

М.И. Баранов

**АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ.
ЧАСТЬ 16: ОТКРЫТИЯ И ИЗОБРЕТЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ**

Наведено короткий нарис з всесвітньої історії винаходу людством основних металургійних технологій кустарного та промислового виробництва різних металів і сплавів.

Приведен краткий очерк из всемирной истории изобретения человечеством основных металлургических технологий кустарного и промышленного производства различных металлов и сплавов.

ВВЕДЕНИЕ

Ни создание любого типа двигателя [1], ни тем более создание того или иного машинного транспортного средства [2] было бы невозможно без применения в их деталях различных металлов и сплавов. Поэтому поистине грандиозным событием в истории человечества стало появление металлургии – умения извлекать из различных руд металл или находить его в чистом виде, обрабатывать его далее соответствующим образом и практически пользоваться полученными от этого труда результатами. Человечество проделало долгий путь от кустарного производства металлов и сплавов к их промышленному выпуску. А начиналось все в истории металлургии (это понятие согласно [3] происходит от греческого слова "ergon" – "работа", обозначающего область науки и техники, охватывающую процессы получения металлов из руд и металлических сплавов) с того, что еще в 9-ом тысячелетии до н.э. люди начали применять металлы в своей хозяйственной деятельности [4]. Переход от каменных орудий труда, охоты и военных завоеваний к орудиям и оружию из металла имел революционное значение в истории человечества. Он вызвал коренные изменения в укладе жизни человека, затронул все основные сферы его жизнедеятельности, поменял, наконец, само наше общество. Именно этот переход привел не только к значительным техническим, но и общественно-политическим сдвигам в государственном устройстве сообщества людей. Рассмотрим ниже на основе известных научно-исторических данных краткие истории получения в мире многими поколениями землян-металлургов основных металлов и сплавов.

1. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕДИ

В истории техники считается, что первым металлом, получившим у землян широкое распространение, была *медь* [4]. Вначале ее получали посредством холодной обработки и примитивнойковки на наковальне из природной горной породы (куприта), содержащей в большом процентном отношении этот относительно мягкий и ковкий металл [4]. Затем в 30-ом веке до н.э. люди открыли для себя новое физическое свойство самородной меди (рис. 1) – после ее сильного нагревания на огне она размягчалась, плавилась (по современным металлургическим данным температура плавления меди равна около 1083 °С [5]) и, застывая, в каменной чаше того или иного геометрического построения и рисунка приобретала необходимую для горного мастера форму. Древние мастера это новое свойство меди использовали для изготовления как украшений, так и орудий труда и холодного оружия.

Спрос на медные изделия в то далекое от нас время быстро возрастал во всех мировых центрах земной цивилизации. Принято считать, что именно благодаря этому в мире зародилась такая техническая отрасль как металлургия. Производство меди издревле представляло собой трудоемкий многоступенчатый процесс, в котором широко распространены

в природе медные сернистые руды после печного обжига частично переводились в окиси. Далее обожженную медную руду плавил в шахтных печах с добавлением в шихту, начиная с 19-го века, кокса (немецкая технология) или в отражательных печах (английская технология). В результате получался *штейн* – металлургический продукт, содержащий от 25 до 45 % меди в виде сульфидов [6]. Дальнейшей переработкой штейна в пламенных печах получали черновую медь. В 1866 году российский металлург, управляющий Богословскими заводами на Урале В.А. Семенников впервые осуществил бессемерование (об этой английской технологии получения металлов более подробно будет изложено ниже в разделе 5) медного штейна для передела его в черновую медь [6]. В этом случае с целью дальнейшего передела полученный в шахтных печах медный штейн поступал в бессемеровский конвертер круглой формы. Через трубчатые фурмы этого конвертера под давлением через медный штейн пропускали воздух, что позволяло более чем в пять раз ускорить процесс передела штейна в черновую медь с ее содержанием в расплаве до 75 %. Отечественными последователями В.А. Семенникова – российскими металлургами А.А. Иоссои и Н.В. Лалетиним эта технология по производству меди определенным образом была усовершенствована. Это позволило к концу 19-го столетия в производственных условиях получать медь с содержанием до 99 % основного металла [6].

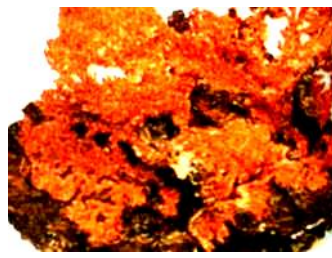


Рис. 1. Образец природного медного самородка [4]

В конце 19-го века в металлургические процессы активно вошло *электричество* и основанная на нем гальванотехника, о которой более предметно будет указано ниже в разделе 8. Напрямую это затронуло и рафинирование меди, спрос на которую быстро возрастал в связи с активным развитием в мире электротехнической промышленности. Впервые производство рафинированной меди на основе *электролиза* возникло в Германии на заводе "Сименс-Гальске" в 1878 году. В России первую электролитическую медь стали производить в конце 1880-х годов на Калакентском заводе (Кавказ) братьев Сименс. С 1890 года к выпуску электролитической меди приступил и завод в г. Нижний Новгород. На ее производство требовалось большое количество электроэнергии в виде постоян-

© М.И. Баранов

ного тока. Сейчас электролитическую медь во всем мире в огромных объемах получают также с помощью электролиза. Благодаря своей высокой электро- и теплопроводности медь нашла широкое промышленное применение и сейчас она практически незаменима в электротехнике и электроэнергетике. Определенную конкуренцию ей составляет здесь лишь алюминий (о нем смотри ниже раздел 8). На основе меди в настоящее время по всему миру изготавливают бесчисленное количество сплавов, основными легирующими элементами которых является олово, цинк и никель [4]. Медно-цинковые сплавы (латуни) в больших объемах применяются в авто- и химпромышленности, а также в приборостроении. Медно-никелевые сплавы (например, монель) широко используются для работы в коррозионно-агрессивных средах и для изготовления немагнитных изделий. Медно-оловянные сплавы (бронзы) издавна славятся своими высокими литейными и антикоррозионными свойствами [6].

2. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ БРОНЗЫ

Древние металлурги к меди, выплавленной в открытых горнах с древесным углем и кожаными "мехами", предназначенными для нагнетания в горн воздуха и получения в нем за счет раздува угля более высокой температуры, стали в поисках более прочных металлических материалов добавлять в разных пропорциях олово, цинк и серебро [4]. Так появились первые на Земле металлические сплавы. Причем, первым из них стала **бронза** – сплав меди с оловом (согласно современному металлургическому данному медь в этом сплаве для колокольной бронзы составляет до 80 %, а для оружейной – до 90 % [5, 6]). Название "бронза" происходит от итальянского слова "bronzo", которое, в свою очередь, произошло от персидского слова "berenj", означающего "медь" [6]. Произошло это важное в металлургии технологическое событие в конце 3-го тысячелетия до н.э. [4]. Бронзовые орудия труда и оружие из бронзы были более твердыми, чем из меди. Поэтому они были более производительными, надежными и дольше служили людям. С появлением бронзы в истории человечества обозначился так называемый "бронзовый век". В этот же период люди изобрели принципиально новую технологию обработки металлов и металлических сплавов – их литье [4].

При литье древние металлурги в качестве материала технологической формы, с помощью которой и жидкого металла (сплава) получали требуемое металлическое изделие, чаще всего использовали огнеупорную глину. Со временем талантливые народные умельцы для изготовления методом литья сложных металлических изделий изобрели закрытые разборные формы и впоследствии для фигурного литья – объемные восковые формы со слепком изготавливаемого изделия, покрытые снаружи прочным тонким слоем огнеупорной глины. После обжига в печи такой формы воск из нее вытекал и внутри образовывалась пустота с требуемым слепком на внутренней поверхности глиняной оболочки, в которую и заливали жидкую расплавленную бронзу. Когда бронза застывала, наружную глиняную оболочку (кокон) разбивали и доставали отлитое изделие для его дальнейшей чистовой обработки [4]. На рис. 2 приведен австрийский бронзовый сосуд для вина, относящийся примерно к 7-му веку до н.э. [4]. В этот исторический временной период по всему миру получила расцвет технология изготовления на основе литья холодного оружия: бронзовых мечей и кинжалов, украшенных орнаментом, серебром, золотом и драгоценными камнями.



Рис. 2. Бронзовый сосуд-артефакт (7-ой век до н.э.) [4]

На рис. 3 для сравнения с древним литьем из бронзы приведена современная бронзовая статуэтка.



Рис. 3. Образец бронзового литья конца 20-го века [6]

В соответствии с современными данными бронзами называют сплавы меди (температура их плавления – (930-1140) °С, плотность – (7,5-8,8) г/см³), в которых цинк или никель не являются основными легирующими элементами [7]. По химическому составу бронзы подразделяются на две группы: оловянные, в которых основным легирующим элементом является олово, и безоловянные (ГОСТ 493-79), не содержащие олово в качестве легирующего ингредиента. Бронзы по сравнению с латунью (сплавом меди – 58 % и цинка – 42 % [8]) обладают лучшими механическими, антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью. В качестве легирующих элементов в бронзе используют олово, алюминий, никель, марганец, кремний, свинец, фосфор, бериллий, кобальт, хром, цирконий, магний и другие химические элементы [7]. Литейные бронзы (ГОСТ 613-79) применяются для литья антифрикционных деталей. Кроме того, бронзы (например, типа БрОЗЦ12С5 и БрОЗЦ7С5Н) применяются для арматуры, работающей в воде и водяном паре, в морской воде и маслах давлением до 245 МПа [7]. Бронза типа БрОФ6,5-0,4 используется в настоящее время для пружин, деталей машин и подшипников, а бронза типа БрОФ4-0,25 – для трубок контрольно-измерительных приборов и для манометрических пружин [7]. Бериллиевая бронза (бериллия – 2 %, кобальта – 0,4 % [7]), обладающая высокими механическими свойствами, применяется при изготовлении соленоидов в области техники больших импульсных токов и сильных магнитных полей [8]. Для улучшения качества бронзы ее иногда модифицируют малыми добавками различных тугоплавких металлов.

3. ПОЛУЧЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ЖЕЛЕЗА

Из-за нехватки олова, дороговизны и недостаточных прочностных характеристик бронзовых изделий перед людьми долгое время "стояла" техническая проблема, связанная с заменой бронзы на более дешевый и прочный металлический материал. Им во 2-ом тысячелетии до н.э. исторически оказалось **железо**. На протяжении многих столетий горные мастера выплавляли железо из соответствующей руды (рис. 3) в весьма примитивных горнах – сыродутных печах, которые долгое время были единственным способом получения указанного металла из железной руды. [4].

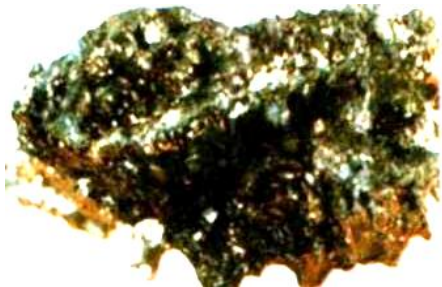


Рис. 3. Образец природной железной руды [4]

Данные печи позволяли получать твердое губчатое железо со шлаковыми включениями путем его непосредственного восстановления из окиси при температуре не менее 1100 °С [4]. Это были первые шаги в зарождающейся черной металлургии. Для получения в таких печах температуры плавления железа в них железную руду и древесный уголь загружали чередующимися между собой слоями. Руда перемешивалась с древесным углем и закладывалась в печь. При высокой температуре, создаваемой горением данного угля, углерод начинал соединяться не только с атмосферным кислородом, но и с тем кислородом, который был ранее связан с атомами железа. После выгорания в печи угля в ней оставалась так называемая **крица** – корявый ком вещества со шлаком и примесью восстановленного железа. Полученную в сыродутной печи крицу потом снова разогревали и подвергали механической обработке ковкой, выколачивая таким путем железо из шлака. Поэтому долгое время в металлургии железа именно механическая ковка была одним из основных элементов технологического процесса его производства. Тем не менее, в 4-ом веке до н.э. в Индии был открыт новый способ изготовления из мягкого железа булатной стали, отличающейся своей упругостью [4, 9]. Для ее приготовления древние металлурги использовали высокоуглеродистое железо, которому с помощью продолжительной термообработки придавали уникальную пластичность и прочность. Известно, что дамасские клинки, изготовленные из булатной стали, отличались волнистым узором на их лезвии. Более технологичный путь получения упругой стали, при котором не требовались ни особо чистая руда, ни графит, ни специальные печи, был найден в Китае во 2-ом веке н.э. [9]. Сталь при этом способе вручную перековывали очень много раз, складывая при каждой ковке заготовку вдвое. В результате чего получался отличный оружейный материал, названный дамаском [9]. На рис. 4 приведен внешний вид исторического памятника в виде колонны, изготовленной в 4-ом веке н.э. древними индийскими мастерами-металлургами из чистого железа [9].

После сыродутных печей людьми была создана более совершенная плавильная печь – штюкофен (это название происходит от немецких слов "*штюк*" –

"крица" и "офен" – "печь" [10]), ставший первой металлургической ступенью на пути к созданию промышленной доменной печи, выплавляющей чугуны. Изобретены высотные печи-штюкофены были в Индии в начале первого тысячелетия до н.э. В начале новой эры они попали в соседний Китай, а в 7-ом веке н.э. вместе с "арабскими" цифрами арабы Ближнего Востока и Северной Африки позаимствовали у индийских изобретателей-металлургов и эту технологию получения железа, стали и чугуна.



Рис. 4. Индийская железная колонна, ярко подчеркивающая мастерство древних металлургов (г. Дели, 4-й век н.э.) [9]

Только в 13-ом веке н.э. (в период "темного" средневековья) плавильные печи-штюкофены стали широко применяться многими европейскими металлургами. Производительность печи-штюкофена была несравненно выше, чем сыродутной печи. В день он давал до 250 кг железа в виде крицы, но температура крицы и шлака в нем (примерно до 1400 °С) оказывалась пока немного недостаточной для полного науглероживания железа до состояния чугуна [9]. При помощи штюкофена, обеспечивавшего медленную, равномерную и более эффективную плавку железной руды, металлурги того времени одновременно получали два вида железного сырья [4]: ковкое железо и низкоуглеродистую сталь.

В первой половине 14-го века в Западной Европе появились блауофены (поддувные печи или домницы), ставшие очередным прогрессивным шагом в металлургии [4, 10]. Эти печи имели более высокую загрузочную шахту и мощный воздуходувный аппарат, обеспечивающий достижение в их горне более высокой температуры. Кроме того, блауофены отличались от штюкофенов более продолжительным и соответственно более качественным процессом плавки металла. Главной составляющей шлака в новых печах, как в сыродутных печах и штюкофенах, был фаялит [9]. Этот шлак содержал до 40 % монооксида железа, до 35 % кремнезема, до 5 % глинозема, до 5 % извести и магнезии и до 15 % монооксида марганца [9]. Главным достоинством этих поддувных печей было то, что они позволяли осуществлять двухступенчатый способ термической обработки металла: вначале из железной руды получали чугун, а затем из чугуна путем его повторной переплавки и обезуглероживания в этой же печи получали железо [4]. В этот временной период сталь производилась уже из готового железа путём науглероживания последнего. При высокой температуре (порядка 1500 °С) и недостатке кислоро-

да в металлургическом горне с расплавленным железом углерод, не успевая окисляться, пропитывал это железо, что и приводило к образованию в горне стали.

В качестве дополнительной и полезной для читателя информации с учетом современных металлургических данных здесь следует указать то, что железо, даже в простейшем случае, представляет собой сплав собственно *железа* (как химического элемента из всемирно известной таблицы Д.И. Менделеева [5]) с углеродом. При концентрации углерода в этом сплаве менее 0,3 % получается мягкий пластичный тугоплавкий металл, за которым и закрепилось название его основного ингредиента – железа (температура плавления железа составляет не менее 1500 °С) [9]. При концентрации углерода более 0,3 %, но менее 2,14 %, рассматриваемый сплав называется *сталью* [9]. В первоначальном виде сталь похожа по своим свойствам на железо, но, в отличие от него, поддается термической закалке. При резком охлаждении сталь приобретает замечательное свойство – большую твердость. При концентрации углерода свыше 2,14 % из указанного сплава получается *чугун*, представляющий собой хрупкий, легкоплавкий и пригодный для литья металл, но не поддающийся обработке ковкой [9]. Чугун насыщен графитовыми включениями, делающими этот металл неоднородным и механически непрочным (температура плавления чугуна равна около 1150 °С).

4. ПРОМЫШЛЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЧУГУНА

Следующим этапом в развитии металлургии железа стало появление доменных печей. За счёт увеличения габаритного размера плавильной печи, предварительного подогрева воздуха и его механического дутья в такой печи всё железо из руды превращалось в *чугун*, который в расплавленном виде периодически выпускался наружу из нижней части домны (рис. 5). Доменная печь работала круглосуточно и до своего ремонта не остывала. Поэтому производство чугуна, выплавляемого в доменных печах и являющегося исходным продуктом для последующей выплавки стали, стало непрерывным металлургическим процессом [9].

Образно отметим, что источником "высококалорийного питания" для домны и поддержания в ней высокой температуры вот уже более двух с половиной веков служит *кокс*, получаемый из особых редких сортов каменного угля, склонных к спеканию (коксованию) [9]. Здесь следует подчеркнуть, что изобретение кокса в свое время стало заметной вехой в развитии металлургии железа. Кокс дорог, поэтому он фактически и определяет стоимость чугуна (в калькуляции финансовых затрат на его производство он в денежном выражении составляет около 50 % [9]). Доменщики постоянно стремятся сократить расход кокса при выплавке чугуна, частично заменяя его природным газом или пылевидным углем. Проблема бескоксовой металлургии железа в мире обостряется с каждым годом: центрами "обострения" здесь являются острые вопросы улучшения экологии окружающей среды и заметное сокращение природных источников добычи коксующихся каменных углей. В свое время еще великий отечественный ученый-химик Д.И. Менделеев [11] на рубеже 19-го и 20-го столетий написал следующее [9]: "Я полагаю, что придет со временем опять пора искать способы прямого получения железа и стали из руд, минуя чугун". Кроме того, известный американский металлург Смит называл доменную печь "жерновом, повешенном на шею металлургии в наказание за ее грехи в области научных исследований" [9].

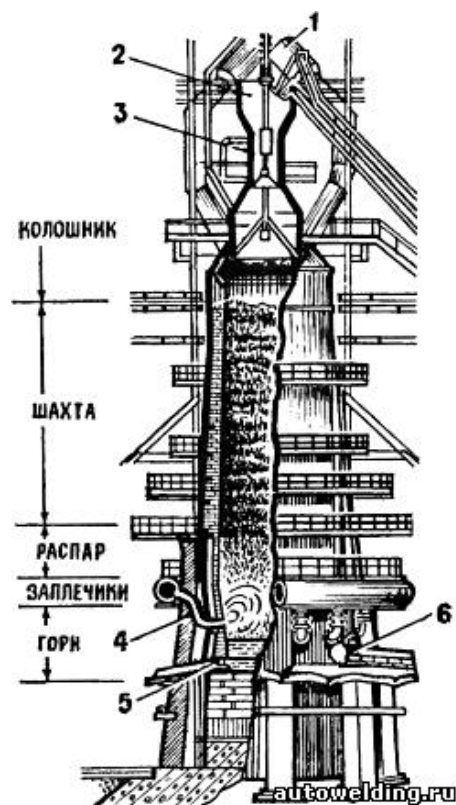


Рис. 5. Схематическое построение доменной печи (1 – скип; 2 – приемная воронка; 3 – распределитель шихты; 4 – воздушная фурма; 5 – чугунная лётка; 6 – шлаковая лётка) [9]

Десятки лет ученые и инженеры разных стран мира стремились найти приемлемую технологию прямого восстановления железа из руды. Были выданы сотни патентов на изобретения, предложены и созданы разнообразные агрегаты, установки и плавильные печи. Однако даже самые многообещающие технические идеи в этой области металлургии долгое время не удавалось воплотить в жизнь. Первая сравнительно удачная промышленная установка для прямого получения железа из руды была сооружена в 1911 году в Швеции по проекту инженера Э. Сьерина [9]. Достоинством этой технологии было то, что здесь восстановителями, отбирающими у железа кислород, служили отходы угольного и коксового производства (каменноугольная пыль и мелкие фракции кокса), а сама плавильная печь отапливалась дешевыми сортами угля. Тем не менее, эта шведская технология не получила в мире широкого распространения, поскольку процесс выплавки железа длился несколько суток и был дорог. Следующий важный шаг в развитии технологии прямого получения железа из руды был сделан в 1918 году, когда шведский инженер М. Виберг предложил вести этот процесс восстановления в шахтной печи, используя для этой цели горючий газ, содержащий окись углерода и водород. Данный способ позволял превращать природную железную руду в 95-процентное железо [9]. Но у этого способа был один существенный недостаток: исходным сырьем для получения восстановительного газа в нем служил все тот же кокс, а для его газификации нужны были сложные и дорогие устройства, получившие название электрогазогенераторов. В 1958 году известный советский академик-металлург И.П. Бардин, высказываясь по поводу прямого получения железа из руды, вынужден был при рассмотрении металлургии

ческих процессов его производства все же вернуться "к доменной печи как единственному пока в ближайших десятилетия промышленному агрегату, на котором может базироваться черная металлургия" [9]. Поэтому сейчас основным способом получения чугунов является плавка железных руд в доменных печах (рис. 6). Полученные при доменной плавке чугуны подразделяются на белые, серые и ковкие. Чугун, содержащий до 4,5 % углерода, определяется как белый [12]. Он является основным сырьем для производства стали. При большем содержании в руде кремния и углерода в результате доменного техпроцесса получают литейный или серый чугун (при кремнии в его составе до 4,25 % и углероде от 1,7 до 4,2 %), хорошо поддающийся заливке (разливке) в формы и легко подвергающийся последующей механической обработке разным режущим инструментом.



Рис. 6. Общий вид доменной печи (слева) и одного из участков доменного производства чугуна (справа) на современном отечественном металлургическом заводе [10, 12]

В местах излома этот металлический материал имеет серый цвет. Содержание (2,1-2,2) % углерода в железном расплаве определяет получение с помощью домны ковкого чугуна. Технологически же его получают на основе процесса "томления" в печах отливок белого чугуна, размещенных в стальных ящиках [12].

5. ПРОМЫШЛЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СТАЛИ

В истории металлургии железа согласно [12] было три революционных переворота, оказавших глубочайшее влияние на весь ход человеческой истории. *Первый* имел место еще в древности, когда появились сыродутные печи (горны) для получения крицы и мягкого железа. *Второй* произошел в средние века после открытия передельного процесса в производстве железа. *Третий* произошел на вторую половину 19-го века и был связан с началом производства литой стали. Сталь во все времена оставалась самым необходимым и желанным продуктом металлургии железа. Только она обладала той твердостью и прочностью, какие требовались для изготовления различных инструментов, деталей машин, агрегатов и оружия. После изобретения поддувной плавильной печи английский изобретатель Генри Корт (1740-1800 гг.) для усовершенствования способа переработки чугуна в *сталь* в 1784 году предложил технологию пудлингования, основанную на процессе перемешивания чугуна в созданной им для этого пудлинговой печи [4]. Название этой печи происходит от английского слова "puddle" – "перемешивать" [9]. Благодаря перемешиванию в этой печи расплавленного металла и шлаков достигалось достижение более высокой температуры расплава, приводящее к получению крицы малоуглеродистого железа или стали. Именно пудлинговые печи обеспечили мировое производство литейной стали. К середине 19-го столетия в связи с повышением в развивающейся техносфере мира спроса на сталь пудлинговые печи перестали удовлетворять возрас-

тающие промышленные потребности в стали. Металлурги по всему миру стали снова искать новые более эффективные способы восстановления железа и соответственно переработки чугуна в сталь. Раньше эту важную металлургическую задачу удалось разрешить английскому инженеру Генри Бессемеру.

В 1856 году известный английский инженер-металлург Г. Бессемер (1813-1898 гг.) изобрел новый прогрессивный *конвертерный способ* переработки чугуна в сталь [4, 12]. Созданное им металлургическое устройство-конвертер (рис. 7) имело вид неподвижной бочкообразной вертикальной плавильной печи, закрытой сверху металлическим куполом с отверстием для выхода из металлического расплава чугуна различных газов. По форме конвертер Г. Бессемера напоминал грушу, поэтому его и называли – "бессемеровская груша" [12]. В 1860 году он взял патент на новую конструкцию вращающегося конвертера, сохранившуюся в общих чертах и до наших дней [4, 12].

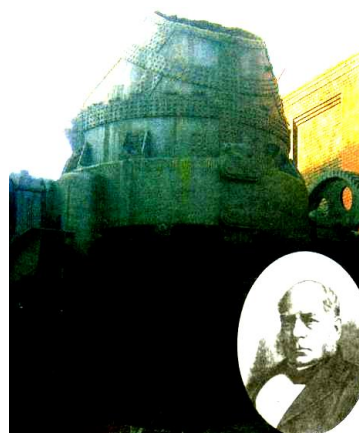


Рис. 7. Внешний вид конвертера для получения в 19-ом веке стали, созданного известным английским изобретателем и инженером-металлургом Генри Бессемером (натурный экспонат музея металлургии в г. Шеффилд, Англия) [4]

С одной из боковых сторон этой печи имелось отверстие для заливки в нее расплавленного чугуна, полученного в соседней печи. Техническая суть важнейшего в металлургии железа изобретения Г. Бессемера заключалась в возможности получения в конвертере его конструкции стали путем усиленной продувки снизу-вверх данного конвертера от воздушных труб (фурм) подогретого воздуха через весь объем залитого в него расплавленного чугуна [4, 12]. Готовую сталь из конвертера Г. Бессемера выпускали наружу через технологическое отверстие в нижней части созданной новой плавильной печи, которое во время работы конвертера забивалось огнеупорной глиной. Г. Бессемер на основе своего изобретения реализовал экзотермическую реакцию горения углерода в расплавленном чугуне. При этой реакции кислород поступающего в конвертер воздуха выжигал углерод из расплава чугуна, который удалялся в атмосферу в виде оксида и диоксида. Поэтому впервые в истории металлургии для получения необходимого расплавленного продукта железа не требовался дополнительный подогрев его сырья. Великий российский ученый-химик Д.И. Менделеев назвал бессемеровский конвертер "*металлургической печью без топлива*" [12]. Как оказалось, в бессемеровском конвертере (см. рис. 7) можно переплавлять не всякий чугун, а только такой, в составе которого имеются кремний и марганец. Соединяясь с кислородом подаваемого воздуха, они выделяют большое количество теплоты, кото-

рая и обеспечивала быстрое выгорание углерода из чугуна. Причем, этой теплоты не хватало, чтобы расплавлять твердые куски железного сырья. Поэтому в бессемеровском конвертере нельзя было перерабатывать железный лом или твердый чугун. Это резко ограничивало возможности его практического применения.

Изобретенный Г. Бессемером способ производства стали был настоящей технической революцией в области металлургии. За каких-то 10 минут его конвертер превращал 15 т расплавленного чугуна в ковкое железо или сталь, на что прежде потребовалось бы несколько дней работы пудлинговой печи или несколько месяцев работы старинного кричного горна (сыродутной печи) [12]. Первые годы эксплуатации в Англии бессемеровских конвертеров показали, что в них нельзя использовать чугун, выплавленный из железных руд с высоким содержанием фосфора. Оказалось, что фосфор и сера не выгорали в конвертере вместе с другими примесями; содержащимися в перерабатываемом чугуне. Поэтому они из чугуна попадали в сталь и существенно снижали ее качество. Кроме того, высокая стоимость бессемеровских конвертеров привела к тому, что этот способ производства стали очень медленно внедрялся в металлургию. Заметим, что при продувке воздухом сталь в конвертере насыщается азотом, а это ухудшает качество получаемого металла. Поэтому после изобретения других способов производства стали бессемеровский конвертер стал редко употребляться для выплавки этого металла. Гораздо больше эти конвертеры начали использовать для выплавки ряда цветных металлов (например, меди и никеля – см. раздел 1). В современном конвертере (рис. 8) сталь получают также путем продувки чугуна, но вместо воздуха при этом применяют технически чистый кислород. Такой способ оказался более эффективным. *Кислородно-конвертерный способ* выплавки из чугуна стали пришел в металлургию более чем 75 лет тому назад. Предложен он был в бывшем СССР инженером-металлургом Н.И. Мозговым [12].



Рис. 8. Внешний вид современного кислородного конвертера для производства стали и других металлов [12]

Он полностью вытеснил бессемеровский процесс получения стали. Интересно отметить, что первая в мире тонна кислородно-конвертерной стали была выплавлена в 1936 году на киевском заводе "Большевик" [12]. Оказалось, что таким способом можно не только перерабатывать жидкий чугун, но и добавлять в него значительные количества твердого чугуна и железного лома. Вот почему кислородные конвертеры получили во всем мире такое большое распространение.

Отметим, что в черной металлургии вслед за бессемеровским способом производства стали возник и *мартеновский способ*, изобретенный в 1864 году известными французскими инженерами-металлургами Эмилем (отцом) и Пьером (сыном) Мартенами [4, 12]. Отличительной особенностью данного способа производства стали является то, что в нем жидкий чугун

сплавляется с железным ломом в специальной регенеративной печи (рис. 9) [4, 12]. Этот тип плавильной печи характеризуется наличием восстановителей (регенераторов) теплоты, предназначенных для дополнительного подогрева горных газов и воздуха. Благодаря использованию указанных тепловых регенераторов температура в рассматриваемой плавильной печи достигала 1600 °С. Следует указать, что регенеративная печь была придумана и построена в 1861 году немецкими инженерами Фридрихом и Вильямом Сименсами для нужд стекольной промышленности. Однако, наибольшее распространение она получила в металлургии. Мартеновские печи были дешевле бессемеровских конвертеров и потому они получили более широкое распространение. Создание мартеновской печи, обеспечивающей получение в ее горне (ванне) высокотемпературного металлического расплава, давало металлургам возможность для производства стали в больших количествах. Кроме того, изобретение этой плавильной печи способствовало решению такой актуальной металлургической проблемы как получение в значительных объемах различных тугоплавких металлов и сплавов. Тем не менее, ни бессемеровский, ни мартеновский способы не позволяли получать высококачественную сталь из железной руды, содержащей серу и фосфор. Эта проблема долгие годы оставалась неразрешенной. Только в 1878 году известный английский металлург Сидней Томас придумал добавлять в конвертер (печь) до 15 % извести.



Рис. 9. Внешний вид современной мартеновской печи [4]

При данном способе производства стали образовывались шлаки, способные удерживать фосфор в прочных химических соединениях. В результате такой весьма простой операции фосфор выгорал из расплава вместе с другими ненужными примесями, а чугун превращался в высококачественную сталь. В области черной металлургии принято считать изобретение С. Томаса огромной практической значимости [12]. Оно позволило в широком масштабе производить сталь из фосфоросодержащих железных руд, которые в большом количестве добывались в Европе. Укажем, что в первые пять лет после внедрения мартеновского и бессемеровского производств стали ее мировой выпуск увеличился примерно на 60 % [12].

6. ИЗОБРЕТЕНИЕ ЭЛЕКТРОПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Несмотря на то, что в конвертерах и мартеновской печах основная часть примесей переводится в шлак и вместе с ним удаляется из расплавленного металла, все же определенная часть вредных для расплава химических элементов попадает в этих печах из образующихся горючих газов в получаемый жидкий

металл и ухудшает его свойства. У многих ученых-металлургов и инженеров-изобретателей после открытий и изобретений известных металлургов Г. Бессемера, Э. и П. Мартенов и С. Томаса не раз возникали мысли о новом более эффективном способе получения в жидком виде металла со свойствами железа и стали, который можно было бы прямо использовать для изготовления необходимых отливок и различного проката. Получить действительно высококачественную сталь спустя многие годы после выдающихся изобретений указанных металлургов-первопроходцев помогла *электрометаллургия*, в которой металлы и их сплавы выплавляют в промышленных масштабах с помощью электрического тока [12]. Это относится не только к выплавке черных металлов (например, стали), но и к электролизу ряда цветных металлов в среде их расплавленных солей (например, к извлечению алюминия из расплавленного глинозема). Для этих целей металлургии используют дуговые сталеплавильные печи и плазменно-дуговые печи (рис. 10) [10, 12].



Рис. 10. Общий вид современной дуговой электроплавильной печи отечественного металлургического завода [12]

Отметим, что в таких печах теплогенерация возникает за счет энергетических преобразований дугового сильноточного электрического разряда, возникающего между графитированными электродами и выплавляемым в их ванне с огнеупорной футеровкой металлом, находящимся вначале в твердой, а затем и жидкой фазах. По мере расплавления в них разгрузочной металлошихты электрические дуги полностью "открываются" и начинают ярко гореть над зеркалом металлической ванны электроплавильной печи. Современные дуговые сталеплавильные печи работают на трехфазном переменном токе промышленной частоты. Отечественные дуговые сталеплавильные печи имеют вместимость ванн от 0,5 до 200 т и мощность от 0,63 до 125 МВт. Сила тока на мощных и сверхмощных дуговых сталеплавильных печах достигает до 100 кА [12]. В зависимости от требуемого характера технологического процесса и состава шлаков огнеупорная футеровка *дуговых сталеплавильных печей* может быть кислая (при выплавке стали для фасонного литья) или основная (для выплавки стали для слитков). Электрический коэффициент полезного действия (КПД) дуговых сталеплавильных печей составляет до 0,95, а тепловой – до 0,7 [12]. Заметим, что особенностью конструкции *плазменно-дуговых печей* с огнеупорной футеровкой как разновидности электроплавильных ванн печей дугового нагрева металлошихты является наличие в них одного или нескольких плазмотронов постоянного тока и подового электрода – анода [10, 12]. Основной задачей этих плазмотронов является создание нужной плазменной атмосферы над металлическим зеркалом ванны печи.

Для сохранения атмосферы плазмообразующего газа рабочее пространство в плазменно-дуговых печах герметизируется с помощью специальных теплоустойчивых уплотнений. Немаловажной особенностью в эксплуатации плазменно-дуговых печей является использование дорогостоящих плазмообразующих газов, что вызывает необходимость создания для них систем регенерации отработанных газов и применения технологически приемлемых дешевых газовых смесей. В настоящее время в отечественной металлургической отрасли работают плазменно-дуговые печи с огнеупорной футеровкой вместимостью ванн от 0,25 до 30 т и мощностью от 0,2 до 25 МВт [12]. Максимальная сила переменного тока частотой 50 Гц в их дуговых разрядах составляет до 10 кА. Их электрический КПД не превышает 0,85, а тепловой – 0,6 [12]. Удивительно, но современная дуговая сталеплавильная печь сверхвысокой мощности имеет удельный расход энергии значительно более низкий, чем мартеновская печь. К тому же труд сталевара мартеновской печи значительно тяжелее и утомительнее, чем работа в "горячем" цеху конверторщика или электросталеплавильщика. Укажем, что основную массу легированной высококачественной стали во многих странах мира сейчас выплавляют в дуговых электрических печах.

7. ПРОКАТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

После того как сталевары выплавляли в печи жидкий металл и после его разливки в изложницы изготовили огромный стальной слиток последний нужно было при помощи каких-то механизмов превращать в различные меньшие металлоизделия. Для этого, прежде всего, было необходимо, чтобы слиток принял удобную для изготовления деталей форму – либо бруса с поперечным сечением в виде квадрата, круга, балки, либо стального листа или проволоки. Именно эти различные формы слитков металла и принимает на *прокатном стане*, являющемся машиной для обработки металлов давлением между круглыми вращающимися валками. Поэтому важнейшим техническим изобретением в области металлургии было создание крупнобаритных машин для прокатки с их помощью слитков из различных металлов и сплавов. В конце 18-го столетия металлопрокатка постепенно стала одним из основных технологических звеньев в производственном цикле на металлургических заводах всего мира. Первый прокатный стан для раскаленных массивных железных болванок был разработан и создан еще в 1783 году известным английским изобретателем Г. Кортон – изобретателем рассмотренной нами выше в разделе 5 пудлинговой печи [4]. На рис. 11 приведен внешний вид одного из первых прокатных станов для изготовления тонкой золотой проволоки [4]. Благодаря появлению технологии прокатки металлов (сплавов) у металлургов-технологов появилась возможность для придания черным (например, железным и стальным) и цветным (например, медным и алюминиевым) металлическим заготовкам унификационную идентичность (одинаковость). Тем не менее, широкое признание и внедрение в мировой металлообрабатывающей отрасли технология металлопрокатки получила лишь в 19-ом веке, когда данную технологию стали применять при массовом изготовлении в промышленно развитых странах мира железнодорожных рельсов и вагонных колес поездов [2].

Со временем рассматриваемая технология прокатки металлов и сплавов стала обеспечивать производство не только сплошного металлического проката различного поперечного профиля, но и пустотелого.

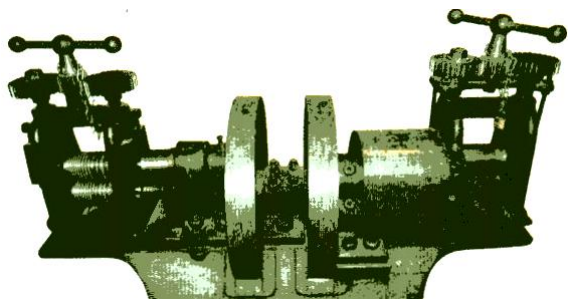


Рис. 11. Металлические элементы одного из первого в мире прокатного стана для получения золотой проволоки [4]



Рис. 12. Фрагмент современного прокатного стана [12]

В 1885 году братья Меннесманы впервые в мире изобрели способ прокатки бесшовных железных труб [12]. До этого данные трубы приходилось изготавливать из плоского железного листа путем его сгибки и последующей сварки. Подобная технологическая операция при изготовлении труб была долгой и дорогой. В настоящее время бесшовные стальные трубы на станах получают с помощью двух технологий: *первая* использует "прошивку" отверстия в разогретой заготовке до цвета белого каления (температура до 1300 °С) и раскатку этой трубной "гильзы" до требуемой кондиции, а *вторая* – сворачивание листа (ленты) в трубу и ее сварку по прямой линии или спирали [12].

На рис. 12 приведен внешний вид современного прокатного стана. Каково же устройство современных прокатных станов и как они функционируют? Предварительно нагретый металлический слиток, полученный и изрядно остывший после разливки стали в изложницы к примеру в сталеплавильном цеху металлургического завода, обычно проходит через несколько прокатных станов. Перед прокаткой его нагревают в специальных колодцах при температуре до 1300 °С. Затем слиток поступает на первый из них – блуминг или слябинг [12]. Это самые мощные прокатные станы. Их еще называют обжимными станами, так как их главное предназначение заключается в обжатии металлического слитка и превращении его в длинный брус (блум) или пластину (сляб), из которых потом на других менее мощных прокатных станах будут изготовлены те или иные металлические изделия. У блуминга имеется два огромных валька. Верхний может подниматься и опускаться, уменьшая или увеличивая просвет между собой и нижним вальком. Раскаленный слиток, пройдя через вальки блуминга, попадает на рольганг-транспортёр из вращающихся роликов (см. рис. 12). Оператор непрерывно меняет направление вращения вальков блуминга и роликов рольганга. Поэтому горячий слиток движется через вальки стана (клетки) то вперед, то назад. При этом каждый раз оператор все больше уменьшает зазор между вальками блуминга, тем самым все сильнее обжимая обрабатываемый слиток. Через каждые пять-шесть проходов специальный механизм стана – кантователь переворачивает слиток на 90° для обработки всех его сторон. В результате получается длинный брус металла, который по рольгангу-транспортёру направляется к ножницам. Здесь обработанный на прокатном стане горячий брус делят на нужные куски – блумы. Производительность современных мощных блумингов и слябингов составляет до нескольких миллионов тонн металлотлитков в год при массе каждого из слитков от 1 до 18 т [12]. Производительность листовых станов достигает еще больших показателей (например, она для широкополосового стана "2000" на Новолипецком металлургическом заводе составляет 6 млн. т).

Аналогично происходит прокатка и на слябинге с той лишь разницей, что у слябинга имеются уже четыре валька – два горизонтальных и два вертикальных, которые обрабатывают горячий слиток металла сразу со всех сторон. После обработки на слябинге полученную длинную стальную пластину режут на плоские заготовки требуемой толщины – слябы [12]. Блуминги и слябинги используются только на металлургических заводах, где разливка стали производится старым способом – в изложницы. Там, где работают прогрессивные установки непрерывной разливки стали, получают уже готовые блумы или слябы. В последние годы появилось новое технологическое направление: на прокатных станах уже изготавливают не заготовки, а сразу готовые детали машин. На таких станах прокатывают автомобильные и тракторные полуоси, шпиндели текстильных веретен, детали тракторов, электродвигателей и буровых машин [12].

8. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ АЛЮМИНИЯ

История открытия *алюминия* может служить нам наглядным примером весьма длительного освоения людьми некоторых металлов перед их широким использованием в технике и их быту. В 1825 году выдающийся датский электрофизик, профессор Ханс Эрстед (рис. 13), открывший в 1820 году магнитное поле вокруг металлического проводника с постоянным электрическим током [13], впервые получил этот металл в виде небольших белых металлических комочков в опытах по восстановлению хлористого алюминия амальгамой калия [12]. Далее в 1827 году немецкий химик Фридрих Вёлер получил небольшое количество порошкообразного алюминия, применив в качестве химического восстановителя паробразный металлический калий. Долго работая в области исследования алюминия (около 17 лет), он вплоть до 1845 года смог получать этот металл лишь в виде небольших зерен величиной с булавочную головку [12].



Рис. 13. Выдающийся датский физик Ханс-Кристиан Эрстед (1777-1851 гг.) [14]

В 1854 году другой французский химик Сент-Клер Девиль, продолжая работы своего соотечествен-

ника Ф. Вёлера, разработал новый способ получения металлического алюминия. Этот способ был положен в основу первого промышленного производства этого перспективного металла. В данном способе он вместо калия в качестве восстановителя применил более дешевый натрий, а также установил оптимальные температурные режимы процесса восстановления хлористого алюминия [12]. Заметим, что на Всемирной Парижской торгово-промышленной выставке 1855 года алюминий фигурировал уже как промышленный продукт, хотя к этому времени во всем мире его изготовили лишь в количестве не более 25 кг (в этот исторический период из-за трудностей его получения он ценился дороже золота и применялся для ювелирных изделий). Тем не менее, химический способ С.-К. Девиля сыграл большую роль в развитии алюминиевой промышленности. Техническое усовершенствование этого способа сопровождалось постепенным увеличением мирового производства алюминия (к 1890 году его выпуск достиг уже около 200 т и одновременно при этом примерно в 25 раз была снижена стоимость данного металла) [12]. Освоение производства цветных металлов стало претерпевать быстрые и радикальные изменения лишь в конце 19-го столетия в связи с новыми научными успехами в области химии, физики, металлургии и электротехники. В этот период большую роль в металлургии цветных и редких металлов стали играть электрометаллургические процессы. В это время были заложены научно-технические основы таких электрометаллургических процессов как *электролиз* водных растворов и электролиз расплавленных солей, обеспечивший прогресс в области открытия и получения в свободном состоянии многих цветных и редких металлов. В результате совершенствования электролиза в первой половине 19-го века появилась новая область прикладной электрохимии – *гальванотехника*, охватывающая процессы электролитического осаждения металлов на поверхности металлических и неметаллических изделий. В развитии гальванотехники определились два направления: *гальваностегия* (получение на поверхности изделий прочно сцепленных с ней тонких металлических покрытий) и *гальванопластика* (получение с матриц легко отделяющихся и относительно толстых точных копий с различных предметов) [12]. Научное открытие и техническая разработка гальванотехники принадлежит выдающемуся российскому ученому-электротехнику Б.С. Якоби, о чем он сделал 5 октября 1838 года сообщение на заседании Петербургской академии наук [12]. Заметим, что этот ученый больше прославился в области создания первых электрических машин и особенно электродвигателей [15]. В 1867 году за изобретение гальванопластики Б.С. Якоби был удостоен Главным советом Всемирной парижской выставки первой премии и большой золотой медали. Поэтому именно с электротехнических работ российского профессора Б.С. Якоби и начинается активное развитие во всем мире электрометаллургической технологии, коренным образом изменившей технологию промышленного получения и алюминия [16].

Алюминий является самым распространенным в земной коре металлом. Находится он в ее осадочных породах в виде оксида алюминия – глинозема. Кстати, из глинозема состоит хорошо знакомый многим из нас очень твердый минерал – корунд (вспомним хотя бы абразивные круги с этим минералом, применяемые при металлообработке). Более дешевый способ производства алюминия, по сравнению с указанным выше химическим способом его получения, появился в мире лишь к концу 19-го века. Его изобретателями прак-

тически одновременно стали американский студент Чарльз Холл и французский инженер Поль Эру [17]. Они предложили окисить алюминия (глинозем) предельно растворять в криолите и затем использовать электролиз этого нагретого до высокой температуры (около 1000 °С) раствора с графитовыми электродами для получения электролитического алюминия [16, 17]. Предложенный ими электролиз расплавленной в криолите окиси алюминия давал прекрасные результаты, но требовал большого количества электроэнергии (на 1 т алюминия до $20 \cdot 10^3$ кВт·ч). Вскоре австрийский инженер Карл Байер, работавший в России, предложил новую технологию получения глинозема, которая сделала указанный способ получения алюминия еще более дешевым [17]. Отметим, что технологические процессы Байера и Холла – Эру до сих пор применяются на современных глиноземных и алюминиевых заводах. Чистый алюминий имел для некоторых сфер своего возможного применения один серьезный недостаток – низкую прочность. Эту проблему помог решить немецкий химик Альфред Вильм, сплавивший его с незначительными количествами меди, магния и марганца. В 1911 году в немецком г. Дюрене была выпущена первая партия этого высокопрочного алюминиевого сплава, названного в честь указанного города *дюралюминием* [16]. В 1919 году из его листов был сделан фюзеляж первого самолета. Так началось триумфальное "шествие" алюминия по земному шару. Заметим, что если в 1900 году во всем мире получали всего около 8 тысяч тонн в год этого металла, то через сто лет мировой объем его годового производства достиг уже 24 миллионов тонн [17].

Алюминий благодаря своим ценным свойствам (легкости, высокой электропроводности, хорошей ковкости, способности прокатываться в листы и фольгу, вытягиваться в проволоку, хорошо заполнять форму при отливке, коррозионной стойкости к воздуху, воде и разбавленным органическим кислотам (например, к уксусной, лимонной и др.) в первой четверти 20-го века начинает широко применяться в различной технике. Совокупность указанных физических свойств алюминия позволяет отнести его к важнейшим техническим материалам. Этот металл используется для придания жаропрочности и коррозионной устойчивости поверхностям чугуновых отливок и для изготовления цистерн, в которых перевозят и хранят концентрированную перекись водорода. При температуре 100-150 °С он становится настолько пластичным, что из него на прокатном стане можно изготавливать фольгу толщиной 10 мкм и менее. Подобная алюминиевая фольга широко применяется сейчас для изготовления обкладок низко- и высоковольтных электрических конденсаторов и упаковок некоторых пищевых продуктов. Этот металл в виде тончайшего порошка применяется для составления горючих и взрывчатых смесей, для изготовления серебристой краски, состоящей из мельчайших чешуек алюминия и характеризующейся высокой устойчивостью к атмосферным воздействиям [16]. Благодаря ему появилась алюминотермия, часто используемая для получения высоких температур при сваривании металлических деталей. Исходной в этом случае является смесь "термит", состоящая из порошков алюминия и окислов железа. Подожженная с помощью специального запала она при горении создает температуру до 3500 °С. Из сплава "электрон", в основу которого входит алюминий, изготавливают корпусы зажигательных бомб. Алюминиевые соли органических кислот составляют основу известного зажигательного

вещества "напалма", используемого в военных целях. Алюминий стал востребованным не только в тяжелой и легкой промышленности, но и в высокотехнологичных областях. На современном этапе развития авиации и ракетно-космической техники алюминиевые сплавы являются основными конструкционными материалами в самолето- и ракетостроении. Электропроводность алюминия сравнима с медью, но при этом алюминий дешевле. Поэтому он широко применяется в силовой электротехнике для изготовления токопроводов широкой номенклатуры проводов, кабелей и оболочек для их электромагнитного экранирования и даже в микроэлектронике при изготовлении проводниковых "дорожек" в чипах. У алюминия как электротехнического материала есть одно неприятное свойство – из-за прочной оксидной пленки на его поверхности алюминиевые токопроводы тяжело паять.

Известно, что ценность любого металла определяется тремя основными характеристиками: его прочностью, его объемным весом и его стойкостью к атмосферным условиям и другим агрессивным средам [16]. При первых же металловедческих испытаниях алюминий показал такие технические характеристики, какими до него не обладал ни один из известных на то время металлов. Напомним, что качественные сдвиги в металлургии в рассматриваемый временной период характеризовались открытием и получением в свободном состоянии большого числа новых металлов. Достаточно отметить, что за период с 50-х годов 18-го века до 70-х годов 19-го века усилились ученые разных стран мира было получено 28 ранее неизвестных металлов. Среди них были, например, такие цветные, благородные и редкие металлы как [16, 17]: никель (1751 год), марганец (1774 год), молибден (1781 год), вольфрам (1783 год), родий, палладий, осмий и иридий (1803-1804 гг.), калий (1807 год), стронций (1807 год), магний, кальций и барий (1808 год); кадмий (1817 год), литий (1818 год), цирконий (1824 год), титан (1825 год), алюминий (1825 год), иттрий (1828 год), бериллий (1829 год), уран (1841 год), рубидий (1863 год), индий (1867 год), ванадий (1869 год) и др. Однако большинство открытых и полученных впервые металлов в этот период не нашли широкого промышленного использования ввиду их дороговизны, связанной с несовершенством технологии их производства. Алюминию же наукой и техникой была уготована другая более перспективная металлическая "судьба". В настоящее время алюминий является одним из самых востребованных и нашедших широкое практическое применение металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 14: Изобретение двигателей // Электротехника і електромеханіка. – 2013. – № 3. – С. 3-14.
2. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 15: Изобретение транспорта // Электротехника і електромеханіка. – 2013. – № 4. – С. 15-26.
3. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004. – 957 с.

4. Скляренко В.М., Сядро В.В. Открытия и изобретения. – Харьков: Веста, 2009. – 144 с.
5. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем.– М.: Мир, 1982. – 520 с.
6. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Бронза>.
7. http://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/bro.
8. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. – М.: Мир, 1972. – 391 с.
9. http://ru.wikipedia.org/wiki/История_железа.
10. <http://dhblacksmith.narod.ru/hist.htm>.
11. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 1: Открытие периодического закона химических элементов // Электротехніка і електромеханіка. – 2011. – № 2. – С. 3-9.
12. <http://www.carbofer-center.ru/parametri-stali>.
13. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 1: Электрофизика и выдающиеся физики мира.– Харьков: Изд-во НТУ "ХПИ", 2008. – 252 с.
14. Храмов Ю.А. История физики. – Киев: Феникс, 2006. – 1176 с.
15. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике: Монография в 2-х томах. Том 1. – Харьков: Изд-во "НТМТ", 2011. – 311 с.
16. <http://www.aluminiumleader.com/facts/history>.
17. http://www.basel.ru/information/si_3/

Bibliography (transliterated): 1. Baranov M.I. Antologiya vydayuschihya dostizhenij v nauke i tehnikе. Chast' 14: Izobrenenie dvigatelej // Elektrotehnika i elektromehaniка. – 2013. – № 3. – S. 3-14. 2. Baranov M.I. Antologiya vydayuschihya dostizhenij v nauke i tehnikе. Chast' 15: Izobrenenie transporta // Elektrotehnika i elektromehaniка. – 2013. – № 4. – S. 15-26. 3. Bol'shoj illyustrirovannyj slovar' inostrannyh slov. - M.: Russkie slovari, 2004. - 957 s. 4. Sklyarenko V.M., Syadro V.V. Otkrytiya i izobreneniya. – Har'kov: Vesta, 2009. – 144 s. 5. Kuhling H. Spravochnik po fizike/Per. s nem.–M.:Mir, 1982.–520 s. 6. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Bronza>. 7. http://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/bro. 8. Knopfel' G. Sverhsil'nye impul'snye magnitnye polya. – M.: Mir, 1972. – 391 s. 9. http://ru.wikipedia.org/wiki/Istoriya_zheleza. 10. <http://dhblacksmith.narod.ru/hist.htm>. 11. Baranov M.I. Antologiya vydayuschihya dostizhenij v nauke i tehnikе. Chast' 1: Otkrytie periodicheskogo zakona himicheskikh `elementov // Elektrotehnika i elektromehaniка. – 2011. – № 2. – S. 3-9. 12. <http://www.carbofer-center.ru/parametri-stali>. 13. Baranov M.I. Izbrannye voprosy `elektrofiziki: Monografiya v 2-h tomah. Tom 1: `Elektrofizika i vydayuschiesya fiziki mira.– Har'kov: Izd-vo NTU "HPI", 2008. – 252 s. 14. Hramov Yu.A. Istoriya fiziki. – Kiev: Feniks, 2006. – 1176 s. 15. Baranov M.I. Antologiya vydayuschihya dostizhenij v nauke i tehnikе: Monografiya v 2-h tomah. Tom 1. – Har'kov: Izd-vo "NTMT", 2011. – 311 s. 16. <http://www.aluminiumleader.com/facts/history>. 17. http://www.basel.ru/information/si_3/

Поступила 21.05.2012

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., с.н.с.
НИПКИ "Молния"
Национального технического университета
"Харьковский политехнический институт".
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47
тел. (057) 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

Baranov M.I.

An anthology of outstanding achievements in science and technology. Part 16: Discoveries and inventions in metallurgy.

A brief scientific essay on the history of invention of the main metallurgical technologies of artisan and industrial production of various metals and alloys is presented.

Key words – history, discovery, invention, metallurgy.