрету» личности, отражая более полно его человеческие качества.

Сотрудники лаборатории № 21:

...Дорогой Юрий Абрамович, как металл, которому Вы посвятили большую часть жизни, Вы обладаете всеми его качествами: легкостью в общении, упорностью в достижении поставленной цели, а также с годами приобретаете прочность «родного» металла, не теряя гибкости и пластичности.

Желаем Вам всегда оставаться необходимым науке и, конечно, нам, Вашим коллегам. Мы без Вас, как пассажиры в аэропорту без Лайнера!!!

Хотим Вам пожелать, как главному специалисту по алюминию, чтобы все поставленные задачи были Вами успешно выполнены...

Коллектив Химико-металлургического института Национального центра комплексной переработки минерального сырья Республики Казахстан...:

... Глубокоуважаемый Юрий Абрамович! За время своей трудовой и научной деятельности Вы зарекомендовали себя как крупный специалист в области цветной металлургии. Под Вашим руководством созданы фундаментальные основы переработки алюминийсодержащего сырья кислотными, хлорными, щелочными методами, что позволило разработать сернокислотный и щелочно-хлорный способы переработки Кольского нефелинового концентрата, кислотно-щелочного способа переработки алуанитовых пород и пыли, азотно-кислотного способа переработки каолинов, сернокислотного способа переработки минеральной части углей с получением глинозема, различных коагулянтов (оксихлориды, оксисульфаты, сульфаты алюминия), редких металлов и строительных материалов.

Под Вашим руководством разработаны технологии комплексного сидеритизированных бокситов и глиноземистых углистых пород Экибастузского и Борлинского месторождений Республики Казахстан.

С большой признательностью отмечаем Ваш вклад в подготовку специалистов высшей квалификации для Республики Казахстан, Вашу помощь сотрудникам нашего института в проведении исследований на экспериментальной базе института. Вы удивительно добрый человек, привлекающий студентов и коллег своей чуткостью и отзывчивостью....

Металлурги Уральского государственного технического университета-УПИ:

... Глубокоуважаемый Юрий Абрамович! Ваши научные труды и учебники являются постоянными пособиями в учебе и работе для студентов ВУЗов, аспирантов и инженерно-технических работников.

Ваши работы по производству цветных и редких металлов, коагулянтов и строительных материалов получили высокую оценку как в нашей стране, так и за рубежом.

Нам важно отметить, что Вы уделяете большое внимание подготовке инженерных кадров и кадров высшей специализации через аспирантуру.

Глубина и перспективность Ваших научных работ, постоянное стремление к новому являются для нас примером и призывом к дальнейшему совершенствованию...

Сотрудники АО «Алюминий»:

... Ваше имя, потомственного научного работника, хорошо известно специалистам алюминиевой отрасли, пользуется большим авторитетом и уважением. Широко известны выполненные под Вашим руководством фундаментальные исследования по комплексной переработке алюминий-содержащего сырья. Ценной особенностью Ваших последних научных трудов является обращение к вопросам переработки промышленных отходов, используемых для производства различных видов коагулянтов, применяемых для очистки питьевых и сточных вод. Эти работы способствуют значительному улучшению экологической обстановки в районах, прилегающих к предприятиям...

Научный коллектив лаборатории № 1 «Проблем металлургии комплексных руд им академика И.П. Бардина»:

... Мы высоко ценим Ваши научные достижения за время работы в ИМЕТ РАН, получившие заслуженную оценку на правительственном уровне. Вы для нас являетесь примером беззаветного служения раз и навсегда выбранному делу. Неоценим Ваш вклад в развитие научных знаний и новых технологий в области металлургии алюминия...

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ):

... Уважаемый Юрий Абрамович! Своим самоотверженным трудом, беззаветной преданностью любимому делу Вы заслужили безоговорочный авторитет не только работников нашего Университета, но и ведущих специалистов других организаций.

Вся Ваша трудовая деятельность – это служение высоким идеалам науки, образец целеустремленности во всех сферах её проявления.

Мы рады сотрудничать с Вами во всех областях совместной деятельности и надеемся на то, что наши отношения будут долгими и плодотворными...

Ученики:

... В научно-исследовательской работе нам, юным аспирантам, Юрий Абрамович предоставлял большую самостоятельность, но при возникновении трудностей всегда подставлял свое надежное плечо. Разносторонние увлечения Юрия Абрамовича: театром, классической музыкой, литературой, передавались нам в ежедневном общении с ним...

... Большое количество подготовленных им кандидатов наук характеризует его как большого ученого, редкой порядочности и доброжелательности...

... Для нас, как и многочисленных Ваших учеников и коллег, Вы пример талантливого ученого, редкого творческого трудолюбия, оптимизма, всего, что явилось результатом выдающихся Ваших успехов...

Литература

1. Лайнер Ю.А. Физико-химические и технологические основы ресурсосберегающих и экологически чистых технологий комплексной переработки алюминийсодержащего сырья / Ю.А. Лайнер, В.А. Резниченко, А.С. Тужилин, Т.Н. Ветчинкина, С.А. Тодоров // *Технология металлов*, 2007, № 6. С. 2-12.
2. Лайнер Ю.А. Перспективные способы получения алюминия и его соединений на его основе / Ю.А. Лайнер, Г.А. Мильков, Е.Н. Самойлов // *Цветные металлы*. - М. 2012. № 6. С. 42-47.
3. Ямпуров М.Л. Комплексная переработка минеральной части углей Подмосковского бассейна с получением глинозема, коагулянтов и строительных материалов / М.Л. Ямпуров, Ю.А. Лайнер, Т.Н. Ветчинкина, Д.Ю. Рожков // *Химическая технология*, 2006. № 12. С. 18-24.
4. Лайнер Ю.А. Комплексная переработка алюминийсодержащих отходов с получением глинозема, коагулянтов и стройматериалов / Ю.А. Лайнер, А.С. Тужилин, С.П. Перехода, Е.Н. Самойлов, Т.Н. Ветчинкина // *Известия вузов. Цветная металлургия*, 2004. № 3. С. 40-50.
5. Тужилин А.С. Физико-химические свойства гидроксохлоридов алюминия различной основности / А.С. Тужилин, Ю.А. Лайнер, Л.М. Сурова // *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2006. № 2. С. 14-18.
6. Тужилин А.С. Определение физико-химических свойств гидроксохлорида алюминия различной основности / А.С. Тужилин, Ю.А. Лайнер, Л.М. Сурова, Т.Н. Ветчинкина // *Перспективные материалы*. - декабрь 2008. Спец. выпуск (6). - ч.1. - С. 159-163.
7. Лайнер Ю.А. Перспективы комплексной переработки алюминийсодержащих отходов с получением глинозема, коагулянтов и стройматериалов / Ю.А. Лайнер, Г.А. Мильков, А.С. Тужилин, С.П. Перехода, Т.Н. Ветчинкина // *Экология и промышленность России* 2013. № 4. С. 10-15.
8. Тужилин А.С. Комплексная переработка алюминийсодержащего шлака с получением глинозема, коагулянтов и стройматериалов / А.С. Тужилин, Ю.А. Лайнер, Г.А. Мильков. // *Химическая технология*. 2013. № 4. С. 219-225.
9. Тужилин А.С. Щелочно-кислотный способ переработки алюминиевой стружки с получением гидроксохлорида алюминия / А.С. Тужилин, Ю.А. Лайнер, Л.М. Сурова, В.Н. Суров // *Известия ВУЗов. Цветная Металлургия*. Москва. - 2010. № 4. С. 22-27.
10. Перехода С.П. Исследование научных основ и разработка технологии комплексной переработки отработанных катализаторов гидроочистки /

- С.П. Перехода, Ю.А. Лайнер // Известия ВУЗов. Цветная Металлургия. Москва. - 2010. № 4. — С. 27-33.
11. Лайнер Ю.А. Научные и технологические основы комплексной переработки алюминийсодержащих отходов / Ю.А. Лайнер, А.Н. Киселев, Д.Ж. Добра, В.В. Алистарх // Сборник докладов третьего международного конгресса. Цветные металлы. 2011. 7-9 сентября, г. Красноярск, С. 116-123.
 12. Перехода С.П. Способы очистки алюминатных растворов глиноземного производства от органических примесей / С.П. Перехода, Ю.А. Лайнер, В.Е. Кислов, Г.Б. Садыхов, Т.В. Гончаренко, В.А. Волченкова // II международная научно-практическая конференция. Металлургия легких металлов. Проблемы и перспективы. Сборник тезисов докладов. МИСиС. 2006. С. 142-144.
 13. Самохин А. В. Окисление органических примесей в технологических алюминатных растворах при воздействии струи и термической плазмы / А. В. Самохин, Н.В. Алексеев, Ю.А. Лайнер, Ю.В. Цветков // Известия ВУЗов. Цветная Металлургия. Москва. - 2010. № 3. С. 19-23.
 14. Ветчинкина Т.Н. Хлорирование глинозема, полученного щелочно-кислотными методами переработки алюминийсодержащего сырья / Т.Н. Ветчинкина // Технология металлов. - 2008. - № 6. – С. 2–7.
 15. Ветчинкина Т.Н. Переработка низкокачественного алюминийсодержащего сырья хлорным способом. / Т.Н. Ветчинкина // Перспективные материалы. - декабрь 2008.- Спец. выпуск (6) - ч.2. – С. 447-453.
 16. Ветчинкина Т.Н. Хлорирование глинозема, полученного щелочно-кислотным методом переработки алюминийсодержащего сырья / Ветчинкина Т.Н. // Технология металлов. – 2008. № 6. – С. 2 - 8.
 17. Ветчинкина Т.Н. Использование минеральной части вскрышной углистой породы и отходов углеобогащения с применением хлорной технологии / Т.Н. Ветчинкина // Технология металлов. – 2009. - № 8. – С. 9-14.
 18. Ветчинкина Т.Н. Фазовые превращения при термообработке гидроксидов и кристаллогидратов алюминия / Т.Н. Ветчинкина // Химическая технология. – 2009. - № 6. – С. 342-349.
 19. Ветчинкина Т.Н. Исследование физико-химических свойств оксида алюминия, полученного щелочными и кислотными способами / Т.Н. Ветчинкина // Металлы. – 2009. - № 2. - С.30-40.
 20. Лайнер Ю.А. Разработка и синтез инертных анодов для алюминиевой промышленности / Ю.А. Лайнер, Н.П. Лякишев, М.И. Алымов, В.И. Калита, Е.А. Левашов, Б.Р. Сенатулин // Известия Вузов. Цветная металлургия. 2004. № 3. С. 50 – 60.
 21. Лайнер Ю.А. Инертные аноды в электролитическом производстве алюминия / Ю.А. Лайнер, Д.Ю. Рожков, Е.Н. Самойлов // Химическая технология. 2004. № 12. С. 21-28.
 22. Лякишев Н.П. Синтез и испытание инертных анодов при электролизе криолито-глиноземных расплавов / Н.П. Лякишев, М.И. Алымов, В.И. Калита, Ю.А. Лайнер, Е.Н. Самойлов, Т.Н. Ветчинкина, Д.О. Рожков // Химическая технология, 2006. № 5. С. 19-
 23. Лякишев Н.П. Синтез и испытание однородных и градиентных материалов для инертных анодов при электролизе криолито-глиноземных рас-

- плавов / Н.П. Лякишев, Ю.А. Лайнер, Е.А. Левашов, Е.Н. Самойлов, Б.Р. Сенатулин, Т.Н. Ветчинкина, Д.Ю. Рожков // Химическая технология. 2007. № 2. - С. 69-76.
24. Лайнер Ю.А. Перспективные способы получения алюминия и соединений на его основе / Ю.А. Лайнер // Технология легких сплавов. 2010. № 1. С. 55-66.
 25. Д.А. Симаков, А.Г. Бурцев, А.В. Фролов, А.О. Гусев // Сборник докладов четвертого международного конгресса «Цветные металлы 2012» в составе конференций: XVIII «Алюминий Сибири». VI «Металлургия цветных и редких металлов». VIII «Золото Сибири». 5-7 сентября 2012 г., Красноярск. Россия. С. 487-493.
 26. Solntsev K.A., Layner Yu.A., Samoylov E.N., Cherniavsky A.S., Kargin Yu.F. Obtaining of corrosion-resistant ceramic or cermet materials as inert anodes by oxidative designing methods / Proceedings of the seventh international congress Non-Ferrous Metals & Minerals, Krasnoyarsk, Russia, 2015, P. 173.

Основные монографии Ю.А. Лайнера:

1. И.Н. Китлер, Ю.А. Лайнер Нефелины — комплексное сырье алюминиевой промышленности — М.: Metallurgizdat, 1962. — 237 с.
2. А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер, И.З. Певзнер Производство глинозема 2-е изд. — М.: Metallurgia, 1978. — 344 с.
3. Ю.А. Лайнер Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами — М.: Наука, 1982. — 208 с.
4. Б.И. Арлюк, Ю.А. Лайнер, А.И. Пивнев. Комплексная переработка щелочного алюминийсодержащего сырья — М.: Metallurgia, Москва, 1994. — 384 с.
5. И.Г. Горичев, И.В. Артамонова, Ю.А. Лайнер, А.Д. Изотов, Г.З. Казиев, В.А. Петровичев Электрехимическое и коррозионное поведение молибдена и его оксидов в растворах электролитов — 1-е изд. — Москва: Из-во МГТУ МАМИ. 2010. — 120 с.
6. И.В. Артамонова, И.Г. Горичев, Ю.А. Лайнер Взаимодействие оксидов, оксигидроксидов и гидроксидов алюминия с растворами электролитов / МАМИ. Москва — 2012 г. — 140 с.

Список ОХНМ и программ президиума РАН

ОХНМ № 8 (2004-2005 г.) «Разработка научных основ получения коагулянтов (гидроксохлоридов алюминия, основных сульфатов алюминия, смешанных коагулянтов и др.) для очистки питьевых и сточных вод с получением опытных партий». Научный руководитель работы – Лякишев Н.П. – академик РАН, научный руководитель ИМЕТ РАН

ОХНМ № 8 (2006-2007 г.г.) «Разработка научных основ смешанных коагулянтов с различным содержанием полимерных составляющих для очистки питьевых и сточных вод с получением опытных партий продуктов» Научный руководитель работы – Лякишев Н.П. – академик РАН, научный руководитель ИМЕТ РАН

ОХНМ №3 (2008 г.) «Создание новых металлических, керамических стекло-, полимерных и композиционных материалов». Название проекта: «Разработка научных основ получения коагулянтов нового поколения для очистки питьевых и сточных вод из каолиновых глин Суворовского месторождения Тульской области». Науч. рук. проекта д.т.н., проф. Лайнер Ю.А. Координатор – академик РАН Банных О.А

ОХНМ № 2 (2009-2011 г.) «Создание новых металлических, керамических стекло-, полимерных и композиционных материалов». Название проекта: «Разработка новых металлических и керамических материалов, стойких в агрессивных и высокотемпературных электролитах». Науч. рук. проекта д.т.н., проф. Лайнер Ю.А. Координатор – академик РАН Банных О.А

ОХНМ РАН №6 (2008 г.) «Научные основы рационального использования природных и техногенных ресурсов». Название проекта: «Исследование и разработка метода электродиализа для разложения и концентрирования алюминатных растворов при получении глинозема из бокситового сырья». Науч. рук. проекта д.т.н., проф. Лайнер Ю.А. Координатор – академик РАН Леонтьев. Л.И.

ОХНМ РАН №8 (2008 г.) «Разработка научных основ новых химических технологий с получением опытных партий веществ и материалов» Название проекта: «Разработка научных основ смешанных коагулянтов с различным содержанием полимерных составляющих для очистки питьевых и сточных вод с получением опытных партий продуктов». Науч. рук. проекта д.т.н., проф. Лайнер Ю.А. Координатор – академик РАН Алдошин С.М.

ОХНМ РАН № 5 (2009-2011) «Создание новых видов продукции из минерального и органического сырья». Название проекта: «Разработка научных основ получения коагулянтов нового поколения для очистки питьевых и сточных вод из каолиновых глин Суворовского месторождения Тульской области». Науч. рук. проекта д.т.н., проф. Лайнер Ю.А. Координатор программы – академик Л.И. Леонтьев

ОХНМ РАН № 5 (2009-2011) «Создание новых видов продукции из минерального и органического сырья». Название проекта: «Создание новых материалов усовершенствованием физико-химических процессов выщелачивания и переработки минерального сырья, утилизации отходов и техногенных образований». Науч. рук. проекта чл. – корр. РАН Изотов А.Д. Координатор программы – академик Л.И. Леонтьев

ОХНМ РАН № 7 (2009 г.) «Разработка научных основ новых химических технологий с получением опытных партий веществ и материалов» Название проекта: «Разработка технологии производства нанодисперсного связующего на основе гидроксида алюминия для получения высокоогнеупорной корундовой керамики зернистого строения». Научный руководитель проекта: Солнцев К.А., академик РАН, директор ИМЕТ РАН

НМ РАН п.5 (2013-2014 г.г.) Создание новых видов продукции из минерального и органического сырья. Название темы: «Комплексная переработка каолинит-бемитовых бокситов Североонежского месторождения кислотными способами с получением коагулянтов нового поколения, глинозема и стройматериалов». (Научный руководитель темы: проф., д.т.н. Лайнер Ю.А.)

ОХНМ РАН № IV.5.6 (2015 г.) «Создание новых видов продукции из минерального сырья» (координатор академик Л.И. Леонтьев). Название темы: «Получение оксида алюминия высокой чистоты из минерального алюминийсодержащего сырья кислотным способом» (Научный руководитель темы: проф., д.т.н. Лайнер Ю.А.)

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 18 (2009-2010г.) «Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов». Координатор программы академик В.А. Тартаковский. Руководитель направления Программы – академик К.А. Солнцев. Название проекта: «Разработка физико-химических основ синтеза нанодисперсного связующего на основе алюмооксидных композиций для получения высокоглиноземистых керамических изделий».

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 7 (2010-2011 г.) «Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов». Направление «Физико-химические основы создания неорганических материалов, включая наноматериалы» (Руководитель направления – академик К.А. Солнцев.) Название проекта: «Разработка физико-химических основ и технологии получения нанодисперсного связующего на основе гидроксида алюминия для производства высокоглиноземистых керамических изделий» (Научный руководитель проекта: проф., д.т.н. Лайнер Ю.А.)

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 24 (2011) г. «Научные основы инновационных и энергосберегающих экологически безопасных технологий оценки и освоения природных и техногенных ресурсов» (координаторы ак. Рундквист Д.В., ак. Леонтьев Л.И.) Название проекта: «Научное обоснование разработки экологически безопасного использования красных шламов – отходов глиноземного производства с получением продукции для черной, цветной металлургии и стройиндустрии». (Научный руководитель проекта: проф., д.т.н. Лайнер Ю.А.)

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 7П (2012 г.) «Исследование получения высокодисперсного связующего при различных давлениях газовой среды и интенсивном теплообмене для производства керамических изделий на основе гидроксида алюминия (Научный руководитель темы: академик РАН, Солнцев К.А.)

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № 27П (2012 г.) «Разработка научных основ и технологий комплексной переработки красных шламов с получением целевых продуктов для черной,

цветной металлургии и новых инновационных материалов для процессов водоподготовки». (Научный руководитель проекта: проф., д.т.н. Лайнер Ю.А.)

Программа Президиума РАН 27П (2013-2014 г.г.) Фундаментальный базис инновационных технологий прогноза, оценки, добычи и глубокой комплексной переработки стратегического минерального сырья, необходимого для модернизации экономики России. Название темы: «Разработка научных основ и технологий комплексной переработки красных шламов с получением целевых продуктов для черной, цветной металлургии и новых инновационных материалов для процессов водоподготовки». (Научный руководитель темы: проф., д.т.н. Лайнер Ю.А.)

Программа Президиума РАН 7П (2013-2014 г.г.) Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов Название темы: «Исследование получения высокодисперсного связующего при различных давлениях газовой среды и интенсивном теплообмене для производства керамических изделий на основе гидроксида алюминия. (Научный руководитель темы: академик РАН Солнцев К.А.)

Программа Президиума РАН 1.П-20 (2015 г.) «Фундаментальные основы ресурсосберегающих технологий создания металлов, сплавов, композитов и керамики с повышенными свойствами» (координаторы программы – академик РАН Леонтьев Л.И., академик РАН Солнцев К.А.) Название темы: «Разработка физико-химических основ синтеза нанодисперсного связующего на основе гидроксида алюминия для производства высокоогнеупорной керамики (Научный руководитель темы: проф., д.т.н. Лайнер Ю.А.)

Список РФФИ:

1. РФФИ № 06-03-32684-а «Разработка физико-химических основ синтеза, исследование строения и эффективности коагулянтов нового поколения для очистки питьевых и сточных вод» (2006-2008 г.г.) (Научный руководитель темы: проф., д.т.н. Лайнер Ю.А.)

2. РФФИ № 06-03-08122-офи «Разработка и создание инертных анодов, устойчивых в криолито-глиноземных расплавах, при получении алюминия электролизом» (2006-2007 г.г.) (Научный руководитель темы: проф., д.т.н. Лайнер Ю.А.)

3. РФФИ 11-03-12070-офи-м-2011 «Утилизация красных шламов глиноземного производства путем создания ресурсосберегающей экологически безопасной технологии» (2011-2012 г.г.)

4. РФФИ № 15-03-08780 «Разработка и реализация принципов окислительного конструирования для получения инертных анодов при производстве алюминия электролитическим способом» (2015-2017 г.г.).

Памяти чл.-корр. Е.М. Савицкого

Из архива М.А. Тылкиной

Я проработала с Евгением Михайловичем 40 лет, с 1946 г.

ИОНХ вернулся из эвакуации и восстанавливался. Е.М. подбирал сотрудников и формировал Лабораторию механических испытаний металлов и сплавов.

Так, первая ячейка, с которой начала существовать наша лаборатория, состояла из 6 человек: 3 инженера – Вера Федоровна Терехова, Вероника Владимировна Барон и я (все — выпускники Института цветных металлов), лаборант Виктор Винокуров и механик Валентин Петрович Лебедев. В 1947 г. в стране начались работы над атомной бомбой. Создавались специальные объекты и Институты, а также подключались уже существующие Институты. Несколько лабораторий ИОНХа, в том числе наша, были включены в эти работы. Савицкому было дано задание исследовать свойства металлического урана при различных температурах, вплоть до 900 – 1000°С. Он поручил эти работы мне и Тереховой В.Ф. Пришлось создавать новую вакуумную аппаратуру и изыскивать новые методики для выполнения задания.

У входа в коридор, в котором располагалась наша лаборатория, была поставлена вооруженная охрана, нас засекретили по высшей степени секретности. Савицкому пришлось много разъезжать по различным атомным объектам; он был в Челябинске, в Арзамасе и других местах. Это называлось «командировка на овощную базу». Савицкий оказался среди крупнейших ученых-атомщиков. Порученная работа – являлась новаторской, и полученные нами данные также стали первыми в мировой науке. Была обнаружена хрупкая высокотемпературная модификация урана – $-U$ – и установлены все свойства этого металла, вплоть до 1000°С. Благодаря этим данным, были установлены оптимальные режимы технологического процесса пластической деформации урана на спецзаводе, где Савицкому и мне приходилось бывать.

Эту работу я успешно защитила, как кандидатскую, в Институте А.Н. Бочвара, на Ученом совете, состоявшем из ведущих атомщиков страны. За работы с ураном были присуждены высокие награды: Савицкий получил первое звание лауреата Госпремии СССР, и ему, совместно со мной и Тереховой, было присвоено звание лауреатов Премии Совета Министров СССР. Мы получили премию и благодарность с формулировкой «за выполнение спецзадания». Кстати, этот документ подписан Сталиным, что в то время было весьма почетно. Напечатать работу разрешили только через 20 лет. Так мы работали по исследованию урана, вплоть до начала, как мы его называли, «великого переселения народов в 1953 г.».

Академик Бардин построил новое здание и организовал Институт Металлургии. Он набирал штат сотрудников и решил забрать из ИОНХа

уже сложившийся коллектив металлосведов. Была борьба с академиком Черняевым, но Бардину удалось перевести в ИМЕТ несколько металлосведческих лабораторий, в которых было 100 человек. Мы переехали на Ленинский проспект, 49. Но, чтобы сохранилась наша маленькая лаборатория, к нам присоединили тоже маленькую группу «благородных металлов», и нас стало уже не 6, а 10 человек.

Дирекцией было предложено совершенно новое направление работ: «Редкие металлы и сплавы».

Савицкий, по моему мнению, — очень яркая личность и талантливый человек. Он обладал исключительной интуицией, позволявшей ему чувствовать новое в науке и перспективы развития новых направлений. Я считаю, что это Божий дар.

Объектами исследования были выбраны тугоплавкие редкие металлы, в то время эта область представляла «непаханое поле». Савицкий очень умело руководил лабораторией. Он организовал 3 научные группы с разными направлениями. У Веры Федоровны была группа резкоземельных металлов, у Вероники Владимировны — сверхпроводящие сплавы, у меня — группа тугоплавких и благородных металлов. Никакой конкуренции между группами не было. Савицкий удачно подбирал в эти группы молодых специалистов. Его острый взгляд сумел выбрать талантливых, инициативных, пытливых молодых ребят, наш маленький коллектив постепенно расширялся и достиг почти 70 человек. Это был коллектив настоящих энтузиастов.

Мы начали разрабатывать новые сплавы, которые могли бы удовлетворить возросшие требования различных отраслей техники — космической, авиационной, электронной, приборостроения и др.

Не щадя времени и сил, вся лаборатория пыталась узнать новое и получить практический результат своих работ непосредственно на объектах новой техники. Нам казалось, что наш труд — это большой и очень нужный вклад в оборону страны. Такая трудовая атмосфера была создана Савицким.

Надо честно сказать, что характер у Е.М. был нелегким. Нам здорово доставалось, когда нас вызывали к нему «на ковер»... Он упрекал нас в недостаточном знании материала, в низком темпе работы и в других прегрешениях. Но это не мешало дружной, напряженной работе.

Мы научились строить диаграммы рекристаллизации, диаграммы состояния и диаграммы состав-свойство. Это было необходимым условием успешной разработки сплавов с требуемыми свойствами. Все работы велись в тесном содружестве с металлургическими заводами и с предприятиями новой техники.

Хочу вспомнить один эпизод, связанный с редким металлом рений, которому был посвящен большой отрезок нашей жизни. Савицкий вызвал меня в кабинет и, спросив, знаю ли я такой металл — рений — предложил мне найти его клетку в таблице Менделеева. После чего сказал:

«Хотите ли Вы, Мария Ароновна, заняться этим неизвестным металлом, сделать из этого «говна» конфетку и стать королевой рения?» Я согласилась. Нами было построено много диаграмм состояния и удалось разработать новые композиции сплавов с совершенно уникальными свойствами. Работы получили широкую известность. Мы очень гордились тем, что нашими работами заинтересовались первооткрыватели этого металла. Как известно, рений был открыт в 1925 г. немецкими учеными Вальтером Ноддаком и Идой Такке. Они приехали в Москву в 1960 г., и мы их принимали в лаборатории. Есть фотография Е.М. с этими легендарными учеными. Они были потрясены результатами наших исследований. Эти работы докладывались неоднократно у нас и за рубежом. Когда отмечалось в 1975 г. 50-летие открытия рения, Савицким был сделан доклад на заседании Президиума Академии наук.

Впоследствии я защитила эту работу как докторскую диссертацию. Вообще все руководители групп стали докторами наук. Савицкий создал в лаборатории, если можно так выразиться, единый трудовой порыв. Все старшие и младшие дружно стремились не только к вершинам теоретической науки, но и к практическому, полезному приложению своего труда. В цехах металлургических заводов мы отработывали оптимальные технологические процессы производства полуфабрикатов из наших сплавов. А с заводами-потребителями отработывались оптимальные условия изготовления работающих деталей и конструкций.

За эти работы Савицкий получил несколько правительственных наград – ордена и медали, - а в 1968 г., с группой сотрудников, – звание лауреата Госпремии СССР. Почти все молодые специалисты успешно защитили кандидатские диссертации, после чего некоторые из них перешли в другие организации.

Тем, кто оставался в лаборатории, Савицкий выделял самостоятельное направление. Так, Кира Поварова стала руководителем группы, разрабатывающей вольфрамовые сплавы, Гена Бурханов получил группу, осваивающую производство монокристаллов, Вика Полякова стала руководителем группы благородных металлов.

Савицким с сотрудниками написано несколько монографий, большое количество статей, получены многочисленные авторские свидетельства на сплавы и технологии.

Мы или организовывали, или принимали участие в многочисленных конференциях и симпозиумах. Нас всех связывала не только работа, но и теплые дружеские отношения. На праздники мы собирались у кого-нибудь дома, а после каждой защиты тоже весело пировали.

Светлая память Евгению Михайловичу Савицкому — выдающемуся ученому!

М.В. Приданцев, Н.П. Лякишев

О Михаиле Васильевиче Приданцеве я мог бы говорить многие часы. Именно его я считаю своим настоящим учителем. Это был человек энциклопедических знаний о сталях и других сплавах.

Наши отношения можно чётко разделить на три периода: первый, когда Михаил Васильевич работал директором Института качественных сталей ЦНИИЧМ, второй – когда он был директором ИМЕТ, и третий – когда он вернулся на работу в ЦНИИЧМ.

Впервые я приехал к нему после того, как решил позвонить по телефону. Я был аспирантом второго года обучения и работал над теплоустойчивыми сталями, легированными пятью процентами хрома, а одной из работ Михаила Васильевича, которую он проводил вместе с Ксенией Алексеевной Ланской, была разработка теплоустойчивых сталей, содержащих два с четвертью процента хрома. Ответом на мой звонок было приглашение приехать к нему в ЦНИИЧМ, которым я и воспользовался. Михаил Васильевич приветливо меня принял и подробно рассказал о том, почему он не стал повышать содержание хрома в рассматриваемых сталях. Тогда я впервые услышал любимое его выражение: «Мы это уже пробовали исследовать в Электростали». Он многое мне прояснил о карбидных превращениях, происходящих при длительных тепловых выдержках в хромистых сталях, а закончил беседу предложением не стесняться и приходить к нему, если будет необходимость посоветоваться. Этим я пользовался уже после защиты кандидатской диссертации. После выступлений на Учёном совете в качестве оппонента я обязательно к нему заходил и всегда уходил от него, получив много нового, особенно о том, как работать с заводами по внедрению разработок. Мы обсуждали с ним проблему использования алюминия в аустенитных сталях с высоким содержанием марганца. Эти беседы помогли мне сильно продвинуть исследования.

В непростое для ИМЕТ время, когда после реформ Н.С. Хрущёва, Институт наш был выведен из состава Академии наук СССР и попал в ведение Госэкономсовета, а металлургию перестали считать фундаментальной наукой, Михаил Васильевич возглавил ИМЕТ. Много времени ему приходилось тратить в «высоких» инстанциях, доказывая, что металлургия – это не ремесло, а наука и что сталь и другие конструкционные сплавы нельзя заменить ситаллами и другими неметаллическими материалами. В это время как никогда ярко проявилось его лицо, как борца с невежеством людей, предпочитавших объективным истинам одобрение начальства. Развитию исследований фундаментального характера в ИМЕТ он уделял много внимания. При его активной поддержке успешно выполнялись работы по построению диаграмм состояния. На Учёном совете регулярно обсуждались наиболее важные результаты исследований. Отличительной чертой Михаила Васильевича было глубокое понимание проблем не только металловедения, но и металлургии.

В ИМЕТ назревало время смены поколений, и Михаил Васильевич смело выдвигал молодых учёных на руководящую научно-организационную работу. Я был одним из тех, кому он доверил руководство ведущими научными подразделениями. Так «в возрасте Христа» — 33 года — я был избран заведующим одной из крупнейших лабораторий Института, которой до меня руководили Н.Т. Гудцов, И.А. Одинг, Д.А. Прокошкин. Конечно, было трудно, так как все старшие научные сотрудники работали с Н.Т. Гудцовым ещё задолго до того, как я поступил в аспирантуру, и иметь начальником юнца не привыкли. В этой ситуации мне необходимую помощь оказал Михаил Васильевич, с которым мы встречались и беседовали практически ежедневно.

Он был скромным, добрым, мудрым и принципиальным наставником. Но, к сожалению, первое качество не всегда приносило ему пользу. Я, да и большинство сотрудников ИМЕТ, очень сожалели, что Михаил Васильевич отказался участвовать в выборах членов АН СССР. Он объяснил это тем, что в ИМЕТ есть люди, долгое время работающие в Академии и заслуживающие быть избранными (он имел в виду И.И. Корнилова, Е.М. Савицкого и О.С. Иванова). Избрали Е.М. Савицкого, конечно, достойного кандидата. А Михаил Васильевич, больше всех сделавший для того, чтобы ИМЕТ вновь вошёл в число академических институтов, вскоре вернулся на работу в ЦНИИЧМ.

В последний период я встречался с ним не часто, но, бывая в ЦНИИЧМ, всегда заходил к нему. Он не переставал интересоваться тем, как идут дела в ИМЕТ, да и моей работой.

Дирекции ИМЕТ и ЦНИИЧМ обычно знакомили друг друга с годовыми планами институтов. Однажды я, будучи заместителем директора ИМЕТ, привёз наш план заместителю директора ЦНИИЧМ. АИ. Осипову. В его кабинете вместе с ним находился Н.П. Лякишев, с которым мы не были связаны по работе, но встречались иногда у брата моей жены А.Г. Михалевича. Алексей Иванович представил мне Николая Павловича, как будущего директора ЦНИИЧМ. В этот день мне пришлось «попотеть», так как Николай Павлович не просто просматривал наш план, а задавал вопросы по большинству разделов плана и делал существенные замечания по некоторым из тем не только чисто металлургического, но и металлургического характера. Большинство из сделанных им замечаний я не мог не принять и, вернувшись в ИМЕТ, доложил о них нашему директору Н.В. Агееву. Пришлось кое-что в нашем плане корректировать.

С Николаем Павловичем мы довольно часто встречались не только в ЦНИИЧМ, но и в ГКНТ, работая в различных комиссиях и советах. Я очень его уважал за принципиальность, прямоту высказываний, иногда граничащую с резкостью, глубокое проникновение в проблемы металлургии страны. Как-то я попал в комиссию ГКНТ по проверке работы институтов МЧМ. Мне достался ЦНИИЧМ. Заседали мы в кабинете Сергея Павловича Антонова. Тут уж я решил «отомстить» Николаю Павловичу и

высказал целый ряд замечаний по работе ЦНИИЧМ. Ряд из этих замечаний Николай Павлович умело отвёл, но со многими сразу согласился. Тут я убедился, что он может не только критиковать других, но и объективно принимать критику в свой адрес. Я подумал: вот бы нам такого директора.

В истории ИМЕТ бывали сложные, даже кризисные периоды, и тогда нам на помощь приходил ЦНИИЧМ. Не хочу вспоминать о времени, тяжёлом для ИМЕТ, а особенно для меня и некоторых ведущих сотрудников. Оно закончилось, когда Николая Павловича назначили директором ИМЕТ. Почти семнадцать лет мы работали под руководством Николая Павловича. Это были годы, когда наука переживала явную недооценку, и многие научные учреждения просто погибали. Усилиями Николая Павловича удалось не только сохранить ИМЕТ, но и укрепить его авторитет, как в России, так и за её рубежами. С годами усиливался интерес Николая Павловича к материаловедческим задачам. Он добился приведения в полное соответствие названия ИМЕТ с сущностью его исследований: «Институт металлургии и материаловедения».

Работая в ИМЕТ, Николай Павлович всегда помнил ЦНИИЧМ и часто, говоря о состоянии тех или иных работ, добавлял «а у нас в ЦНИИЧМ». Бюст его, установленный в ЦНИИЧМ, является заслуженным признанием его заслуг как выдающегося учёного металлурга и материаловеда. Конечно, его заслуги в деле укрепления и развития ИМЕТ были не меньше.

Мы с ним часто бывали в загранкомандировках. Во встречах с видными зарубежными металлургами и металловедами Николай Павлович всегда стремился досконально разобраться в их научных достижениях. Тут на меня выпадала большая работа: быть активным самому и, заодно, работать переводчиком. Его большими и, несомненно, плодотворными делами была организация наших контактов с ведущими научными центрами в области металлургии и материаловедения. Достаточно вспомнить действовавший в течение многих лет российско-немецкий семинар, в работе которого участвовали Институт Исследования металлов общества Макса Планка в Штутгарте и ИМЕТ. Не прерывалась связь ИМЕТ с Институтом исследования железа общества Макса Планка в Дюссельдорфе. Систематические контакты существовали между ИМЕТ и японскими и корейскими Институтами. Не буду задерживать внимание читателей на нашем участии в подготовке многотомного издания сборника тройных диаграмм состояния. Об этом, наверное, будет сказано другими авторами.

Николай Павлович был строгим, но справедливым директором. Нельзя не вспомнить, как он останавливал докладывавших ему о результатах работ заведующих лабораториями или руководителей тем, когда в их речи проскальзывали неточные с научной точки зрения выражения. Он строго замечал: «Остановись. Поставлю двойку».

Непростыми были для него последние годы, когда он по возрасту должен был оставить пост директора и стал научным руководителем ИМЕТ. И мне в эти годы было не просто. Молодой директор – мой первый ученик и друг, Юлий Константинович Ковнеристый, и пожилой научный руководитель Николай Павлович, мой старый друг, нередко не сходились во мнениях по научным и организационным вопросам. Тогда мне приходилось выполнять роль своего рода «демпфера» между ними. Выручало то, что оба были людьми, преданными науке, и всегда находили наиболее продуктивные решения спорных вопросов. Мы втроём часто собирались в кабинете Николая Павловича и до позднего вечера дружно беседовали, обсуждая самые разные вопросы.

Академик О.А. Банных

Ю.К. Ковнеристый. Начало пути



Писать о Юлии Константиновиче Ковнеристом можно много и, как это бывает не часто, я могу о нём писать только хорошие, добрые слова. Он был моим самым талантливым учеником, с которым мы без труда находили общность в понимании сущности нашей работы и просто в отношении к повседневным жизненным проблемам. Мы познакомились с ним, когда он был студентом последнего курса в МВТУ им. Баумана.

Мне очень понравилось, как он хорошо совмещал большую работу в комсомольской организации МВТУ с серьёзным отношением к учёбе, а точнее к выполнению дипломной работы, тесно связанной с проводимыми в моей группе исследованиями по влиянию алюминия на хромистые теплостойкие стали. Заведовал седьмой лабораторией ИМЕТ им. А.А. Байкова в то время Дмитрий Антонович Прокошкин, который и привёл Ю.К. в ИМЕТ. Можно сказать, что научные интересы заведующего нашей лабораторией были несколько в стороне от научного направления, которое я развивал при большой организационной помощи Ивана Феофановича Зудина. Дипломная работа Ю.К. послужила поводом к написанию небольшой монографии «Теплоустойчивые стали с алюминием», изданной в 1965 году, авторами которой были я, Ю.К. и И.Ф. Тогда Юлий Константинович ещё не был сотрудником ИМЕТ. Работая над этой книгой, мы с Ю.К. много времени провели в научных библиотеках. Это лишний раз утвердило моё мнение, что седьмая лаборатория ИМЕТ должна

иметь такого неординарного сотрудника, каким показал себя Ю.К. В начале 1966 года Ю.К., наконец, был зачислен в ИМЕТ. В это время он уже защитил кандидатскую диссертацию. В ИМЕТ мы с ним много работали по экономичным жаростойким сталям, немагнитным сталям повышенной прочности. За три года нами было опубликовано более 20 научных статей, а в 1969 году Издательством «Наука» опубликована наша монография «Стали для работы при низких температурах». Эта книга содержала результаты металлургических исследований, выполненных в СССР и за рубежом, которые представляли несомненный интерес для получения, хранения и транспортировки сжиженного природного газа и других задач, актуальных для криогенного машиностроения.

В это же время Юлий Константинович начал самостоятельные исследования по созданию материалов, поглощающих СВЧ колебания. Я всемерно поддерживал эти его работы. Докторскую диссертацию Ю.К. защитил в 38 лет, оказавшись самым молодым доктором в институте (несколько лет таким был я, защитивший диссертацию в 39 лет!). Для меня его защита была радостным событием. Мне было ясно, что Юлий Константинович вырос в настоящего большого учёного. Нужно было помочь ему в обретении полной самостоятельности. Такая возможность появилась после кончины И.И. Корнилова. В 1978 году Учёный совет ИМЕТ избрал Ю.К. заведующим лабораторией №8. Его работа там — это особая история.

О.А. Банных

Константин Александрович СОЛНЦЕВ

Академик РАН, профессор, доктор химических наук Константин Александрович СОЛНЦЕВ – выдающийся учёный в области неорганической химии, физикохимии и технологии керамических материалов, организатор науки, автор более 200 научных публикаций, в том числе 2-х монографий. Приоритет его разработок защищен более 30 патентами на изобретения, в том числе международными. Лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники. Лауреат премии Российской академии наук и Национальной академии наук Белоруссии в области технических наук за выдающиеся научные результаты, полученные в ходе совместных белорусско-российских исследований. Кавалер ордена "За заслуги перед Отечеством" IV степени. Иностранный член Академии инженерных наук Китая.

Значительный период научной деятельности Константина Александровича проходил в Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН. Под его руководством в ИОНХ РАН выполнен цикл комплексных исследований полиэдрических гидридных соединений бора. Это позволило не только сформулировать новые представления о пространственной ароматичности в неорганической химии, но и получить более двухсот новых соединений, часть которых в результате применения предложенной концепции малости структурных перестроек использована для получения ряда высших боридов металлов, кристаллического бора, а также карбида, карбонитрида, субнитрида и нитрида бора, и боруглеродного волокна.

Результаты этих работ обобщены в монографии "Развитие концепции ароматичности. Полиэдрические структуры" (М., 2009). За цикл работ "Химия карборанов и полиэдрических боранов" К.А. Солнцева в 1996 г. присуждена Государственная премия Российской Федерации в области науки и техники.

Солнцевым К.А. сформулировано и разработано новое научное направление – «окислительное конструирование тонкостенной керамики», в рамках которого выявлены фундаментальные аспекты кинетики и механизмов формирования керамических пространственных структур и решен ряд прикладных задач, в том числе созданы основы технологии современных технических керамических изделий – нагревателей и нитей накаливания, газовых фильтров с рабочей температурой до 1200-1400°

Для керамических сотовых блоков на базе созданных золь-гель- и суспензионной технологий разработан процесс формирования покрытий γ -оксида алюминия с высокой удельной поверхностью и организовано опытное производство каталитических конвертеров для автомобильного транспорта. Созданы керамические и металлокерамические сотовые элементы на основе оксидов металлов и изготовлены керамические изделия дожигатели и рекуператоры тепла в энергоресурсоэффективных эколого-

гически безопасных установках термической переработки техногенных и бытовых отходов. На базе предложенных инновационных разработок создана и успешно функционирует высокопроизводительная установка с малым радиусом санитарной зоны.

Константином Александровичем внесен значительный вклад в развитие представлений о механизме высокотемпературного окисления металлов. Установлено, что процесс окисления определяется не только поверхностью, его кинетика существенно зависит и от объема металла. При этом ключевой составляющей процесса служит транспорт металла из объема в реакционную область. Показано, что кинетика окисления включает два этапа, аппроксимирующихся экспоненциальной и линейной зависимостями. Предложена модель для феноменологического описания экспоненциальной стадии процесса окисления.

В рамках подхода окислительного конструирования впервые реализован одностадийный технологический процесс полной нитридации с получением керамических изделий сложной формы из металлов подгруппы титана и подгруппы ванадия. На основе соединений переходных металлов с азотом получены керамические нитридные композиты состава: твердый раствор металла (ядро) – нитрид металла (оболочка); металл – твердый раствор – нитрид при температурах ниже и выше температуры перитектики, доступные ранее исключительно в виде дисперсных порошков или тонких пленок. Изучены физико-химические и механические свойства созданных материалов.

На примере полученного монокристалла нитрида циркония показана возможность синтеза массивных монокристаллических нитридов металлов без использования затравочного монокристалла.

К.А. Солнцевым впервые предложен способ модификации поверхности компактной рутильной керамики фотокаталитически активными фазами анатаза и брукита посредством двухстадийной гидротермальной обработки применительно к созданным сотовым и волокнистым керамическим монолитам. Гидротермальной обработкой поверхности рутила получены фотокаталитически активные керамические изделия. Для волокнистых рутильных блоков фотокаталитическая активность достигает 78%, в то время как соответствующие показатели для лучших коммерческих доступных образцов не превышают 50%, что является хорошей основой для коммерциализации изделий.

Выполнены приоритетные разработки в области прозрачной керамики на основе оксида иттрия и смешанных соединений для активных элементов лазеров и керамики из метастабильных форм оксида алюминия, предназначенной для изготовления элементов твердых электролитов.

По результатам комплексных исследований, проведенных в области создания конструкционных наноструктурированных материалов и покрытий — интенсивная физико-химическая поверхностная обработка, лазерное и ионно-лучевое формирование покрытий, применение технологии

порошковой металлургии, издана монография «Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий» (Минск, 2011). За цикл работ «Наноструктурные порошковые конструкционные материалы и покрытия: проектирование, синтез, обработка и применение» К.А. Солнцеву в 2012 г. присуждена премия Российской академии наук и Национальной академии наук Белоруссии в области технических наук за выдающиеся научные результаты, полученные в ходе совместных белорусско-российских исследований.

В настоящее время научные интересы академика РАН К.А. Солнцева сосредоточены на разработке технологии получения и исследования свойств керамических и композиционных материалов заданной формы с повышенными эксплуатационными характеристиками, в том числе с температурами плавления выше трех тысяч градусов. Взаимодействием металлов подгруппы титана и подгруппы ванадия с газовыми смесями планируется синтезировать ранее недоступные монокристаллические оксидные, нитридные, карбидные и смешанные (карбонитридные, оксонитридные, карбооксонитридные и т.п.) керамические материалы.

В 2010 г. академик РАН К.А. Солнцев награждён орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени.

В 2017 г. академик РАН К.А. Солнцев избран иностранным членом Академии инженерных наук Китая.

Плодотворную научную работу К.А. Солнцев сочетает с научно-организационной деятельностью. С 1998 г. Константин Александрович возглавлял Институт физико-химических проблем керамических материалов РАН, а затем с 2007 года после объединения с Институтом металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН до 2018 года был директором ИМЕТ РАН, с 2018 г. является научным руководителем ИМЕТ РАН. С 2000 г. по 2016 г. К.А. Солнцев занимал должность заместителя Президента РАН – управляющего делами РАН. В настоящее время исполняет обязанности заместителя академика-секретаря Отделения химии и наук о материалах РАН, возглавляет Научный совет по конструкционным материалам РАН, является членом Бюро Научного совета РАН по материалам и наноматериалам. К.А. Солнцев — декан Факультета наук о материалах Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, председатель Ученого совета ИМЕТ РАН, председатель диссертационного совета ИМЕТ РАН Д002.060.04 и диссертационного совета МГУ.02.09, главный редактор ведущих научных журналов в области химии и наук о материалах – «Неорганические материалы», «Перспективные материалы», «Материаловедение», член редакционных коллегий ряда научных журналов. Активно занимается подготовкой научных кадров высшей квалификации: под его руководством защищено 14 диссертаций на соискание учёной степени кандидат наук. Константин Александрович осуществляет эффективную кадровую политику привлечения молодых учёных в научный и образовательный процессы.

Владимир Сергеевич Комлев

Член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук Владимир Сергеевич Комлев – один из ведущих ученых в области неорганической химии, физикохимии и технологии керамических материалов медицинского назначения. Результатом многолетней научно-исследовательской работы Комлева В.С. стали более чем 300 публикаций в российских и зарубежных изданиях, среди которых три монографии и 30 патентов на изобретения. За выдающиеся заслуги Владимир Сергеевич был удостоен звания Лауреата премии Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых ученых в 2011 году.

Свою научно-исследовательскую деятельность Владимир Сергеевич начал еще в студенческие годы, на физико-химическом факультете Московского института стали и сплавов (МИСиС). После окончания института он продолжил свое обучение в аспирантуре Института физико-химических проблем керамических материалов ИПК РАН. В 2001 году досрочно защитил кандидатскую диссертацию, а уже в 2011 г. успешно защитил докторскую диссертацию на тему: «Формирование микроструктуры и свойства кальцийфосфатной керамики для инженерии костной ткани», тем самым став самым молодым доктором наук по своему направлению.

Основная сфера деятельности В.С. Комлева – создание биоматериалов для хирургии и регенеративной медицины. Им проведены комплексные междисциплинарные исследования взаимосвязи физико-химических свойств разработанных материалов с их биологическим поведением, включающие весь инновационный цикл вплоть до создания технологии и организации производства. Так, Владимиром Сергеевичем создано малое инновационное предприятие «БиоНова» и организовано опытное производство изделий медицинского назначения на базе ИМЕТ РАН. Многие из разработанных биоматериалов не имеют отечественных аналогов, а их себестоимость в 2-5 раз ниже зарубежных вариантов, в связи с чем они были внедрены в опытное производство. В настоящее время они используются в амбулаторной и клинической практике в челюстно-лицевой хирургии и при лечении злокачественных образований.

В.С. Комлевым внесен значительный вклад в развитие представлений о создании материалов на основе фосфатов кальция медицинского назначения, в частности, для травматологии, стоматологии и онкологии. Выполнены приоритетные разработки в области керамики на основе фосфатов кальция и композиционных соединений керамических и полимерных материалов. В рамках комплексных исследований им были разработаны принципы формирования архитектуры, микро- и наноструктуры пористых керамических и композиционных материалов, обеспечивающих высокие механические свойства в сочетании с клинической эффективностью при хирургических вмешательствах, изучены методы

повышения прочности пористой биокерамики, в частности, посредством инфильтрации биосовместимых полимеров в керамические каркасы, созданы биосовместимые резорбируемые гибридные композиты на основе биополимеров и фосфатов кальция.

В ходе научной деятельности Владимиром Сергеевичем Комлевым был впервые предложен и реализован метод аттестации биоматериалов с использованием микротомографии и компьютерного моделирования, позволяющие предсказывать структурные свойства материалов при их имплантации в организм человека.. В настоящее время научная деятельность В.С. Комлева направлена на разработку персонализированных ген-активированных имплантатов для костной пластики и создания основы аддитивного производства минерал-полимерных матриц для тканеинженерных конструкций.

Также Владимир Сергеевич активно работает по продвижению и популяризации науки, проводя практические занятия и лекции и участвуя в различных телепередачах. Он выступал в передаче М.В. Ковальчука «Истории из будущего», принимает участие в открытых лекциях для школьников и студентов, например, об аддитивных технологиях в тканевой инженерии.

Успешную научную работу В.С. Комлев сочетает со значительной научно-организационной деятельностью. С 2018 года Владимир Сергеевич занимает должность директора Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. В.С. Комлев входит в состав Координационного совета по делам молодежи в научной и образовательной сферах в Совете при Президенте Российской Федерации по науке и образованию, является членом ученого совета ИМЕТ РАН, членом редколлегии ведущих научных журналов в области химии и наук о материалах – "Неорганические материалы", "Перспективные материалы", "Материаловедение" и ряда зарубежных научных журналов, сотрудничает с университетами Италии, Франции, Австрии и другими зарубежными организациями. Владимир Сергеевич активно занимается подготовкой научных кадров высшей квалификации: под его руководством молодые сотрудники ИМЕТ РАН защищают диссертации на соискание учёной степени кандидатов наук, готовится к защите диссертация на соискание учёной степени доктора наук. Владимир Сергеевич осуществляет эффективную кадровую политику, направленную на привлечение молодых учёных в научный и образовательный процессы.