



## В. П. ИЖЕВСКИЙ — У ИСТОКОВ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИИ

А. М. Жадкевич

Описана жизнь и деятельность основателя кафедры металлургии Киевского политехнического института профессора В. П. Ижевского. В начале XX в. он разработал оригинальную конструкцию электроплавильной печи барабанного типа, дал теорию расчета доменной шихты, исследовал причины и предложил меры по устранению зависания шихты. В металлургии до настоящего времени применяются реактивы Ижевского. В 1920-х годах ученый работал также над конструкцией газогенератора. Особым вкладом В. П. Ижевского в электрометаллургию следует считать принцип использования тепла, выделяющегося при прохождении тока через расплавленный шлак, для плавления металла.

The article describes the life and activity of Prof. V. P. Izhevsky, the founder of Metallurgy Chair at the Kiev Polytechnical Institute. At the beginning of the XX century he developed the unique design of electric melting furnace of a drum type, created a theory of calculation of blast furnace charge and studied the causes and suggested the measures for charge hanging prevention. Reagents of Izhevsky are still used in metals science. In the 1920s the scientist was working also on the design of a gas generator. A principle of use of the heat generating by current passing through the molten slag for metal melting can be considered as the most important contribution made by V. P. Izhevsky to the electric metallurgy.

**Ключевые слова:** электрометаллургия; доменное производство; металлография; газогенератор; история техники; научная школа



Василий Петрович Ижевский родился 3 (15) июня 1863 г. в семье чиновника в г. Рязани [1]. В 1881 г. он поступил в Московский университет на естественное отделение физико-математического факультета, где увлекся химией. По окончании университета В. П. Ижевского оставляют ассистентом на кафедре химии, однако вскоре ему приходится покинуть государственную службу, так как он находился

под надзором полиции за участие в студенческих волнениях. В университет Василий Петрович возвращается только через пять лет — в 1892 г. он поступает лаборантом на кафедру фармакологии, руководит практическими занятиями по качественному и количественному химическому анализу. Такую же работу он выполняет и в сельскохозяйственном институте, куда перешел в 1895 г. Здесь под руководством профессора, химика-органика М. И. Коновалова начинается его научная деятельность. Ижевский разрабатывает точные методы анализа, в частности мышьяка в крови, способы получения ряда органических веществ.

Одновременно с написанием научных статей и докладов он активно участвует в работе обществ по распространению знаний: Комитета грамотности, Комиссии по домашнему чтению и др. Очерк о составе, свойствах и значении воды является образцом популярного изложения отдельных разделов науки [2].

В 1899 г., вскоре после открытия Киевского политехнического института, преподавать химию туда был приглашен Коновалов. В. П. Ижевскому, приехавшему с руководителем, предлагают вести занятия по металлургии.

Для специалиста-химика такое предложение было почти естественным. (Так, Д. И. Менделеев, интересовавшийся делами института, называл металлургию «химией высоких температур».) Впоследствии выдающийся советский металлург, ученик Ижевского академик И. П. Бардин напишет, что «серьезная научная подготовка Ижевского была его главной силой. Он пришел в металлургию с хорошими знаниями химии и физики... С первых шагов своей профессорской деятельности В. П. Ижевский

\* О месте рождения В. П. Ижевского имеются разноречивые данные: в Большой советской энциклопедии, 3-е изд., 1972 г., в Украинській радянській енциклопедії, 1980 р. и ряде некрологов указана Рязань; в статье [1] Е. П. Шевченко, ссылаясь на записку самого Ижевского, указывает Казань.



все силы и знания отдавал прежде всего российской металлургии. Поскольку ему предстояло заняться подготовкой инженеров для руководящей работы на заводах, помимо лабораторной практики, он усиленно занялся изучением работы доменных и мартеновских печей, конвертеров непосредственно на металлургических заводах» [3].

В течение двух лет, с осени 1900 г., Василий Петрович находился в научной командировке на отечественных и иностранных (в Германии и Франции) заводах и вузах, где изучает металлургию и металлографию. Он не только овладел теорией и практикой производства металлов, но и начал выдвигать и реализовывать собственные идеи.

Его первые работы в качестве металлурга касались доменной плавки [4] и исследований микроструктур закаленной стали [5] и сразу же привлекли внимание коллег. Не прошло и двух лет, как В. П. Ижевский впервые в мире ввел в металлургию систему молекулярного расчета на конкретном примере (применительно к определению количества марганцевой руды в доменной плавке) [4]. Еще одна приоритетная работа относится к термообработке. Впервые в мировой практике В. П. Ижевский начал нагревать стали перед закалкой в расплавленных солях. При этом он внес вклад и в микрографический анализ структур закаленной стали. Для дифференциации перлита молодой ученый разработал раствор, вошедший в историю под названием «реактива Ижевского» [5]. Идея «электрической цементации» железа, разработанная Ижевским, заключалась в следующем: цементируемое изделие (чаще всего стержни) помещались в стеклянные или другие емкости, в которых «циркулировал с определенной скоростью поток светильного газа метана» и через само изделие пропускаться электрический ток малого напряжения (до 15 В) и большой силы (до 3000 А), нагревавший изделие до красного каления. Этот способ имел преимущества по сравнению с известным и дал положительные результаты при внедрении [6].

Возвратившись в Киев, Ижевский организует в Киевском политехническом институте кафедру металлургии, подготавливает курс лекций, внимательно следит за развитием науки о металле, за всеми новинками заводской практики. Его лекции всегда охотно посещались студентами. «Он никогда не ограничивался описанием только существующего состояния той или иной дисциплины, а всегда приподнимал завесу будущего, и не только ближайшего, но и рисовал весьма отдаленную перспективу», — вспоминал акад. И. П. Бардин [3]. Ижевский, как и многие его коллеги, стремился не только передать технические знания, но и воспитать чувство гордости за отечественную науку и ответственности за свою деятельность. Именно эти цели ставил он уже в своей первой лекции [7].

Гордостью кафедры и всего института была металлургическая лаборатория, оборудованная сталеплавильными печами различной конструкции и печами для термообработки, в том числе спроектированными самим В. П. Ижевским. Студенты получали знания, необходимые для успешной производственной деятельности. Для научных исследований в лаборатории имелись микроскопы и раз-

личные испытательные машины и приборы. В программу лабораторных занятий входило изготовление шлифов, изучение структур, определение механических свойств и химического состава металлов и т. п. Значительное внимание В. П. Ижевский уделял производственному обучению. В течение учебного года он проводил экскурсии на заводах Киева, на практику выезжал со студентами на Донбасс, Урал и другие регионы с высокоразвитой металлургической промышленностью.

Одновременно с преподавательской деятельностью В. П. Ижевский продолжал заниматься научной работой, в частности исследовал условия схода шихты в доменных печах. Здесь Ижевскому удалось решить серьезную проблему металлургического производства — объяснить причины зависания шихты при выплавке чугуна, что приводило к нарушениям процесса плавки и авариям. В 1905 г. эту работу он защитил в качестве диссертации на звание адъюнкта химической технологии и был утвержден в должности профессора металлургии [1].

Еще в 1901 г., изучая работы по плавке металлов в электрических печах, В. П. Ижевский заинтересовался вопросами электрометаллургии. Он составил классификацию печей в зависимости от принципа нагрева. Наиболее прогрессивными с точки зрения В. П. Ижевского были печи, в которых нагрев производился теплом тока, проходящего непосредственно через металл. Однако промышленную технологию в то время создать никому не удалось, потому что для плавления металла требовался ток большой силы. К бесперспективным направлениям развития электрометаллургии ученый отнес и технологии, основанные на использовании тепла, выделяющегося в шлаке, покрывающем металл.

16 января 1904 г. В. П. Ижевский выступил с докладом «Электрометаллургия стали и железа» на заседании Императорского русского технического общества. В выступлении он отметил, что принципиальная возможность электрической выплавки стали была доказана еще Депре в 1849 г., обнадеживающие результаты получены Сименсами в 1882 г., однако внимание к электрометаллургии недостаточно. В. П. Ижевский высказал предположение, что наиболее рациональным методом «является непосредственное применение электрического нагрева к жидкому чугуну, выходящему из доменных печей современного типа» [8].

В XIX в. электротехниками разных стран созданы и внедрены в эксплуатацию несколько видов промышленных электропечей сопротивления, использующих метод прямого нагрева, т. е. таких конструкций, в которых преобразование электрической энергии в тепловую происходит за счет прохождения тока через нагреваемый материал, исключенный в электрическую цепь [9]. Однако использование такого метода нагрева в промышленной практике возможно только в ограниченной области. Изучив печи Э. Стасанно, П. Эру и др., Ижевский увидел их недостатки и пришел к выводу, что большими техническими возможностями обладают печи косвенного нагрева, т. е. такие печи, в которых преобразование энергии в тепловую происходит в проводниках второго класса, например в кирпичных стенках.

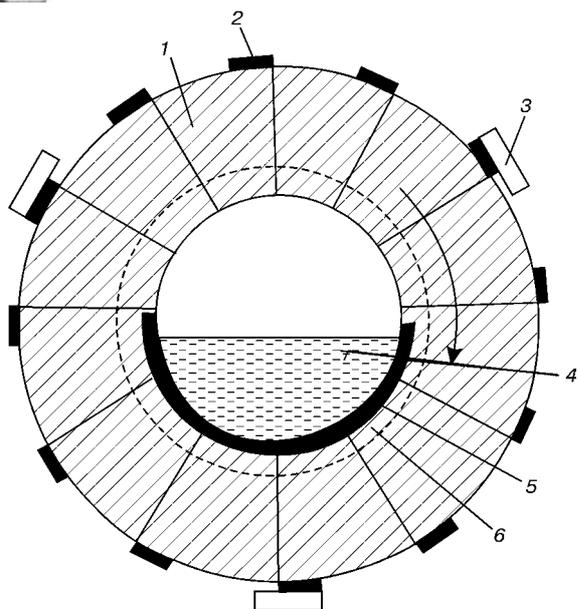


Схема электроплавильной печи В. П. Ижевского, построенной на Александровском заводе в Екатеринославе: 1 — кирпичи; 2 — электроды, верхние части которых являются коллекторами; 3 — электрические щетки, закрепленные неподвижно, тогда как печь вращается; 4 — жидкий металл, остающийся на дне; 5 — слой расплавленного шлака; 6 — участки раскаленной футеровки

Вместе с тем В. П. Ижевский видел и недостатки конкретных конструкций таких печей: необходимость нагрева всей массы стенок печи, трудности подвода тока к вращающейся печи из-за искрения щеток. Несколько лет ученый занимался устранением этих и других недостатков и разработал принципиально новую конструкцию. (Первое сообщение о конструкции печи было опубликовано в 1907 г.) [10].

Печь Ижевского была предназначена для плавки стали и цветных металлов. Она представляла собой выполненный из листовой стали горизонтальный барабан, вращающийся на катках, футерованный шамотными, магнезитовыми или диносовыми кирпичами. В радиальных пазах футеровки между кирпичами устанавливались электроды из листовой стали, к которым подводился электрический ток от коллектора с использованием скользящих контактов.

Во время работы печь вращалась и вся кирпичная кладка входила в соприкосновение с расплавленным металлом, отдавая ему свое тепло, что также предохраняло футеровку от перегрева. Печь была изготовлена в мастерских Киевского политехнического института и предназначалась для опытных плавки в лаборатории. Она могла работать на постоянном или переменном токе и на рабочем напряжении от 100 В и выше. В дальнейшем автор работал над усовершенствованием печи и получил патенты на свое изобретение в США (пат. 847003 от 12 марта 1907 г.) и Германии (пат. 187089 от 25 марта 1907 г.). Вторая печь В. П. Ижевского была установлена на заводе «Арсенал» в Киеве, а третья емкостью 100 кг — на Александровском заводе Брянского акционерного общества в Екатеринославе (ныне Днепропетровский завод им. Г. И. Петровского). Эти печи использовались в основном для плавки цветных металлов [10, 11].

Эксплуатация печи В. П. Ижевского оказалась сложной. Перед каждым ее пуском футеровку не-

обходимо было разогреть докрасна при помощи форсунки или газовой горелки. Другими ее недостатками были дугообразование на скользящем контакте и недостаточная стойкость железных электродов. Вскоре ученый устранил эти недостатки — избавился от искрения, увеличив число секций на коллекторе и соединив их с электродами поперечно, благодаря чему каждый электрод включался постепенно при меньшем напряжении, а регулировать процесс можно было включением различного количества щеток. Существенным преимуществом печи (рисунок) было то, что электрический ток проходил не в толще проводника (стенки), а вдоль тонкого слоя поверхности глазури и слоя шлака, покрывающего стенки [12, 13].

Следует отметить, что в работах, посвященных изучению вклада Ижевского в электрометаллургию (в том числе и содержащих подробный анализ особенностей конструкции печей [14, 15]), не усматривается связь между способом плавления металла в печи Ижевского и современной электрошлаковой технологией. Необходимо отметить, что в обеих технологиях в нагреве расплавленного металла участвует тепло, выделяющееся при прохождении тока через шлак.

Оригинальные идеи Ижевского легли в основу нового класса печей и в дальнейшем получили развитие за рубежом и в СССР. Так, в 1915 г. Х. В. Жилет (США) разработал дуговую плавильную печь косвенного нагрева с горизонтальным расположением электродов. Одно из важных конструктивных решений — вращение ванны — было заимствовано у В. П. Ижевского.

Существенные элементы изобретений Ижевского были использованы американскими фирмами «Детройт рокинг электрик фернес» в 1918 г. и примерно в то же время фирмой «Бутс» в барабанных печах для плавки медных сплавов и чугуна. Только за три года (к марту 1921 г.) в США таких печей было изготовлено 97 емкостью от 100 кг до нескольких тонн. В 1960 г. парк печей «Детройт» во всем мире насчитывал тысячи единиц [16]. В 1937 г. на заводе «Фискао» (Норвегия) была пущена первая ферросплавная печь также с вращением ванны; в 1957 г. фирмой «Элкем» (Швеция) — печь для рудовосстановительных процессов.

Значительный вклад в становление электрометаллургии в начале XX в. внесли российские ученые и изобретатели В. С. Миткевич, А. И. Дегтярев, А. Н. Лодыгин, С. С. Штейнберг, А. Ф. Грамолин и др. В 1917 г. состоялся пуск первого специализированного электросталеплавильного завода «Электросталь» в г. Богородске (ныне г. Электросталь). В Украине путь практическому применению электроэнергии для плавки металлов был открыт в 1919 г. с пуском в железнодорожных мастерских г. Екатеринослава сталеплавильной печи с вращающейся дугой, сконструированной Г. С. Евреиным и С. И. Тельновым.

В годы первых пятилеток в СССР были разработаны оригинальные дуговые и индукционные печи, налажено их массовое производство. В 1934 г. Советский Союз по производству высококачественной электростали занял первое место в Европе, а в 1937 г. вышел на первое место в мире, обогнав США.



В послереволюционные годы Ижевский активно включился в решение задач по восстановлению промышленности. Зная о трудностях в топливно-энергетической отрасли, он принимается за усовершенствование газогенераторов, разрабатывает «тепловик» — универсальный газогенератор для сухой перегонки твердого топлива (дров, торфа, угля, всевозможных отбросов). Этот газогенератор обеспечивал получение высококачественного металлургического угля, жидких продуктов (деготь, спирты, скипидар, ацетон, кислоты) и горючего газа (угарного), богатого водородом и метаном. В 1921 г. была впервые описана конструкция, а в 1924 г. проведен термодинамический расчет «тепловика Ижевского» [17, 18]. Новый газогенератор был испытан на киевском заводе «Большевик», причем все теоретические расчеты получили свое подтверждение, а эффективность работы нового генератора была выше эффективности работы известных зарубежных установок [19]. Коэффициент использования древесины в «тепловике» составил 80 %, а энергия полученных газов — 86 % тепловой энергии добытого древесного угля. Обслуживание газогенератора не требовало квалифицированных специалистов. В течение двух лет в печати велась дискуссия о возможностях и преимуществах применения изобретения В. П. Ижевского на уральских заводах, в Украине, в Карелии [20]. (Смерть помешала автору завершить эту работу.)

В 1931 г. профессор КПИ А. П. Соколов усовершенствовал конструкцию газогенератора Ижевского, испытание которого в лаборатории Киевского отделения научно-исследовательского института промышленности доказало перспективность его применения на металлургических, машиностроительных, лесохимических и других заводах [21]. В мировую теорию и практику производства генераторного газа устройство В. П. Ижевского вошло как пример удачной конструкции, в которой использован прямоточный процесс.

В 1995–1996 гг. в ИЭС им. Е. О. Патона был спроектирован газогенератор, вырабатывавший из отходов древесины газ для двигателей внутреннего сгорания. Генераторы успешно использовались для питания двигателей легковых автомобилей (как известно, обычно работающих на бензине) без их переделки и с незначительной переделкой двигателей, работающих на дизтопливе.

Последней работой Василия Петровича была статья о повышении качества стали и развитии в Советском Союзе бессемеровского производства. В статье подчеркивалось, что отечественные металлурги внесли существенный вклад в исследование процесса бессемерования и что мастером Днепропетровского завода (ныне завода им. Ф. Э. Дзержинского) И. С. Оховцем предложен эффективный способ получения дешевой стали.

Научные труды Ижевского положили начало нескольким направлениям развития технологий [22]. Подготовленные им специалисты высшей квалификации продолжили славу научной школы КПИ в электрометаллургии и решили множество технических и организационных проблем производства металлов.

В некрологах и воспоминаниях В. П. Ижевский характеризовался не только как крупный ученый, но и как большой патриот, чуткий, отзывчивый человек [3, 23–25].

Его научно-технические статьи нередко содержали исторические оценки вклада отечественных ученых (Д. К. Чернова и др.). Так, в сообщении на 5-м Всероссийском электротехническом съезде ученый из Киевского политехнического института отмечал, что «электросталь будет вполне способна вернуть России господство на мировом рынке, утерянное сто лет назад» [12].

В. П. Ижевский умер в 1926 г., когда в СССР только начиналась индустриализация. Однако его научные идеи и созданные им конструкции широко использовались в период реконструкции советской металлургии.

В заключение следует сказать, что кафедру металлургии в Киевском политехническом институте в 1903 г. организовал В. П. Ижевский. Он внес в развитие металлургической промышленности России заметный вклад: решил ряд проблем, возникающих при эксплуатации доменных печей, выступил за развитие в России бессемеровского способа производства стали. Научные труды В. П. Ижевского посвящены исследованию процессов, протекающих в доменных печах, им разработан метод расчета доменной шихты по молекулярному весу составляющих шихты; для металлографических исследований Ижевский составил реактивы, в том числе и для выявления перлита и карбидов.

Заметную роль в развитии электрометаллургии сыграли оригинальные конструкции электропечей Ижевского. В 1905 г. Ижевский предложил применять в качестве нагревателей проводники второго класса, предвосхитив идею нагрева и плавления металла теплом расплавленного шлака, нагреваемого проходящим током.

1. Шевченко Е. П. Василий Петрович Ижевский // Вестник машиностроения. — 1951. — № 11. — С. 82–83.
2. Ижевский В. П. Вода // Сборник в помощь самообразованию. Т. 1, вып. 3. — М., 1898. — С. 79–97; 2-е изд. Т. 2, вып. 3. — М., 1900. — С. 83–106.
3. Бардин И. П. Профессор Василий Петрович Ижевский // Труды по истории техники. — М.: Наука, 1954. — Вып. V. — С. 70–85.
4. Izhevsky W. P. Zur Verwendung von Braunstein im Hochofen // Stahl und Eisen. — 1902. — № 4. — S. 240.
5. Феценко-Чапковский И. А. Электрическая цементация железа и свойства полученного продукта // Журнал Русского металлургического общества. — 1913. — № 3. — Ч. 1. — С. 245–255.
6. Ижевский В. П. О социальном значении техники и о русской металлургии // Известия Киевского политехнического института. — Киев, 1903. — Кн. 1. Отдел физико-математический и химический. — С. 1–16.
7. Ижевский В. П. Электрометаллургия железа и стали // Сборник технических статей. Ежемесячное приложение Горнозаводского листка. — 1905. — № 10. — С. 537–605.
8. Корниенко А. Н. Возникновение и развитие электрометаллургии в XIX в. Ч. 1. Техника нагрева и оборудования // Проблемы спец. электрометаллургии. — 1996. — № 2. — С. 64–70.
9. Ижевский В. П. Новая электрическая печь для плавки стали // Технический вестник. — 1907. — № 10. — С. 235–239; № 11. — С. 259–264.
10. Ижевский В. П. Новая электрическая печь для плавки стали // Технический вестник. — 1908. — № 4. — С. 73–76.
11. Ижевский В. П. Электрическая печь — тигель для плавки стали и железа // Известия Южно-Русского общества технологов. — 1909. — № 2. — С. 19–25.
12. Ижевский В. П. Электрическая печь — проводник второго класса. Новый тип без коллектора: Труды пятого Всероссийского электротехнического съезда // Электричество. — 1909. — № 9. — С. 1–6.



13. Русс Э. Ф. Промышленные электрические печи. — Харьков-Киев : Гостехиздат, 1935. — 234 с.
14. Щербань А. Н., Щербань Т. А. Василий Петрович Ижевский. — Киев: Наук. думка, 1991. — 176 с.
15. В. П. Ижевський та металургійна школа КПІ // Матеріали наукових видань з циклу «Видатні конструктори України». — Київ: ПП «Екмо». — 84 с.
16. Ижевский В. П. Тепловик или реторта внутреннего горения // Журнал Киевского губернского экономического совещания. — 1921. — № 2. — С. 39–56.
17. Ижевский В. П. Обращенный газогенератор-тепловик и его значение для стран, удаленных от каменноугольных месторождений, в частности для правобережной Украины // Техника, экономика и право. — 1924. — № 4–5. — С. 57–61.
18. Левитский А. С. Сухая перегонка угля на заводе Форда и ее положительные и отрицательные стороны // Техника и производство. — 1926. — № 6. — С. 44–55.
19. Левитский А. С. «Тепловик» проф. Ижевского // Там же. — № 2. — С. 26–35.
20. Соколов А. Тепловик Ижевского завоевывает право на жизнь. Наша новая конструкция // Газета «Новая техника». Приложение к газете «За индустриализацию». — 1931. — 1.07. — № 36. — С. 3.
21. Профессор Ижевский В. П. // Металлург. — 1926. — № 4. — С. 5–6.
22. Ижевский В. П. К предстоящему расширению бессемеровского производства // Вестник металлопромышленности. — 1926. — № 7–8. — С. 24–31.
23. Феценко-Чатовский И. А. Василий Петрович Ижевский. Некролог // Журнал Русского металлургического общества. — 1926. — № 3. — Ч. 1. — С. XXI–XXVI.
24. Васильев В. С. Ижевський і його роль у розвитку вітчизняної металургії // Нариси з історії техніки. — 1956. — Вип. 3. — С. 49.
25. Ижевский В. П. Переоценка тепловых ценностей // Украинский химический журнал. — 1925. — № 1. — С. 29–39.

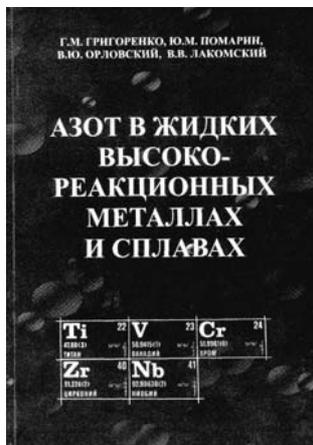
Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев  
Поступила 29.07.2003

## НОВАЯ КНИГА

**Г. М. Григоренко, Ю. М. Помарин,  
В. Ю. Орловский, В. В. Лакомский**

### **Азот в жидких высокорреакционных металлах и сплавах.**

Киев: НАН Украины. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона, 2003. — 156 с.



Книга подготовлена коллективом авторов Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. Эта работа является результатом многолетних исследований абсорбции азота жидкими высокорреакционными металлами и сплавами, которые были впервые обобщены и нашли свое отражение в представленной книге.

В ней рассмотрены общие физико-химические закономерности взаимодействия гетерогенных систем металл – жидкий металл, а также современные представления о реакциях, протекающих в поверхностном слое. На основании проведенного анализа существующих методик исследований данных систем было показано, что для исследования сорбции азота жидкими высокорреакционными металлами наиболее приемлемой является плавка во взвешенном состоянии.

Приведены результаты исследований взаимодействия азота газовой фазы с жидкими металлами: хромом, ванадием, ниобием, цирконием, титаном и сплавами железа с высокой концентрацией данных металлов в широком диапазоне парциальных давлений азота в области температур, характерных для процессов специальной электрометаллургии и сварки. На основании экспериментальных данных получены термодинамические и кинетические зависимости поглощения азота жидкими высокорреакционными металлами и сплавами. Определены

лимитирующая стадия процесса и константы скорости химико-адсорбционного процесса. По результатам исследований была выдвинута концепция механизма растворения азота в жидких высокорреакционных металлах.

Полученные значения термодинамических и кинетических величин могут быть использованы для определения параметров газового режима в процессах специальной электрометаллургии.

Данная монография представляет интерес для научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области специальной электрометаллургии и сварки, а также аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

По вопросам приобретения книги просьба обращаться в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины  
Тел.: (38044) 220-01-30, 261-52-44  
E-mail: leco@carrier.kiev.ua