

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор**  
академик **Б. Е. Патон**

*Ученые ИЭС им. Е. О. Патона*

д.т.н. **Г. М. Григоренко** (зам. гл. ред.),  
д.т.н. **С. В. Ахонин**, **Д. М. Дяченко** (отв. секр.),  
д.т.н. **И. В. Кривцун**, д.т.н. **Л. Б. Медовар**,  
д.т.н. **Б. А. Мовчан**, д.т.н. **А. С. Письменный**,  
д.т.н. **А. И. Устинов**, д.т.н. **В. А. Шаповалов**

*Ученые университетов Украины*

д.т.н. **В. С. Волошин**, ПГТУ, Мариуполь  
д.т.н. **М. И. Гасик**, НМетАУ, Днепр  
д.т.н. **О. М. Ивасишин**, Ин-т металлофизики, Киев  
д.т.н. **П. И. Лобода**,  
НТУУ «КПИ им. И. Сикорского», Киев  
д.т.н. **А. В. Овчинников**, ЗНТУ, Запорожье

*Зарубежные ученые*

д.т.н. **К. В. Григорович**  
МИСиС, Москва, РФ  
д.х.н. **М. Зиниград**  
Ун-т Ариэля, Израиль  
д.т.н. **А. А. Ильин**  
МАТИ-РГТУ, Москва, РФ  
д.ф.-м.н. **Г. Младенов**  
Ин-т электроники, София, Болгария  
д.т.н. **А. Митчелл**  
Ун-т Британской Колумбии, Канада  
д.т.н. **Г. Ф. Тавадзе**  
Ин-т металлург. и материаловед.  
им. Ф. Тавадзе, Тбилиси, Грузия  
д.т.н. **Цохуа Джанг**  
Северо-Восточный ун-т, Шеньян, Китай

**Учредители**

Национальная академия наук Украины  
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ  
Международная Ассоциация «Сварка» (издатель)

Адрес редакции журнала  
**«Современная электрометаллургия»**

Институт электросварки  
им. Е. О. Патона НАН Украины  
Украина, 03150, г. Киев,  
ул. Казимира Малевича, 11  
Тел./факс: (38044) 200 82 77, 200 54 84  
Тел.: (38044) 205 22 07  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
www.patonpublishinghouse.com

**Редакторы**

**Д. М. Дяченко**, **Т. В. Юштина**  
Электронная верстка  
**Л. Н. Герасименко**, **Т. Ю. Снегирева**

Свидетельство о государственной регистрации  
КВ 6185 от 31.05.2002  
ISSN 2415-8445

DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/sem>

Рекомендовано к печати

Ученым советом ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины

Журнал входит в перечень утвержденных МОН  
Украины изданий для публикации трудов  
соискателей ученых степеней

При перепечатке материалов ссылка на журнал  
обязательна. За содержание рекламных материалов  
редакция журнала ответственности не несет

**СОДЕРЖАНИЕ**

К 60-летию ЭШП! .....	3
60 лет ЭШП на заводе «Днепроспецсталь» .....	4
<b>Давидченко С. В., Панченко А. И., Билоник И. М.,</b> <b>Логозинский И. Н., Сальников А. С., Федыкой А. Г.</b> Исследование влияния инокуляторов на диспергирование литой структуры стали X12МФ-Ш .....	13
<b>Чжоу-хуа Цзян, Сю Чень, Синь Ген, Цян Ю.</b> Металлургические характеристики крупных слябов, полученных электрошлаковым переплавом .....	19
<b>Медовар Л. Б., Стовпченко А. П., Полишко А. А., Коломиец Д. А.,</b> <b>Педченко Е. А., Зайцев В. А.</b> Современные рельсовые стали и возможности ЭШП (Обзор). Сообщение 2. Требования стандартов к химическому составу стали для железнодорожных рельсов магистральных путей .....	28
<b>Григоренко Г. М., Козин Р. В.</b> Растворимость азота во флюсах для электрошлаковых технологий .....	37
<b>Кусков Ю. М., Соловьев В. Г., Лентюгов И. П., Жданов В. А.</b> Роль шлаковой ванны в процессе наплавки в токоподводящем кристаллизаторе .....	41
<b>Протокивиллов И. В., Назарчук А. Т., Петров Д. А., Порохонько В. Б.</b> Технологические и металлургические особенности выплавки слитков титановых сплавов в электрошлаковых печах камерного типа .....	45
<b>Кусков Ю. М., Биктагиров Ф. К., Грищенко Т. И., Евдокимов А. И.</b> Формирование структуры высокохромистого чугуна, наплавленного дробью в токоподводящем кристаллизаторе .....	52
Технологии проектирования и изготовления узлов медных кристаллизаторов .....	56
Специальное металлургическое оборудование: электропечи компании «Zhenwu» .....	62

ЗМІСТ

CONTENTS

До 60-річчя ЕШП! .....	3
60 років ЕШП на заводі «Днепрспецсталь» .....	4
<i>Давидченко С. В., Панченко А. І., Білонік І. М., Логозинський І. Н., Сальніков А. С., Федьков А. Г.</i> Дослідження впливу інокуляторів на диспергування литої структури сталі Х12МФ-Ш .....	13
<i>Чжоу-хуа Цзян, Сю Чень, Синь Ген, Цян Ю.</i> Металургійні характеристики великих слябів, отриманих електрошлаковим переплавом .....	19
<i>Медовар Л. Б., Стівченко Г. П., Полішко Г. О., Коломієць Д. О., Педченко Є. О., Зайцев В. А.</i> Сучасні рейкові сталі і можливості ЕШП (Огляд). Повідомлення 2. Вимоги стандартів до хімічного складу сталі для залізничних рейок магістральних колій .....	28
<i>Григоренко Г. М., Козін Р. В.</i> Розчинність азоту у флюсах для електрошлакових технологій .....	37
<i>Кусков Ю. М., Соловйов В. Г., Лентюгов І. П., Жданов В. О.</i> Роль шлакової ванни в процесі наплавлення в струмопідвідному кристалізаторі .....	41
<i>Протоковілов І. В., Назарчук О. Т., Петров Д. А., Порохонько В. Б.</i> Технологічні та металургійні особливості виплавки зливків титанових сплавів в електрошлакових печах камерного типу .....	45
<i>Кусков Ю. М., Біктагіров Ф. К., Грищенко Т. І., Євдокимов А. І.</i> Формування структури високохромистого чавуну, наплавленого дробом в струмопідвідному кристалізаторі .....	52
Технології проектування і виготовлення вузлів мідних кристалізаторів .....	56
Спеціальне металургійне обладнання: електропечі компанії «Zhenwu» .....	62

To 60 <sup>th</sup> anniversary of ESR .....	3
60 years of ESR at the «Dneprospsstal» plant .....	4
<i>Davidchenko S.V., Panchenko A.I., Bilonik I.M., Logozinsky I.N., Salnikov A.S., Fedkov A.G.</i> Investigation of effect of inoculators on dispersion of steel Kh12MF-Sh cast structure .....	13
<i>Zhou-hua Jiang, Xu Chen, Xin Geng, Qiang Yu.</i> Metallurgical characteristics of large slabs, produced by electroslag remelting .....	19
<i>Medovar L.B., Stovpchenko A.P., Polishko A.A., Kolomiets D.A., Pedchenko E.A., Zaitsev V.A.</i> Modern rail steels. application of ESR (Review). Information 2. Requirements of standards to chemical composition of steel for railway rails of main-line tracks .....	28
<i>Grigorenko G.M., Kozin R.V.</i> Nitrogen solubility in fluxes for electroslag technologies .....	37
<i>Kuskov Yu.M., Solovjev V.G., Lentjugov I.P., Zhdanov V.A.</i> Role of slag pool in process of surfacing in current-carrying mould .....	41
<i>Protokovilov I.V., Nazarchuk A.T., Petrov D.A., Porokhonko V.B.</i> Technological and metallurgical peculiarities of melting the titanium alloy ingots in chamber-type electroslag furnaces .....	45
<i>Kuskov Yu.M., Biktagirov F.K., Grishchenko T.I., Evdokimov A.I.</i> Formation of structure of high-chromium cast iron, surfaced by shots in current-carrying mould .....	52
Technologies of design and manufacturing of copper crucible assemblies .....	56
Special metallurgy equipment: electric furnaces of «Zhenwu» company .....	62

Адреса редакції журналу

«Сучасна електрометалургія»  
Інститут електрозварювання ім. С. О. Патона НАН України  
Україна, 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11  
Тел./факс: (38044) 200 82 77, 200 54 84; тел.: 205 22 07  
E-mail: journal@paton.kiev.ua; www.patonpublishinghouse.com  
Свідцтво про державну реєстрацію КВ 6185 от 31.05.2002  
ISSN 2415-8445, DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/sem>

Editorial Address

of Journal «Electrometallurgy Today»  
The E. O. Paton Electric Welding Institute, NASU  
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine  
Tel./Fax: (38044) 200 82 77, 200 54 84; Tel.: 205 22 07  
E-mail: journal@paton.kiev.ua; www.patonpublishinghouse.com  
State Registration Certificate KV 6185 of 31.05.2002  
ISSN 2415-8445, DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/sem>

## К 60-летию ЭШП!

Весной 1958 г. в Украине на заводе «Днепропецсталь» (г. Запорожье) и «Новокраматорском машиностроительном заводе» (г. Краматорск) впервые в мире началось промышленное производство стали высочайшего качества способом электрошлакового переплава (ЭШП) — переплава расходуемых электродов в водоохлаждаемом кристаллизаторе под действием переменного тока, проходящего через синтетический шлак. Созданный в Институте электросварки им. Е. О. Патона (ИЭС) новейший металлургический процесс быстро распространился по миру благодаря лицензиям на технологию и оборудование, которые приобретали металлургические компании различных стран.

Именно с появлением ЭШП сформировалось новое направление в металлургии — специальная электрометаллургия. Долгое время исследователи и конструкторы ИЭС были бесспорными лидерами в гонке с передовыми мировыми компаниями и университетами как в исследовании процесса ЭШП, так и в создании оборудования для различных технологий ЭШП (получение листовых, полых, а также крупных кузнечных слитков). Знаковым событием этого этапа было создание нашими специалистами технологии и оборудования печи ЭШП для получения 40-тонных листовых слитков так называемых «Z-сталей» с высокими свойствами по толщине проката. Именно благодаря бифилярной технологии ЭШП листовых слитков достигнуты непревзойденные и сегодня показатели изотропности физико-механических свойств высокопрочных хромоникелемолибденовых сталей, из которых были построены корпуса атомных подводных лодок в СССР. Еще одно направление, созданное именно в ИЭС, — это получение электрошлакового литого металла с механическими свойствами на уровне деформированного.

Отметим, что только сегодня благодаря этим работам становятся понятными технико-экономические преимущества ЭШП именно по сочетанию высокого металлургического качества металла с существенным уменьшением отходов по сравнению с другими технологическими процессами производства сталей и сплавов, особенно для изделий большого веса.

Напомним, что в начале своего победного пути в промышленности ЭШП был способом получения стали с минимальным уровнем вредных примесей и популярный сегодня среди металлургов термин «чистая сталь» был предложен именно в ИЭС для металла ЭШП (Патон Б. Е., Медовар Б. И. (1966) Чистая Сталь, Киев), а теперь он широко применяется металлургами мира для современных сталей, прошедших внепечную обработку. В этом году будет проведена десятая традиционная международная конференция под этим же названием (<http://cleansteel10.com/index.php>). Можно сказать, что современные требования к чистоте стали любых способов производства во многом базируются на стандартах чистоты металла электрошлакового переплава.

В современной практике ЭШП для удаления вредных примесей почти не применяют. Он нужен прежде всего для управления затвердеванием металла, уменьшения неоднородности его литой структуры и соответственно обрезки головной и донной частей слитков. Наиболее показателен пример изготовления роторов для мощных турбин блоков «миллионников» АЭС. Дляковки такого ротора используют кузнечный слиток весом не менее 600...650 т. Сегодня ведутся работы по замене таких уникальных слитков 450-тонными слитками ЭШП. А конечный вес ротора будет одинаковый — менее 300 т. Мировая практика показывает, что упрощенный вид ЭШП (электрошлаковая подпитка) является действенным при весе слитков примерно до 100...150 т. При увеличении веса целесообразнее использовать ЭШП. Поэтому последние десятилетия отмечены своеобразным возрождением печей ЭШП для получения слитков массой 100...200 т, заменяющих обычные отлитые в изложницы кузнечные слитки массой 140...280 т.

Продолжаются и углубляются научные исследования физико-химических особенностей ЭШП во всем мире. Это становится основой для освоения новых сталей и сплавов, использования возможностей капельного переноса металла при ЭШП, создания все более совершенных математических моделей процесса.

Некоторые результаты исследований электрошлакового процесса собраны в этом юбилейном номере. Этапы промышленного развития и внедрения ЭШП в Украине представлены в статье наших коллег — специалистов славной «Днепропецстали».

От редколлегии



## 60 ЛЕТ ЭШП НА ЗАВОДЕ «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»

Начало развития способа ЭШП приходится на середину сороковых годов прошлого столетия. В то время специалисты Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР вопреки мнению многочисленных оппонентов показали, что решением проблемы надежности сварных конструкций является повышение чистоты и однородности структуры основного металла [Медовар Б. И., Латаш Ю. В. (1965) *Электрошлаковый переплав*. Киев, Наукова думка]. Эта идея послужила толчком для проведения колоссальных работ по улучшению качества стали. Начиная с 1954 г. в Институте электросварки им. Е. О. Патона под руководством академика Б. Е. Патона группа ученых в лице докт. техн. наук Б. И. Медовара, канд. техн. наук Ю. В. Латаша и инженера Б. Н. Максимова проводили исследовательские разработки способов улучшения качества стали. Результаты глубоких научных исследований качества металла слитков в несколько килограммов, наплавленных на аппаратах электрошлаковой сварки, стали началом по внедрению в производство способа ЭШП.

В 1957 г. в г. Свердловске (сейчас г. Екатеринбург) на Всесоюзном совещании сталеплавателей Б. Е. Патон, Б. И. Медовар и Ю. В. Латаш сделали доклад «Электрическая выплавка высоколегированной стали и сплавов в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе». Так на стыке двух областей техники — сварки и металлургии родился новый прогрессивный процесс — электрошлаковый переплав.

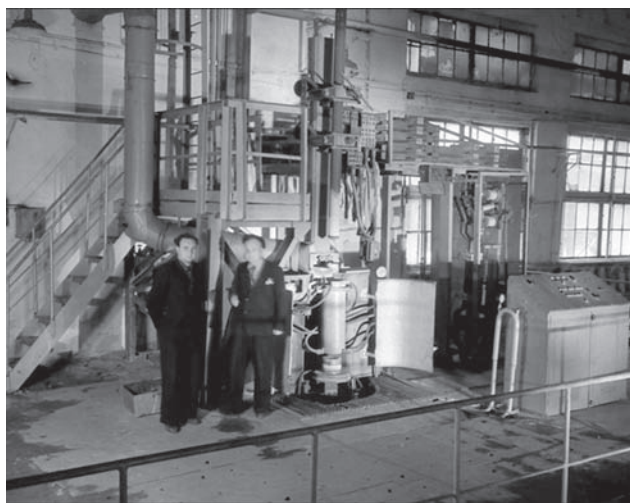


Рис. 1. Первая в мире опытно-промышленная печь ЭШП Р-909. Стоят у печи слева направо Ю. В. Латаш и Г. П. Маликов (ИЭС им. Е. О. Патона и ДСС), май 1958 г.

«ВПЕРВЫЕ В СОЮЗЕ», «ВПЕРВЫЕ В МИРЕ»!

Именно эти слова и понятия уверенно звучали в конце 50-х гг. на заводе «Днепроспецсталь», когда речь шла о внедряемых в производство принципиально новых способах выплавки стали — электрошлаковым и вакуумно-дуговым переплавах.

Внедрение в жизнь промышленного способа получения электрошлаковой стали осуществилось благодаря директору завода «Днепроспецсталь» А. Ф. Трегубенко, который обладал удивительным чутьем на все новое и перспективное, а также самому яркому приверженцу новых металлургических процессов С. А. Лейбензону.

Выдержка из книги «Это наша с тобой биография» [Лейбензон В. А., Кренделев В. Н. (2000) *Это наша с тобой биография*. Запорожье, Издательство «Тандем-У»]: «В 1957 г. по заводу поползли тревожные слухи: директор затевает в СПЦ-1 какое-то опасное дело. Из адъюстажного отделения вывезли все оборудование и начали строить вакуумные дуговые печи, за которыми уже тянулся шлейф дурной славы. Плавил раньше в этих печах слитки титана и незадолго до этого произошло несколько взрывов печей с человеческими жертвами и большими разрушениями. Это одно. Но он еще начал строить печь совсем неведомого назначения, которое называли «электрошлаковый переплав» (ЭШП). Идею и первую опытно-промышленную печь под это назначение привезли из Киева, из Института электросварки имени Е. О. Патона (ИЭС). Было известно, что суть этого процесса заключается в расплавлении стальной штанги в слое шлака, температура которого достигает 2000 °С. А весь процесс происходит в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе. Да какая же медь выдержит эту «сумасшедшую» температуру? «Жахнет», как пить дать! Ой, мудрит директор... Тем более, что его никто особенно и не заставлял это делать. Насчет освоения вакуумного дугового переплава (ВДП) стали указания министерства носили больше рекомендательный характер, там тоже побаивались взрывов, а об ЭШП в министерстве вообще толком ничего не знали, хотите — стройте на свой страх и риск и за свой счет. И А. Ф. Трегубенко строил, чуял — дело стоящее. И не ошибся. Первая плавка ЭШП была выплавлена 28 мая 1958 г. на установке Р-909 (рис. 1). Плавку подготовили и «варили» под руководством представителей ИЭС, плавильный мастер СПЦ-1 Л. И. Лаврентьева и сталевар И. Серый. Участвовали в плавке, как положено, дежурный слесарь и электрик, присутствовали



Рис. 2. Первые слитки ЭШП

на плавке руководители цеха и представители некоторых отделов и служб завода.

На первой плавке не было, как обычно в таких случаях, «вавилонского столпотворения» — недобрые слухи о новых процессах сделали свое дело. К окончанию плавки пришел А. Ф. Трегубенко, ознакомился с ходом процесса. После отключения печи и небольшой выдержки слиток извлекли из кристаллизатора, оббили с его поверхности шлак и увидели... совершенно гладкую поверхность без литейных дефектов, свойственных слиткам, отлитым в изложницы. Первый слиток был диаметром 250 мм, весил 300 кг».

Таким образом, впервые в мире, впервые в союзе 28 мая 1958 г. на заводе «Днепроспецсталь» получен полупромышленный слиток электрошлакового переплава (рис. 2). Новое структурное подразделение на заводе было отнесено к ЦЗЛ как вакуумная лаборатория, возглавил ее заместитель начальника ЦЗЛ С. А. Лейбензон, которого позднее назначили начальником пятого сталеплавильного цеха.

Результаты по качеству металла первых плавков были, что называется, ошеломляющими. Металл ЭШП отличался от металла обычной выплавки удивительной плотностью и однородностью, а главное — низкой загрязненностью неметаллическими включениями. Выполнение исследований качественных характеристик металла контролировал лично А. Ф. Трегубенко, которые тщательно проводились группой специалистов ЦЗЛ. В результате директор завода А. Ф. Трегубенко принимает решение строить промышленные печи по производству слитков ЭШП своими силами.

Рассказывает главный механик завода того времени В. И. Немзер: «Была создана проектная группа из конструкторов проектного отдела и конструкторского бюро отдела главного механика (КБ ОГМ). Поставлена задача: спроектировать трехфазную электрошлаковую печь. Проектирование шло сложно и трудно, так как это была первая печь в мире и опыта проектирования не было,

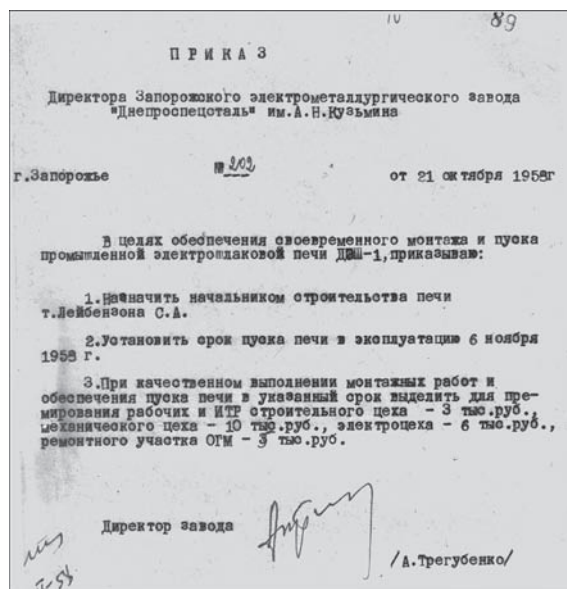


Рис. 3. Приказ директора завода «Днепроспецсталь» о вводе печи ЭШП ДЭШ-1 (ДСС-1) в эксплуатацию

твердо сказать делаем правильно или нет затруднялись». Проект был выполнен в срок и изготовление двух трехфазных печей поручили службе главного механика. Согласно приказу № 202 от 21 октября 1958 г. печь планировали ввести в эксплуатацию 6 ноября 1958 г. (рис. 3). Заводские специалисты ремонтно-механического и электроремонтного цехов почти в установленный срок смонтировали и ввели в эксплуатацию в декабре 1958 г. две первые промышленные печи для электрошлакового переплава [Лейбензон С. А., Трегубенко А. Ф. (1962) *Производство стали методом электрошлакового переплава*. Москва, Металлургиздат] (рис. 4), чем положили начало промышленного внедрения новой технологии производства высококачественной стали».

Новая установка промышленного назначения, названная ДСС-1 (ДЭШ-1), состояла из двух одинаковых блоков. Каждый блок состоял из трех кристаллизаторов съемной конструкции. На печи можно было использовать различные кристалли-

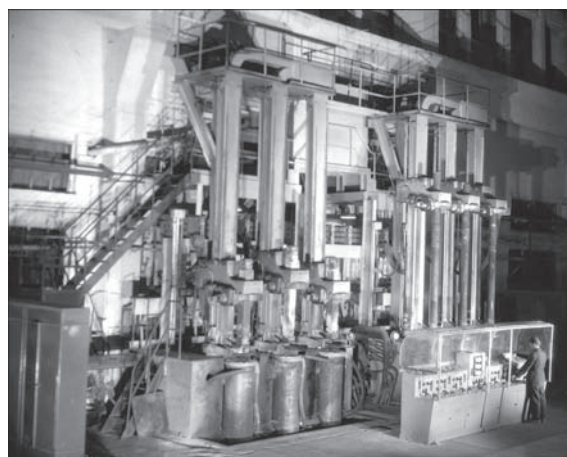


Рис. 4. Первая промышленная установка ДСС-1



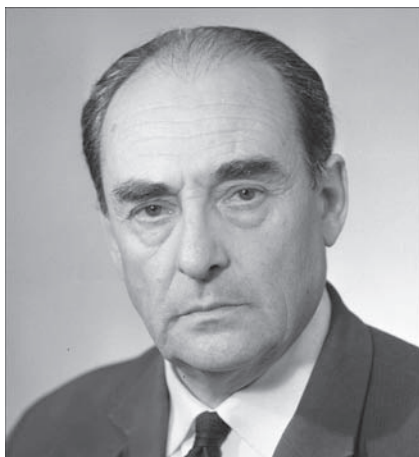


Рис. 5. С. А. Лейбензон — первый начальник электрошлакового цеха СПЦ-5 на заводе «Днепропеталь»

затары: диаметром 300 и 425 мм (масса слитков 700 и 1100 кг соответственно) и квадратного сечения со стороной 310 мм (1100 кг).

С пуском промышленной печи ЭШП вакуумная лаборатория была ликвидирована и образован новый цех — СПЦ-5 (сталеплавильный цех № 5) во главе с С. А. Лейбензоном (рис. 5).

Металл ЭШП пошел к потребителю, отзывы были самые восторженные и его стали требовать в больших количествах. Печи ЭШП начали строить на электрометаллургических и некоторых машиностроительных заводах, а затем лицензии на процесс ЭШП были закуплены основными развитыми капиталистическими странами. Началось триумфальное шествие процесса ЭШП по всему миру.

Первые публикации о новом эффективном процессе получения высококачественных слитков, а значит сортового проката и листа, специальных профилей и поковок буквально всколыхнули мировую металлургическую общественность.

Кроме приобретения лицензий на использование процесса ЭШП крупные зарубежные металлургические компании приглашали специалистов ДСС и ИЭС на шефмонтаж, пуск оборудования и обучение специалистов работе на печах ЭШП, приемам работы и искусству получения особо



Рис. 6. Академик Б. И. Медовар докладывает о ходе работ Президенту АН СССР В. М. Келдышу в СПЦ-5

высококачественных слитков из сталей и сплавов самого широкого назначения. Одной из первых фирм, пригласивших группу из четырех специалистов-технологов из ИЭС им. Е. О. Патона в 1970 г., была шведская фирма «Авеста-Ернберг» (г. Авеста). От завода «Днепропеталь» в состав этой бригады был включен заместитель начальника СПЦ-5 Казаков С. С. Следует отметить, что работали все не только в качестве консультантов, приходилось работать сталеварами, проектантами, сварщиками, операторами и даже машинистами кранов, невзирая на должности и звания.

При выполнении контрактов основную долю опытных плавок выполняли исключительно украинские специалисты и лишь затем к печи постепенно допускались сотрудники компании. Следует отметить, что в процессе освоения печи на «Авесте» сразу были выплавлены листовые слитки массой 10 т, из которых получен полируемый лист из нержавеющей стали, полностью отвечающий требованиям заказчиков из Англии и других стран.

В конце 60-х годов специальными решениями директивных органов страны было принято решение об организации производства крупногабаритного толстолистого проката из слитков ЭШП для нужд оборонной техники. Работу проводили специалисты завода «Днепропеталь», ИЭС, ЦНИИЧермет, «Прометей» и других организаций. В самые сжатые сроки в СПЦ-5 были смонтированы и пущены в эксплуатацию сначала две печи У-436, затем ЭШП-16 и вскоре три печи ЭШП-20. Этой работе придавалось исключительно важное значение со стороны Академии Наук.

В 1973 г. на пуск 40-тонной листовой печи ЭШП, разработанной по проекту ИЭС им. Е. О. Патона, командирована очередная группа украинских специалистов. Печь была смонтирована на одном из заводов крупнейшей в мире сталеплавильной



Рис. 7. Бригада украинских специалистов во главе с Б. И. Медоваром (третий слева) вместе с сотрудниками фирмы «Ниппон Стил Корпорэйшин» на 40-тонном слитке ЭШП, Япония, г. Явата, 1974 г.

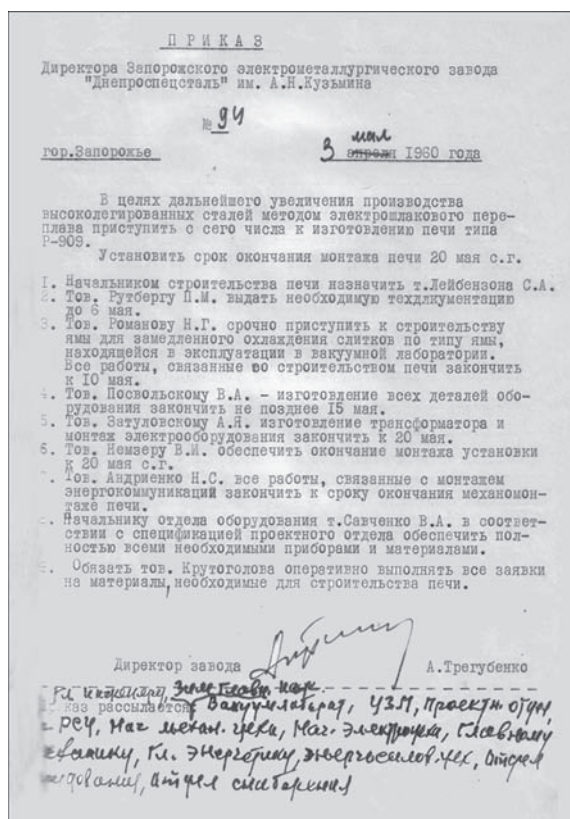


Рис. 8. Приказ директора завода А. Ф. Трегубенко о строительстве печи Р-909 № 94 от 03 мая 1960 г.

компании «Ниппон Стил Корпорэйшн» (Япония, г. Явата). В группу специалистов включили знаменитого сталевара, работающего на листовых печах СПЦ-5 ДСС Миняйло Н. И. В команде от ИЭС состоял ныне доктор технических наук Богаченко А. Г., который при освоении листовых печей на заводе «Днепрспецсталь» в прямом смысле слова дневал и ночевал в цехе. Это был замечательный тандем, который отлично работал в Японии.

На рис. 7 запечатлен уникальный листовой слиток весом 40 т, на котором расположились японские и украинские специалисты, среди которых академик НАН Украины Медовар Б. И. (третий слева), Богаченко А. Г. (четвертый слева) и Миняйло Н. И. (шестой слева).

В 1974–1975 гг. передавали технологию и свои навыки по введению в эксплуатацию печи ЭШП на заводе «Благодой Попов» (Болгария, г. Перник). В состав делегации кроме специалистов ИЭС им. Е. О. Патона были включены и специалисты завода «Днепрспецсталь» — заместитель начальника СПЦ-5 С. С. Казаков и сталевар СПЦ-5 В. И. Зиновьев. Все пункты контрактов были успешно выполнены.

Продолжим наши воспоминания как осваивали процесс ЭШП на заводе «Днепрспецсталь» и как менялся сам завод.

С целью увеличения производства стали способом ЭШП директор завода А. Ф. Трегубенко вы-

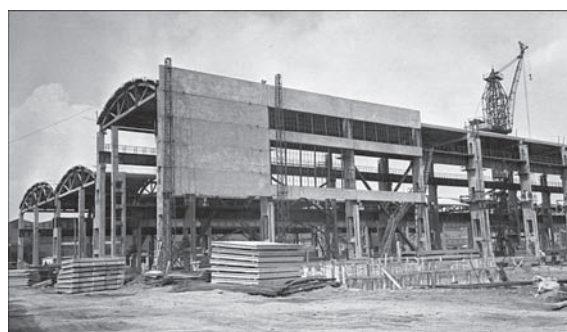


Рис. 9. Фрагмент строительства основного здания СПЦ-5 пускает приказ № 94 от 3 мая 1960 г. о строительстве печи ЭШП Р-909 (рис. 8).

Необходимость увеличения производства стали и улучшения его качественных характеристик стимулировалось в то время государством в связи с возрастающей потребностью страны в металле для нужд оборонной промышленности. И в августе 1961 г. начинается строительство нового крупнейшего в Европе цеха электрошлакового и вакуумно-дугового переплавов (рис. 9, 10).

Техническое задание для проектирования цеха готовили специалисты нашего завода с самым активным участием сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона и с привлечением компетентных представителей технологических и проектных институтов. Проектировала цех запорожская бригада «Укр-гипромеза» (руководитель Ю. А. Матвиенко). Но сам по себе цех должен был представлять только часть, хотя и главную, целого комплекса, в который входили: строящееся в СПЦ-1 отделение полупрерывной разливки стали (УПНРС) для отливки электродов и проектируемый для завода кузнечно-прессовый цех (КПЦ), значительную часть производственной программы которого должны были составлять поковки из слитков ЭШП и ВДП.

Головной цех комплекса СПЦ-5 построили трехпролетным с открытой эстакадой для раскроя электродов. Печной пролет цеха состоял из двух отделений — ЭШП и ВДП. В отделении ЭШП монтировали печи для выплавки сортовых слит-



Рис. 10. Фрагмент строительства сортового отделения ЭШП-1 СПЦ-5



ков (для производства прутков и поковок) двух типов: ОКБ-1065 под слиток максимального веса 4,2 т (основной электрод литой квадрат 370 мм) и ОКБ-905 под слиток максимального веса 2,5 т (основной электрод — литой круг 235 мм). Печи для этого отделения спроектировали и построили на Дагестанском заводе электротермического оборудования (ДагЗЭТО). Позже для этого отделения в ИЭС им. Е. О. Патона спроектировали печи ЭШП типа У-328 и У-436 с прямоугольными кристаллизаторами для выплавки листовых слитков весом 5 и 10...12 т соответственно из катаных электродов необходимых размеров. Хотя проект этих печей был, но изготавливать их ни один специализированный завод не брался и пришлось уже ранее проверенным способом строить эти печи силами машиностроительных предприятий Запорожской области. Так были строены печи типа У-436, а печь У-328 создана в ИЭС и передана заводу.

Отделение ВДП было в основном оснащено печами типа ДСВ-6,3-Г6 — дуговые, сталеплавильные, вакуумные печи с максимальным диаметром кристаллизатора 630 мм для получения слитка весом до 6-ти т. Под эти слитки отливали электроды в составные кокильные изложницы. Промежуточным для этих печей был кристаллизатор диаметром 500 мм под слиток весом до 4-х т для переплава литых на УПНРС электродов диаметром 405 мм. Второй тип печей для отделения ВДП-ДСВ-3,2-Г1, т. е. с кристаллизатором диаме-

тром 320 мм для получения слитков весом до 1-й т из литых электродов диаметром 235 мм.

В СПЦ-5 параллельно печному пролету строили термическое отделение с колпаками для замедленного охлаждения и электроколюдами для термообработки слитков ЭШП и ВДП. Далее следовало адьюстажное отделение, оснащенное отрезными и обдирочными станками для обдирки электродов и слитков ВДП. Были в этом отделении и установки для зачистки поверхности электродов ЭШП. Напомним, что КПЦ в середине 60-х гг. был еще только в стадии проектирования и на него (в части освоения производства металла переплавных процессов) в это время надежды не возлагали. Так был задуман на заводе комплекс по производству стали и сплавов способами ЭШП и ВДП. Большинство этих замыслов воплощены в жизнь и, более того, многие элементы намеченной технологической цепочки позже были уточнены и усовершенствованы. СПЦ-5 завода «Днепрспецсталь» по большинству параметров, не исключая и эстетическую сторону вопроса, получился на славу и после его полного запуска в работу стал объектом паломничества металлургов из многих стран мира.

Пуск СПЦ-5 состоялся в июле 1966 г. Из книги М. С. Вульфовича: «К этому времени завод располагал ограниченным парком кристаллизаторов, освоенных ранее в вакуумной лаборатории, под максимальный слиток квадрат 350 мм весом



Рис. 11. Отделение сортовых печей ЭШП СПЦ-5



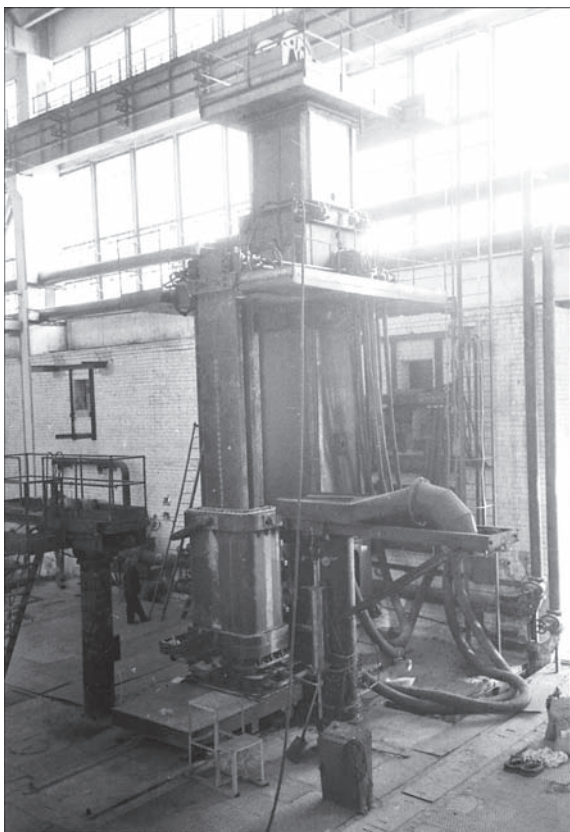


Рис. 12. Первая в мире бифилярная печь ЭШП У-436 для выплавки листовых слитков массой 9...13 т

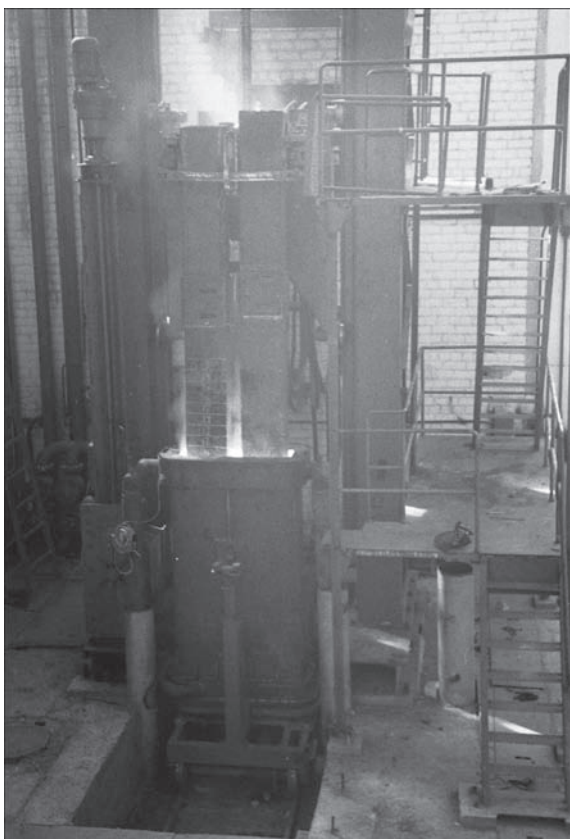


Рис. 13. Первая опытно-промышленная бифилярная печь ЭШП для производства листовых слитков массой 5 т

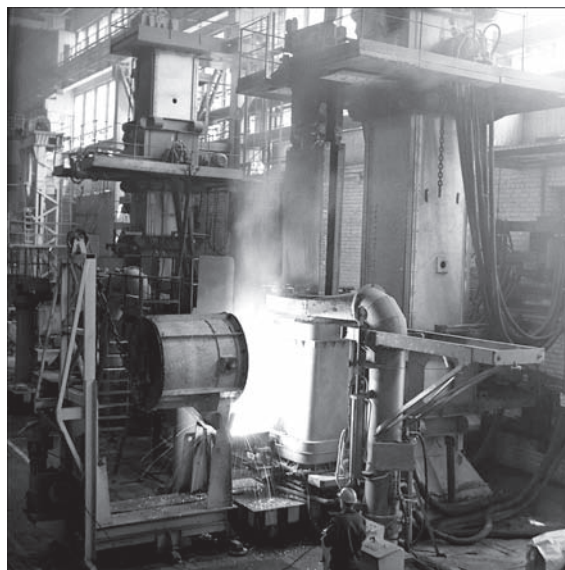


Рис. 14. Заливка шлака сифонным способом на печи ЭШП для выплавки листовых слитков массой 10 т

1500 кг. Переплавливали в них катаные электроды квадрат 180...195 мм. Эти самые кристаллизаторы и электроды к ним были использованы для пуска новых печей в СПЦ-5. А произошло это, без преувеличения можно сказать, историческое для нашего завода событие в начале июля 1966 г. и было достаточно эмоционально описано в статье «Старт цеха-гиганта» спецкора газеты «Индустриальное Запорожье» Т. Гришина, опубликованной 5 июля 1966 г. Цитируем: «2 июля, 12 часов дня. На рабочей площадке начальник цеха С. А. Лейбензон, старший мастер С. С. Казаков, старший электрик цеха Т. М. Бродский. Плавку под руководством мастера Л. В. Фролова готовит сталевар Артур Вяткин и его подручный Николай Ряснов.

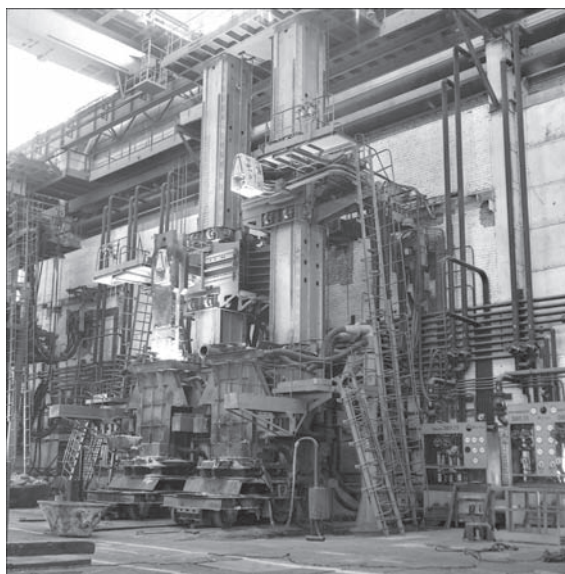


Рис. 15. Печи ЭШП 20 ВГ для получения листовых слитков массой до 20 т

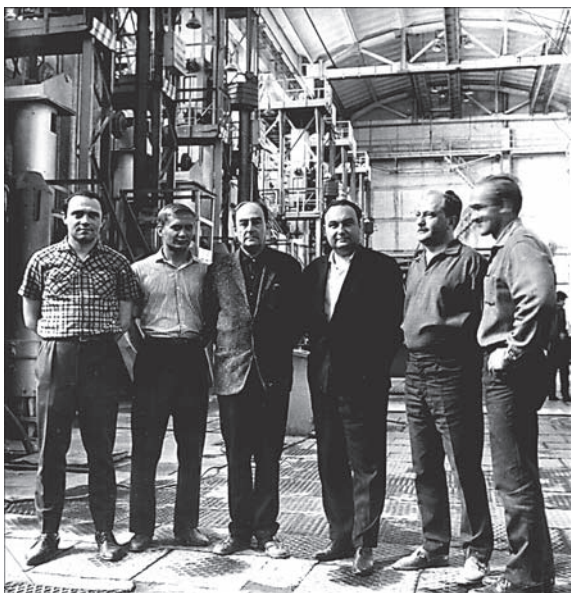


Рис. 16. Ученые ЭШПисты-первопроходцы в СПЦ-5 завода «Днепроспецсталь». Слева направо: Г. П. Кагановский, С. С. Казаков, С. А. Лейбензон, Ю. В. Латаш, В. Д. Кучеров, А. Г. Богаченко, 1965 г.

Следует команда: «Включить печь!». Поворот рукоятки, на световом табло загорается надпись: «Включена». Плавка началась. Собравшиеся поздравляют друг друга с пуском цеха. С лица А. Вяткина не сходит улыбка, он не скрывает своей радости, ведь именно ему посчастливилось вести эту плавку на новом агрегате в новом цехе.

Новый цех-гигант принял старт.

Первые три печи ЭШП (первый блок) начали работать практически одновременно. Акт приемки цеха в эксплуатацию был подписан в министерстве 30 сентября 1966 г. — официальная дата рождения цеха. Второй блок (печи 4–6) был пущен 3 ноября, а седьмая печь ОКБ-1065 (завершение первой очереди цеха) начала плавить металл с 3 декабря 1966 г.»».

С пуском основного отделения СПЦ-5 прежний цех первоначально был переименован в СПЦ-6, затем в отделение СПЦ-5 (рис. 11). В этом цехе в



Рис. 17. Лауреаты Государственной премии Украины 1977 г. в области науки и техники. В центре первого ряда Президент Академии наук УССР Б. Е. Патон

1966 г. трехфазные печи ЭШП заменили на более совершенные — однофазные. Руководили цехом в разное время В. П. Акулов и В. И. Положай.

В 1967 г. в СПЦ-5 введены в эксплуатацию две печи ОКБ-1065 (печи 8, 9) и четыре печи ОКБ-905 (печи 10–13). Печи 1–9 предназначены для получения сортовых слитков массой 4,3 т сечением квадрат 565 мм, печи 10–13 — для слитков массой 2,2 т сечением квадрат 415 мм. В том же 1967 г. 22 декабря в цехе впервые в союзе введена в эксплуатацию первая на заводе печь ЭШП У-436 для выплавки листовых слитков массой 10 т (рис. 12). В 1968 г. продолжалось наращивание мощностей по производству листовых слитков ЭШП и были введены еще две печи — У-436 и У-328 (рис. 13, 14). В конце 1968 г., а именно 31 декабря произошло крайне важное событие для развития переплавных процессов на заводе. В СПЦ-1 получена первая отливка на установке полунепрерывной разливки стали (УПНРС). Назначение этой установки — отливка электродов сечением квадрат 370 мм для производства сортовых слитков ЭШП и электродов диаметром 405 мм для ВДП.

Значительным технологическим объектом, введенным в работу в 1974 г., стала листовая печь ЭШП-16ВГ в СПЦ-5. Первую плавку на новой печи проводили 4 сентября. Плавку вел сталевар А. С. Соколов под руководством исполняющего обязанности старшего мастера Л. В. Фролова с участием руководителя группы ЦЗЛ Г. П. Кагановского. Плавка прошла нормально.

В 1976 г. произвели расширение цеха за счет пристройки дополнительного отделения, в котором разместили три сдвоенных листовых электрошлаковых печи для получения слитков массой до 20 т (рис. 15).

Основным потребителем металла ЭШП была оборонная промышленность. За высокие качественные характеристики и пластичность, которую особенно оценили специалисты деформационного передела, металлурги и машиностроители назвали его «ДЕЛИКАТЕСНЫМ».

**Сплав науки с производством.** Высокие темпы внедрения процесса ЭШП и ввода в эксплуатацию печей потребовали от разработчиков своевременного технологического обеспечения. Промышленной технологии выплавки такого металла не было, да и не могло быть, ведь она разрабатывалась впервые в мире на заводе «Днепроспецсталь». Не все шло гладко, для обеспечения качества слитков «патоновцы» и специалисты институтов, что называется ночевали и дневали непосредственно возле печи и отработывали технологию плавки.





Рис. 18. Слиток из стали X12MF-III диаметром 800 мм и массой 6 т

В числе первых огромный научный вклад в разработку технологии электрошлакового переплава на заводе «Днепропетцсталь» внесли директор завода А. Ф. Трегубенко, кандидаты технических наук С. А. Лейбензон, В. Смоляков, К. С. Ельцов, Е. И. Мошкевич, С. С. Казаков, Г. П. Кагановский, М. С. Вульфович, А. И. Хитрик. От ИЭС им. Е. О. Патона: Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш, А. Г. Богаченко и др. Первые плавки ЭШП проводили сталевары И. Серый, А. Степанов, И. Христич, Н. Меняйло, В. Брацило, А. Синченко, Ю. Гогун и др. В процессе пуска печей и освоении технологии ЭШП участвовали: Л. Фролов, С. Казаков, В. Положай, Г. Бродский, А. Фукс, И. Бакуль, Е. Маркович, А. Константинов, В. Кукула, В. Добровольский, И. Чухлетов, А. Кондрашин, В. Зиновьев, П. Гайчук, В. Сержантов, А. Коломоец.

За освоение и развитие переплавных процессов на заводе «Днепропетцсталь» директору завода А. Ф. Трегубенко присвоено звание лауреата

Таблица 1. Производство стали на заводе «Днепропетцсталь»

Год	Выплавка стали в СПЦ-1, 2, 3, т	Выполнение плана, %	Выплавка стали в СПЦ-5, т
1975	1363775	101,1	102000
1976	1393205	100,7	112000
1977	1392124	101,0	134000
1978	1394416	100,5	142000
1979	1368891	100,0	147000



Рис. 19. Слиток из стали ШХ15СГ-III сечением квадрат 565 мм при извлечении из кристаллизатора



Рис. 20. Слитки из стали 08X18N10T-III сечением квадрат 565 мм и массой 4,3 т

Таблица 2. Производство стали способом ЭШП на заводах МЧМ СССР

Год	Рост производства электрошлакового металла*	Количество марок сталей, полученных способом ЭШП	Увеличение максимального развеса слитков ЭШП, т
1958	1	10	0,3
1962	60	36	1,7
1966	—	—	4,0
1968	450	96	—
1969	—	—	13,0
1973	600	141	20,0
1976	900	168	—
1980	2600	185	—
1983	2800	190	40,0

\*1958 г. принят за единицу.



Рис. 21. Электрод из стали ЧС82-Ш после приварки инвентаря Ленинской премии. Лауреатами Государственной премии стали директор завода К. С. Ельцов и старший мастер вакуумного отделения цеха И. А. Трегубенко. Звание дважды лауреат Государственной премии УССР и Украины и премии Совета Министров СССР присвоено С. С. Казакову.

В разработке и освоении технологии ЭШП завод сотрудничал с многочисленными научно-исследовательскими институтами как технологического, так и материаловедческого направления. Весьма тесное технологическое сотрудничество было с кафедрой Запорожского машиностроительного института, которую возглавлял коренной днепропетровец Ю. А. Шульте. За участие в разработке технологии ЭШП Ю. А. Шульте присуждена Ленинская премия. Безусловно специалистов, посвятивших свою жизнь процессу ЭШП, намного больше, чем перечислено выше. Некоторые из них представлены на рис. 16, 17.

В табл. 1 показано начало развития производства сталей в СПЦ-5.

Интересные данные приведены в материалах конференции по увеличению объема производства стали, переплавленной способом ЭШП на заводах МЧМ СССР за 25 лет (табл. 2).

С начала освоения производства металла способом ЭШП оформлено около 2000 изобретений, из них у нас в стране — 1500 и получено 90 патентов.

К сожалению происшедшие общественные процессы негативно отразились на производстве стали способом ЭШП. Однако цех находится в

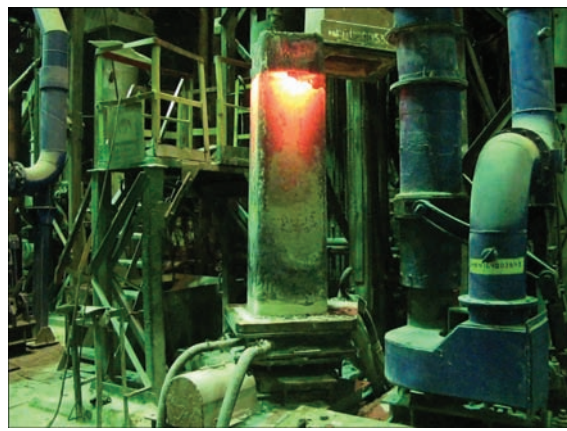


Рис. 22. Слиток из стали ЧС82-Ш сечением квадрат 565 мм при извлечении из кристаллизатора

полной боевой готовности и сегодня производство металла ЭШП продолжается. Коллектив СПЦ-5 совместно со специалистами ЦЗЛ продолжают совершенствовать технологию и осваивать новый марочный сортамент. Разработана, освоена и внедрена без привлечения сторонних организаций технология производства кузнечных слитков ЭШП массой 6 т и диаметром 800 мм из марок сталей X12МФ-Ш, 13X11Н2В2МФ-Ш (ЭИ961-Ш), 15X12Н2МВФАБ-Ш (ЭП517-Ш), 08X18Н10Т-Ш. СПЦ-5 ЧАО «Днепропетросталь» располагает значительным парком оборудования для ЭШП и производит стальные слитки подшипниковых ШХ15-Ш, ШХ15СГ-Ш, быстрорежущих Р6М5-Ш, конструкционных 12Х2Н4А-Ш, 18Х2Н4МА-Ш, нержавеющей 13Х15Н4АМ3-Ш (ЭП310-Ш), 15Х16Н2АМ-Ш (ЭП479-Ш), коррозионностойких 08Х18Н10Т-Ш, инструментальных 4Х5МФ1С-Ш, 3Х3М3Ф-Ш и других марок сталей массой слитков от 0,8 до 20 т (рис. 18–22). Освоено производство высокобористой марки стали 04Х14Т3Р1Ф-Ш (ЧС 82-Ш) с содержанием бора более 1,5 % для атомной энергетики (рис. 22). Разработаны и внедрены технологии долегирования при ЭШП кремнием и титаном, ЭШП на синтетическом флюсе, который в два раза дешевле фабричного плавленого, что повысило конкурентоспособность продукции ЭШП и при этом технология производства проката и поковок из электрошлакового металла завода «Днепропетросталь» соответствует высоким стандартам качества.

*В. Н. Корниевский, А. И. Панченко, С. В. Давидченко, С. С. Казаков, И. Н. Логозинский, А. С. Сальников, А. Г. Федьков, Ю. Н. Рыльский  
ЧАО «Электрометаллургический завод «Днепропетросталь» им. А. Н. Кузьмина»*



## ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ УЗЛОВ МЕДНЫХ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ

**Медные материалы для изготовления кристаллизаторов.** В настоящее время общепризнаны че-



Рис. 1. Корпус кристаллизатора готовый для сварки

тыре вида медных материалов для изготовления кристаллизаторов (кокилей). Для кристаллизаторов, изготавливаемых по обычным технологиям, используется высокопроводящая ДНР- и НСР-медь. Благодаря низкому остаточному содержанию фосфора, НСР-медь имеет почти 100%-ную теплопроводность и поэтому ее часто применяют для изготовления фланцев и поддонов кристаллизаторов. Кокиль обычно изготавливают из ДНР-меди из-за ее хорошей свариваемости.

Кокили кристаллизаторов с использованием кованных заготовок изготавливают из НСР-меди или низколегированных медных материалов, таких как медь–серебро (CuAg) или медь–хром–цирконий (CuCrZr) (табл. 1). Так как небольшая добавка серебра (CuAg) хорошо влияет на теплопроводность меди, то кристаллизатор из этого материала обладает 100%-ной теплопроводностью. Добавка серебра повышает температуру рекристаллизации до 360 °С. Холодная формовка сплава CuAg для повышения его механической прочности способствует сохранению его свойств до температуры 360 °С при эксплуатации. В случае требования более высокой механической прочности предпочтительно применять упрочненный старением сплав CuCrZr. Более высокая прочность и температура

**Таблица 1.** Химический состав медных материалов для кристаллизаторов и их применение, мас. %

Сплав	Cu	Ag	Cr	Zr	P	Применение
Cu-DHP (SF-Cu)	> 99,9	–	–	–	0,015...0,04	Кокиль, изготавливаемый по обычной технологии
Cu-НСР (SE-Cu)	> 99,95	–	–	–	0,002...0,007	Кокиль, изготавливаемый ковкой из слитков и по обычной технологии
Cu-Ag 0,1 F 25	Остальное	0,08...0,12	–	–	0,001...0,007 для CuAg0,1P	Кокиль, изготавливаемый ковкой из слитков
CuCrZrF38	Остальное	–	0,3...1,2	0,03...0,3	–	Кокиль, изготавливаемый ковкой из слитков

**Таблица 2.** Физические и механические свойства медных материалов для кристаллизаторов

Сплав	Электропроводность		Теплопроводность, Вт/см·К	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	НВ 10	Температура рекристаллизации, °С
	%*	м/См·мм <sup>2</sup>						
Cu-DHP (SF-Cu)	≥ 75	≥ 43	≥ 2,95	40	200	35	45	140...200
Cu-НСР (SE-Cu)	≥ 98	≥ 57	≥ 3,86	40	200	35	45	140...200
Cu-Ag 0,1 F 25	≥ 96	≥ 56	≥ 3,86	200...280	250...300	17...20	70...90	360
CuCrZrF38	≥ 78	≥ 45	≥ 3,06	≥ 270	≥ 370	18	125	570

\*По отношению к отожженной меди.



Рис. 2. Кристаллизаторы, изготавливаемые по обычной технологии прямоугольного сечения

рекристаллизации сопровождается уменьшенной на 20 % проводимостью. В табл. 2 представлены физические и механические свойства всех материалов, применяемых для изготовления кристаллизаторов.

Основные стадии изготовления кристаллизатора по обычной технологии всегда начинаются со згибания горячекатаного медного листа в цилиндрическую или коническую форму (рис. 1). Особое внимание должно уделяться всем сварным швам. Швы длинного сварного корпуса всегда требуют 100%-ного рентгеновского контроля для избежания любых скрытых дефектов. Окончательный гелиевый контроль является наиболее строгим на герметичность кристаллизатора.

Имеется по крайней мере три варианта приварки фланца к корпусу кристаллизатора.



Рис. 3. Круглые кристаллизаторы, изготовленные по обычной технологии с одним продольным швом: материалы — Cu-DHP (SF-Cu) (а), Cu-HCP (SE-Cu) (б); размеры — Ø 536×3000 мм (а), Ø 1200×3800 мм (б); вес — 1316 кг (а), 3800 кг (б)

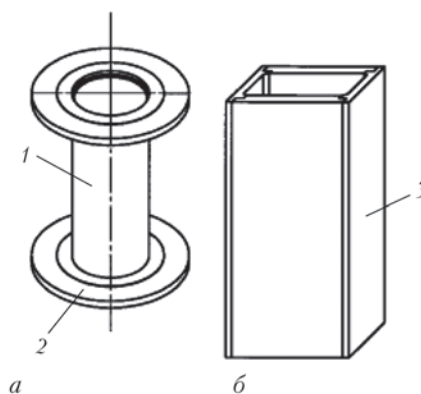


Рис. 4. Конструкции кристаллизаторов, изготовленных ковкой из слитков: а — кованый бесшовный (1) с приваренным фланцем (2); б — состоящий из четырех отдельных листов (3)



Рис. 5. Поковки для кристаллизаторов: а — изготавливаемых ковкой из слитка с прикованным фланцем (3,5 т); б — бесшовный кованый корпус (6,8 т)



Рис. 6. Основные стадии производства круглых кристаллизаторов, изготавливаемых ковкой из слитков





Рис. 7. Бесшовный медный кристаллизатор, изготовленный ковкой из слитка с окончательной обработкой

Так как для кристаллизаторов, изготавливаемых по обычной технологии, требуется довольно небольшой расход медного материала, то они гораздо дешевле в изготовлении по сравнению с бесшовными, изготавливаемыми методомковки из слитков. Так как внутренняя поверхность сварного кокиля кристаллизатора совсем не обрабатывается, то надо придерживаться допуска в диаметре приблизительно 3...5 мм в зависимости от размера кристаллизатора. Проблемы деформации кристаллизаторов, изготовленных по обычной технологии, за многие годы эксплуатации решены передовыми способами сварки, исключаяющими остаточные напряжения путем понижения температуры предварительного нагрева перед сваркой. Толщина медной стенки кокиля в настоящее время увеличилась от 2...20 до 16...40 мм.

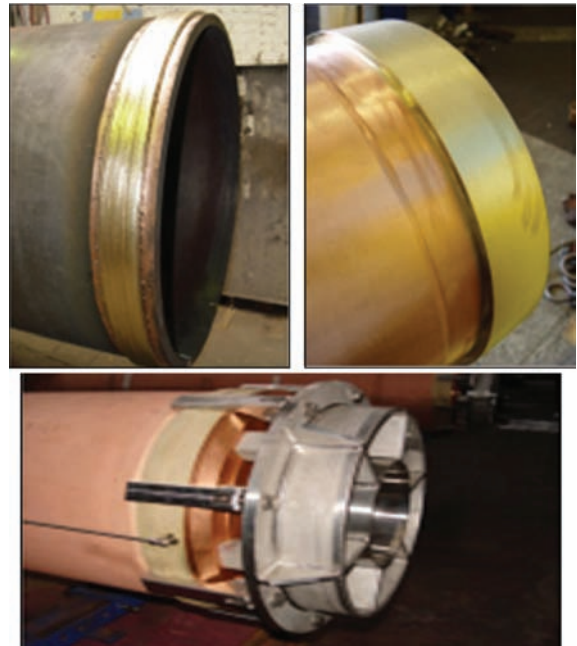


Рис. 8. Фиксация поддона к нижней части кокиля с помощью сварки

Медные кристаллизаторы прямоугольного сечения требуют сварку двух разрезанных секций (рис. 2).

Размер бесшовных кристаллизаторов, изготавливаемых методомковки из слитков, ограничивается имеющимися размерами заготовок. Большие и сверхбольшие кристаллизаторы должны изготавливаться конструктивно по обычной технологии, потому что трудно выплавить слитки необходимых размеров и изготовление их становится слишком дорогим (рис. 3).

**Примеры конструкций кристаллизаторов для печей ВДП, ЭШП, ЭЛ, ПД и гарнисажной плавки.** Основные конструкции кристаллизаторов, изготовленных ковкой из слитков показаны на рис. 4. Они могут состоять из четырех отдельных медных листов прямоугольной формы. Кристаллизаторы, изготовленные ковкой из слитков круглого сечения, имеют всегда бесшовный кованый кокиль. Может ли фланец быть выкован вместе с кокилем зависит от диаметра фланца (рис. 5). Кри-



Рис. 9. Кокили для ЭШП: а — с прикованным фланцем; б, в — цельнокованные



Рис. 10. Подвижные кристаллизаторы прямоугольного сечения  
сталлизаторы с большим фланцем требуют его приварку.

На рис. 6 показаны основные стадии производства круглого кристаллизатора с бесшовным кокилем, изготовленным ковкой из слитка. Бесшовный кованный кокиль имеет всегда однородную структуру меди и самый низкий риск деформации при эксплуатации. Отсутствие сварного шва исключает возможность появления дефектов. Так как кристаллизатор, изготовленный ковкой из слитков, нуждается в механической обработке, то могут даваться небольшие допуски при производстве (рис. 7). Основным недостатком кристаллизатора, изготовленного ковкой из слитков — это более высокая стоимость из-за большего расхода медного материала и времени на обработку.

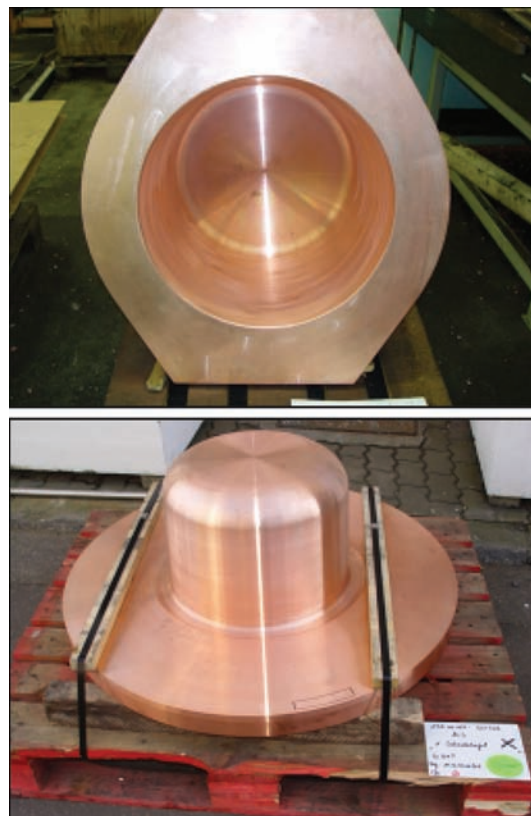


Рис. 12. Кристаллизаторы для печей гарнисажной плавки ВДП

На рис. 8 показана нижняя часть кристаллизатора, состоящая из медного поддона и опорной плиты из нержавеющей стали, прикрепленной зажимной системой.

В установках ЭШП часто используются подвижные кристаллизаторы вместо неподвижных (рис. 9, 10). Подвижные кристаллизаторы всегда имеют бесшовный кованный корпус. В некоторых случаях один фланец может приковываться (рис. 9, а).

Медные кристаллизаторы для печей гарнисажной плавки ВДП обычно цельнокованные. В случае, если медный фланец слишком большой, он должен привариваться к медной чаше (рис. 11, 12).

Довольно малые подвижные кристаллизаторы для электронно-лучевой (ЭЛ) плавки изготавливаются цельнокованными бесшовными, т.е. фланец

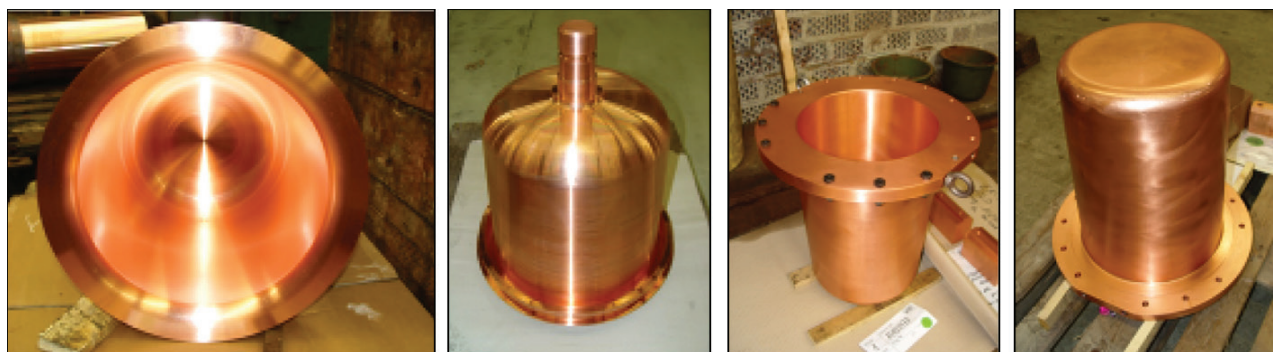


Рис. 11. Кристаллизаторы для печей гарнисажной плавки





Рис. 13. Бесшовные кованные кристаллизаторы для ЭПП (а, б — см. в тексте)



Рис. 15. Ремонт кокилей путем увеличения корпуса (удлинения)

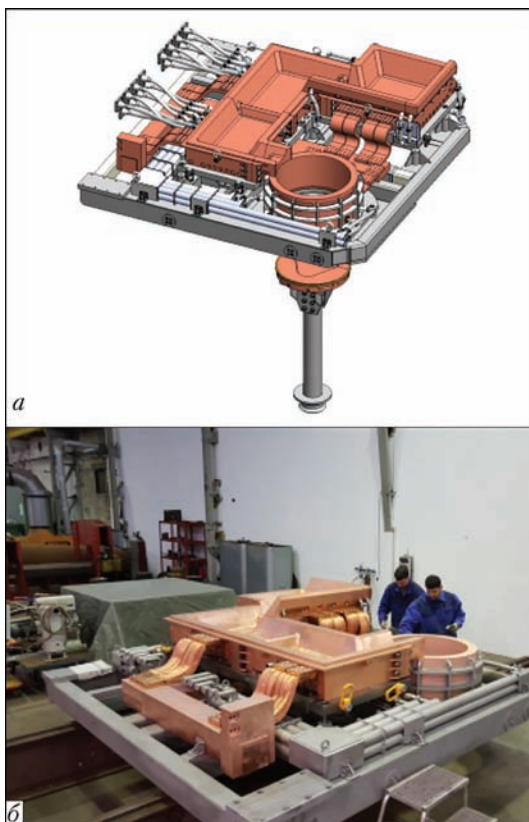


Рис. 14. Конструкция кристаллизатора с холодным подом для ПД печей: а — схема; б — внешний вид

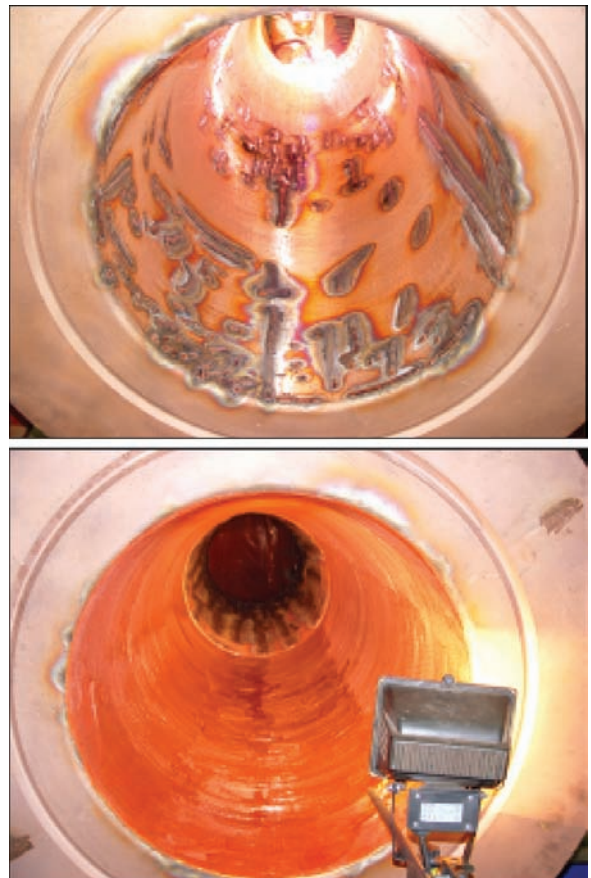


Рис. 16. Ремонт поверхности кокилей точечной сваркой



Рис. 17. Ремонт кокилей путем замены дефектных участков

всегда прикован. На рис. 13 показаны поковки (а) и готовый механически обработанный медный подвижной кокиль (б).

Специальные сплавы, такие как титановые, отливаются по каскадной системе, состоящей из плавильного и рафинирующего подов, до разлива в медную изложницу прямоугольного или круглого сечения. На рис. 14 показана современная система подов плазменно-дуговой (ПД) печи, которая предотвращает загрязнение примесями (окислы, включения и др.), оставшимися в подовой системе. Таким образом, они не могут ухудшить литой слиток. Высокие температуры жидкого металла, который непрерывно нагревается ЭЛ или ПД пушками, требуют всестороннее CFD-моделирование (Computational Fluid Dynamic Modeling) для хорошо сбалансированного охлаждающего потока воды через все секции подовой системы для избежания нежелательных тепловых напряжений и деформаций довольно мягкой меди.

#### Технологии для ремонта кристаллизаторов.

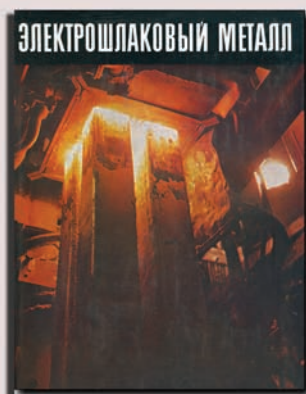
Наиболее распространенными дефектами медных кристаллизаторов при эксплуатации являются деформации и повреждение поверхности. Деформации можно снять путем применения гидравлических прессов, а в более трудных случаях путем вставки оправки в корпус кристаллизатора. Во всех случаях кристаллизатор должен соответственно нагреваться. В случае, если фланец можно снять, возможна повторная калибровка на гибочной машине.

Ремонт кокилей и при необходимости их удлинение может осуществляться дуговой сваркой в защитных газах (рис. 15).

Простые дефекты поверхности легко ремонтируются путем точечной дуговой сварки в защитных газах, а в случаях серьезного повреждения, необходимо заменить все дефектные участки (рис. 17).

*Кристиан Ейлер*

*Саар-Металлверке ООО, Саарбрюккен, Германия*



**ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫЙ МЕТАЛЛ** / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. — Киев: Наук. думка, 1981. — 680 с.

Монография посвящена вопросам качества электрошлакового металла, т. е. металлических материалов и заготовок из них, получаемых методами электрошлаковой технологии: электрошлаковым переплавом, электрошлаковым литьем, электрошлаковой обработкой и всеми способами укрупнения заготовок.

Приведены сведения о химическом составе, структуре, механических, физико-механических и технологических свойствах электрошлакового металла: сталей практически всех существующих классов, жаропрочных сплавов, чугунов, ряда цветных, высокорекреационных и тяжелых металлов и сплавов.

Изложены данные о технико-экономической эффективности производства и применения электрошлакового металла.

Книга содержит справочные материалы, которые будут полезными специалистам-металлургам и машиностроителям, конструкторам, студентам технических вузов и многим другим специалистам, связанным с производством, потреблением и обработкой металлов.



## СПЕЦИАЛЬНОЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ: ЭЛЕКТРОПЕЧИ КОМПАНИИ «ZHENWU»

Производство высококачественного оборудования является огромной движущей силой для разработки специальных сталей. Специальные стали разделяются на три уровня. Первый — сталь низкого уровня (высококачественная углеродистая конструкционная сталь); второй — специальная легированная сталь; третий — это высококачественные специальные стали (нержавеющая, инструментальная, штамповая и быстрорежущая). Основные направления применения сталей: рельсы для высокоскоростного железнодорожного и городского транспорта, морские техника и нефтедобывающее оборудование, оснастка судов, энергосберегающий экологический транспорт, ультравысоковольтные линии передач и др. Быстрое развитие современной техники выдвинуло более высокие требования к сталям, которые невозможно выполнить традиционными способами производства.

Suzhou Zhenwu Electric Furnace Co. — один из крупных китайских разработчиков и производителей оборудования и технологий, который после 30 лет работы имеет полный комплект специального металлургического оборудования (печей) для производства всех специальных сталей. Приведем некоторое из них.

### Печь для электрошлакового переплава (ESR) (рис. 1)

Мощность: 1...100 т

Диаметр слитка: 100...2300 мм.

Применение: получение высокотемпературных сплавов, инструментальных сталей, валков, валов турбин, деталей самолетов и паровых турбин.

Печь для ЭШП является специальной плавильной установкой, в которой плавящийся электрод, погруженный в расплавленную шлаковую ванну, плавится джоулевым теплом, генерируемым при прохождении электрического тока через расплавленный шлак, затем расплавленные капли металла очищаются и рафинируются, проходя через расплавленный шлак и, наконец, кристаллизуются в слиток в водоохлаждаемом кристаллизаторе. Благодаря функции удаления примесей расплавленным шлаком и условиям кристаллизации, металл ЭШП имеет хорошие свойства, такие как чистота, мелкая и равномерная структура, нет точечной и кольцеобразной сегрегации, сверхнизкое содер-

жание серы, а также небольших и растворимых примесей и т. д.

Печи ЭШП с двойным рабочим положением и высокой производительностью, разработанные компанией, имеют следующие преимущества:

- конструкция печи — рамочная ямочного типа, хорошей жесткости. Скорость переплава регулируют с помощью высокоточной электронной измерительной системы;

- печь однофазная, двухпозиционная, со снимаемой литейной формой, состоящей из кристаллизатора и нижнего водяного короба, имеет один электрод. Когда выполняется переплав одновременно может просходить подготовка и удаление слитка в разных положениях печи и таким образом удваивается производительность;

- применение электронной измерительной системы высокой точности дает возможность быстро рассчитывать и затем контролировать скорость плавки расходуемого электрода для получения оптимальной равномерной кристаллизации. Высококачественная продукция может быть получена, в частности, при переплаве высоколегированных сталей или ЭШП слитков большого диаметра;

- линия высокого напряжения на вторичной обмотке имеет параллельное расположение. Соединение между стойкой поднятия электрода и линией высокого напряжения осуществляется электрическими щеточными устройствами для уменьшения длины водоохлаждаемого кабеля, индуктивности и расхода энергии;

- скорость плавки и сопротивление шлака контролируются автоматически для обеспечения стабильного процесса переплава;

- скорость переплава регулируется для оптимизации и надежности процесса;

- герметичный защитный кожух с инертным газом устанавливается на входе в кристаллизатор для обеспечения качественной продукции.

### Печь для вакуумной индукционной плавки (VIM) (рис. 2)

Мощность: 10...30000 кг

Применение: выплавка металлов и сплавов, регулировка состава сплавов и отливок, производство заготовок из высокотемпературного сплава, лигатуры, сплавов для электроники.



Рис. 1. Печи для ЭШП (а, б) и крупнотоннажный слиток (в)

**Вакуумная печь точного фасонного литья  
для равноосных кристаллов  
и направленных монокристаллов  
(VPIC) (рис. 3)**

Мощность: 5...200 кг (VPIC); 200...500 кг (VIM)

Применение: отливка компонентов аэрокосмической техники, современных медицинских аппаратов, деталей для паровых турбин и др.

**Вакуумная печь точного литья в формы  
(VPGC)**

Мощность: 2...10 кг

Применение: отливка деталей для турбонагнетателя и др.

**Вакуумная индукционная печь  
для дегазации металла в вакууме  
(VID) (рис. 4)**

Мощность: 1...50 т

Применение: обезуглероживание, дегазация, регулирование состава сверхнизкой углеродистой, нержавеющей, специальной сталей и алюминиевых сплавов.

**Печь для вакуумно-дугового переплава  
(VARF) (рис. 5)**

Мощность: 0,5...15 т

Диаметр слитка: 70...1600 мм

Применение: выплавка активных металлов, таких как Ti/Zr и специальных сталей.

**Печь для вакуумно-дугового переплава  
и центробежного литья  
(VAR, CCF) (рис. 6)**

Мощность: 50...1500 кг

Применение: выплавка активных металлов Ti, Zr, рафинирование и отливка деталей паровых турбин и самолетов.



Рис. 2. Вакуумно-индукционные печи





Рис. 3. Вакуумная печь для точного фасонного литья



Рис. 6. Печь для ВДП и центробежного литья заготовок



Рис. 4. Вакуумно-индукционная печь для дегазации металла в вакууме



Рис. 7. Вакуумно-индукционная печь с холодным подом

**Вакуумная индукционная плавильная печь  
с холодным подом  
(VCCIM) (рис. 7)**

Мощность: 1...50 кг

Применение: плавка и литье активных металлов.

*Френк Ли*

*Компания «Чженьву», г. Сучжоу, Китай*



Рис. 5. Печь для вакуумно-дугового переплава

Подписано к печати 25.05.2018. Формат 60x84/8. Офсетная печать.  
Усл. печ. л. 7,9. Усл. кр.-отг. 8,2. Уч.-изд. л. 9,3.  
Печать ООО «ДИА», 03022, г. Киев, ул. Васильковская, 45.