

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ

Часть 2



(Окончание. Начало см. в № 3 2019 г. «Науки и Техники»)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ МЕТАЛЛА В ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Уже в 10-х гг. прошлого столетия опыт эксплуатации дуговых сталеплавильных печей показал, что интенсификация металлургических процессов, особенно в восстановительный период плавки, может быть достигнута путем перемешивания жидкого металла. В печах, вращающихся или качающихся во время плавки, осуществляется механическое перемешивание металла. В 1916 г. Степан Иванович Тельный (рис. 1), выпускник Екатеринославского горного института (ЕГИ) 1914 г. (профессор этого же института с 1925 г.), и Георгий Евгеньевич Евреинов (рис. 2), доцент ЕГИ (профессор ЕГИ с 1921 г.), совместно предложили в дуговых печах, неподвижных во время плавки, использовать для перемешивания жидкого металла добавочное магнитное поле. На рис. 3 изображена предложенная ими однофазная «дуговая печь с вращающейся дугой». Рабочее пространство печи окружено кладкой 1, ванна

жидкого металла 2 охватывается снаружи катушкой 3, выполненной из медной трубы, заложеной в кладку печи и охлаждаемой водой. Ток, питающий печь, проходит последовательно от источника питания через катушку 3, верхний электрод 5, дугу 4, нижний подовый электрод 6 и возвращается к источнику питания. Взаимодействие переменного магнитного потока тока катушки с дугой придает ей форму вращающейся со скоростью до 150 об/мин винтовой спирали. При этом дуга сильно удлинялась, достигая 250–300 мм вместо нескольких десятков миллиметров в обычных условиях. Это позволило увеличить напряжение на дуге, улучшило ее устойчивость и передачу тепла от дуги к металлу. Этот же магнитный поток наводил в ванне индуктированный ток, который отталкивался от токов катушки, обеспечивая перемешивание металла.

Первые печи этого типа были установлены в 1919 г. в Екатеринославских железнодорожных мастерских и в 1920 г. на Екатеринослав-

ском трубопрокатном заводе, однако «вращающаяся дуга» С. И. Тельного и Г. Е. Евреинова не имела последующего распространения на дуговых сталеплавильных печах, так как получаемый технико-экономический эффект не окупал усложнения и удорожания конструкции.

Весьма трагична судьба Георгия Евгеньевича Евреинова (1880–1937) — профессора, доктора технических наук, заведующего кафедрой горной электромеханики Днепропетровского горного института. Решением выездной сессии Военной Коллегии Верховного Суда СССР от 14 сентября 1937 г. он был приговорен к высшей мере наказания. Реабилитирован в 1956 г. посмертно.

Идея С. И. Тельного и Г. Е. Евреинова улучшить дуговую печь при помощи добавочного магнитного поля впоследствии привлекла внимание многих исследователей.

В 1928 г. инженер Л. И. Морозенский предложил устройство, предназначенное для управления дугами и одновременно для перемешивания



Рис. 1. Профессор Степан Иванович Тельнов в 1920-х гг.

металла. Вокруг ванны жидкого металла в горизонтальной плоскости по окружности кожуха располагают три катушки, питаемые трехфазным током и создающие вращающееся в горизонтальной плоскости магнитное поле, которое наводит в жидком металле ванны индуцированные токи. Механическая сила между током катушек и индуцированными токами приводит в движение металл в направлении вращения магнитного потока катушек. Система подобна асинхронному двигателю: катушки — статор, а жидкий металл — ротор, при этом металл вращается в горизонтальной плоскости. Верхняя часть каждой катушки находится над зеркалом металла и создает механические силы, отклоняющие дуги. Направление выдувания дуг изменяли переключением катушек

Испытания устройства, проведенные на печи емкостью 0,5 т, дали положительные результаты: расплав-

ление ускорилось в среднем на 30 %, удельный расход энергии уменьшился на 40 %, а обезуглероживание и дефосфация ускорились в 4–5 раз. Однако результаты испытаний, проведенных на промышленной печи 2,5 т завода «Электросталь», оказались неудовлетворительными: продолжительность расплавления и металлургических процессов, а также удельный расход электроэнергии остались прежними, хотя мощность катушек достигала 175 кВА при мощности печного трансформатора 900 кВА. Катушки Л. И. Морозенского не получили практического применения.

В 1935–1937 и 1952–1956 гг. профессор Московского института стали (МИС) Николай Валерьянович Окорков выполнил цикл теоретических и экспериментальных исследований в области электромагнитного перемешивания металла в дуговой сталеплавильной печи, в результате которых были сделаны следующие выводы:

- ✓ нижнее расположение катушек под ванной более эффективно по сравнению с боковым их расположением;

- ✓ использование токов низкой частоты (от 0,3 до 2,0 Гц) более эффективно, чем использование токов стандартной частоты 50 Гц, на которой индуцированные в ванне токи протекают по нижнему слою металла в ванне, равному всего 8–10 см; на низкой частоте используемых токов глубина проникновения переменного магнитного поля в ванну увеличивается;

- ✓ использование двухфазного статора с «расщепленной» фазой наиболее эффективно для создания механических усилий для перемешивания металла в ванне печи.

Магнитопровод перемешивателя по форме напоминает собой дугу статора асинхронного двигателя, ко-

торая имеет длину 200–600 см и должна быть не меньше диаметра зеркала металла в ванне. В статоре с так называемой «расщепленной» крайней фазой одна фаза — средняя — состоит из одной большой катушки, а вторая — крайняя — из двух меньших катушек,



Рис. 2. Профессор Георгий Евгеньевич Евреинов в 1920-х гг.

расположенных по концам статора. В таком статоре можно получить различные виды движения магнитного поля в зависимости от того, как соединены катушки крайней «расщепленной» фазы (согласно или встречно) и как подсоединены начало и конец средней фазы статора (поля, бегущие от края до края в ту или иную сторону, два встречных поля от края к середине и два расходящихся поля от середины к краям перемешивателя). Расходящиеся поля более выгодны для перемешивания, так как они создают больше циклов вращения металла. Поле, бегущее от края к краю, необходимо для организованного подкачивания шлаков.

По техническому проекту МИС завод «Днепропетросталь» (г. Запорожье) изготовил и ввел в опытно-промышленную эксплуатацию с января 1959 г. перемешиватель металла со статором низкой частоты на печи DCB-18 емкостью до 25 т. Проведенные испытания подтвердили значительное положительное влияние электромагнитного перемешивания на сокращение длительности технологического процесса и повышение качества выплавляемого металла.

Следует отметить, что впервые о промышленном применении электромагнитного перемешивания металла было сообщено в печати фирмой ASEA (Всеобщая Шведская Электрическая Компания) в 1949 г. Эта фирма применила двухфазные статоры с «расщепленной» фазой, питаемые током низкой частоты от 0,35 до 1,5 Гц. В последующее время фирма ASEA установила за рубежом около 40 таких статоров на печах емкостью от 10 до 150 т.

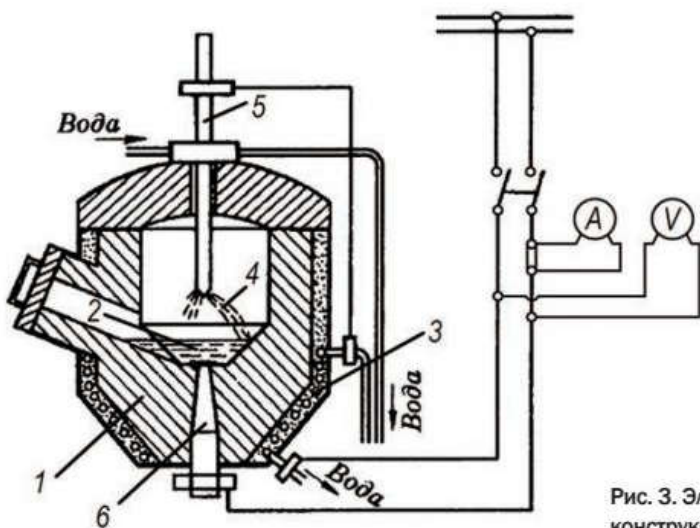


Рис. 3. Электродуговая печь конструкции Тельного — Евреинова

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ В РОССИИ И СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ (ДО 1940 г.)

Первая электродуговая сталеплавильная печь в России была установлена на Обуховском сталелитейном заводе в г. С.-Петербурге лишь в 1910 г. Печь была двухэлектродная типа Эру мощностью 500 кВА. При работе на жидкой завалке емкость печи составляла 3,5 т, при твердой завалке — 2,5 т.

Первый в России электрометаллургический завод по производству ферросплавов «Пороги» был основан «Уральским электрометаллургическим товариществом графини Е. А. Мордвиновой, графа А. А. Мордвинова, барона Ф. Т. Ропп и А. Ф. Шуппе» 6 мая 1908 г. Завод был построен на горной реке Большая Сатка в Саткинском районе ныне Челябинской области у поселка Пороги. Руководил строительством завода горный инженер А. Ф. Шуппе. В комплекс завода (рис. 4) входили: плотина, электростанция, плавильный цех, химлаборатория, дом инженера Шуппе, который находился на территории завода. В плавильном цехе были установлены две печи конструкции «Эру», каждая мощностью 350 кВА, для выплавки ферросилиция и углеродистого феррохрома. 1 июля 1910 г. завод «Пороги» был пущен в эксплуатацию.

В это же время на Алавердском заводе в Армении было организовано производство карбида кальция на электропечи мощностью 300 кВА.

В дальнейшем электрометаллургия в России продолжала развиваться крайне медленно. Толчком к ее более быстрому развитию послужила Первая мировая война, предъявившая повышенный спрос на качественную сталь для военных целей.

6 августа 1916 г. в урочище Затишье возле города Богородск (ныне Ногинск) Московской губернии был заложен завод «Электросталь» по выпуску высококачественных легированных сталей (рис. 5). Инициатором строительства завода выступил Николай Александрович Второв (рис. 6), крупнейший российский промышленник и финансист, прозванный за успешность и деловую хватку «русским Морганом». Для реализации этого проекта было создано общество «Электросталь», в которое Второв привлек крупных капиталистов М. И. Терещенко и А. И. Коновалова. Завод был оборудован четырьмя полутонными электродуговыми печами типа «Эру», импортрованными из Англии. Большая заслуга в проектировании и строительстве завода принадлежит известному русскому металлургу Николаю Ивановичу Беляеву, чье имя было позже присвоено заводу. 17 ноября 1917 г. на заводе «Электросталь» была проведена первая плавка.

Следует отметить, что в России до 1920 г. электротермические процессы не получили широкого распространения из-за слабости энергетической базы и отсутствия собственного производства электротермического оборудования, в том числе электродуговых печей. Поэтому после окончания в России Гражданской войны главное внимание в области электротермии было уделено освоению иностранного опыта. Одновременно, в соответствии с Государственным планом электрификации России (ГОЭЛРО), который был разработан в 1920 г., шло создание мощной энергетической базы страны.

В этот период широкое распространение в СССР получили дуговые сталеплавильные печи немецких фирм «Демаг» и «Сименс» и американской фирмы «Электромельт»; были завезены и английские, и итальянские электродуговые печи. На ферросплавных и карбидных заводах были установлены как круглые, так и прямоугольные трехфазные печи (немецкие и шведские) и однофазные печи типа Мигэ. Эти печи существенно различались между

собой по конструкции приводных механизмов перемещения электродов и их наклона, методам загрузки шихты, устройству электрододержателей и самих электродов. Электрооборудование этих печей (трансформаторы и реактивные катушки, токоподводы и автоматические регуляторы) также отличалось друг от друга. Освоение всей этой техники позволило накопить необходимый опыт для выбора оптимальных технических решений при создании собственных дуговых печей.

Первым шагом в создании собственной электрометаллургической промышленности в СССР было дальнейшее расширение завода «Электросталь». По мере ввода в эксплуатацию новых электропечей опыт завода «Электросталь» передавался на другие предприятия.

Датой зарождения советского электропечестроения следует признать создание в конце 1924 г. в Харькове на заводе «Электросила» (позднее — Харьковский электромашиностроительный завод) небольшой группы конструкторов электропечей. В 1925–1926 гг. этой группой были сконструированы, а затем силами завода изготовлены две первые дуговые электропечи емкостью по 0,25 т и мощностью 200 кВА. Эти печи были снабжены катушкой для вращения дуги по методу Тельного — Евреинова, отличались повышенной удельной мощностью и более высоким рабочим напряжением по сравнению с современными им иностранными печами и хорошо зарекомендовали себя в работе, в основном на выплавке фасонного литья. Руководителями работ были инженеры Л. И. Аронов и А. П. Ионов.



Рис. 4. Общий вид электрометаллургического завода «Пороги»



Рис. 5. Памятный жетон по поводу закладки завода «Электросталь»

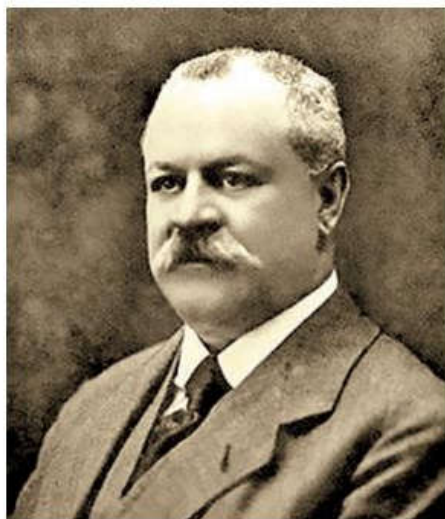


Рис. 6. Промышленник
Николай Александрович Второв

В конце 1926 г. производство трансформаторов и печей было переведено из Харькова в Москву на «Электрозавод» где, начиная с 1928 г., был создан отдел электропечей. Силами конструкторов этого отдела (Л. И. Аронова, К. М. Филиппова, А. С. Луцнера, Н. В. Огорокова и др.) в течение 1928–1938 гг. были спроектированы и освоены в производстве серия дуговых сталеплавильных электропечей емкостью 0,25–12 т, серия дуговых печей качающегося типа для плавления бронзы и других медных сплавов, некоторые ферросплавные печи и ряд других электротермических устройств. За 1928–1938 гг. на «Электрозаводе» было выпущено более 150 дуговых сталеплавильных печей общей мощностью 200 000 кВА. На заводах электропромышленности были освоены производством печные трансформаторы и реактивные катушки, а также

системы автоматического регулирования мощности дуговой печи релейно-контакторного типа.

За годы двух первых советских пятилеток (1928–1938 гг.) был построен и введен в действие ряд новых электросталеплавильных заводов, таких как электрометаллургический завод «Днепро-спецсталь» (рис. 7) в Запорожье (1932 г.), Горьковский и Ленинградский металлургические заводы и др. В том же 1932 г. на заводе «Днепро-спецсталь» были пущены первые 10-тонные печи, а в 1933 г. там же было освоено производство шарикоподшипниковой стали. Первая 15-тонная печь начала работать в 1933 г. на заводе «Электросталь». Одновременно мощные сталеплавильные цеха были построены и на крупных машиностроительных и автомобильных заводах.

Для обеспечения базы отечественной металлургии была создана ферросплавная промышленность. Был построен ряд крупных ферросплавных заводов, работавших на отечественных рудах.

В начале 1931 г. на Челябинском ферросплавном заводе была пущена в эксплуатацию первая ферросплавная печь, а в середине 1931 г. работал весь завод (семь ферросплавных печей).

Зестафонский ферромарганцевый завод (три печи с мощностью трансформатора на каждой печи 7 500 кВА) начал эксплуатироваться в октябре 1933 г.

На Днепровском ферросплавном заводе (г. Запорожье) первую большую ферросплавную печь Мигэ с мощностью трансформатора 11 000 кВА ввели в эксплуатацию в январе 1934 г. К концу этого года начали работать все шесть крупных однофазных печей Мигэ. Завод был построен с учетом ввода в эксплуатацию Днепровской ГЭС и наличия в ре-

гионе огромных запасов марганцевых руд Никопольского месторождения.

Значительную роль в становлении отечественной электрометаллургии сыграло создание в 1931 г. объединения заводов качественных сталей и ферросплавов — «Спецсталь», которому были переданы все электрометаллургические заводы.

Советская электрометаллургия стала развиваться невиданными темпами. Уже к началу второй пятилетки (1934 г.) был прекращен импорт сталей специальных марок. С 1927 по 1936 гг. годовая выплавка электростали увеличилась с 11,5 тыс. т до 862 тыс. т, т. е. в 75 раз. В результате этого СССР уже в 1935 г. вышел по выплавке электростали на первое место в Европе.

В 1935 г. на Урале в Свердловске (ныне Екатеринбург) на заводе «Уралэлектромашина» (в настоящее время «Уралэлектроаппарат») было налажено производство крупных сталеплавильных печей емкостью до 30 т и мощностью до 8 000 кВА. Кроме того, на заводе выпускались менее мощные дуговые сталеплавильные печи емкостью 0,25–10 т. Всего за пятилетие 1935–1940 гг. на «Уралэлектромашине» было изготовлено 117 дуговых сталеплавильных печей.

Успехи в создании электродуговых печей были неразрывно связаны с работами советских ученых и инженеров. Уже в начале 20-х гг. прошлого столетия в Московской горной академии (позднее — Московский институт стали и сплавов), Ленинградском политехническом институте, Днепропетровском горном (впоследствии металлургическом) институте были созданы кафедры электрометаллургии.

Впереди были большие и малые победы в развитии дуговых электропечей, которым не помешали ни война, ни трудное послевоенное время.



Рис. 7. Первая электросталеплавильная 10-тонная печь завода «Днепро-спецсталь» (производства фирмы «Демаг»), 1932 г.



Выпуск металла из электросталеплавильной печи