



*От редколлегии*

*В последние два три-года наблюдается бум сообщений об освоении технологии производства крупных полых слитков преимущественно в компаниях, работающих в заготовительном производстве энергетического машиностроения. Так, заявили об освоении 140...220-тонных полых слитков металлурги двух всемирно известных фирм «AREVA» (Франция) и «Sheffield Forgemasters» (Англия). Начал работы в этом направлении гигант отечественного тяжелого и энергетического машиностроения краматорский «Энергомашспецсталь». Аналогичные работы финансируются государством в Китае. В этой связи напомним, что пионерами производства тяжелых полых слитков являются известнейшие японские фирмы «Kobelco» и «Japan Steel Works» (JSW), а в Украине специалистами ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины и ПО «Ждановтяжмаш» (ныне «Азовмаш») полый 120-тонный слиток освоен более 25 лет назад. Опыт применения ЭШП в получении полых слитков свидетельствует о несомненных преимуществах ЭШП полых слитков, в сравнении с открытой выплавкой. Редколлегия планирует продолжить публикацию материалов по этой тематике и приглашает своих постоянных читателей и авторов к обсуждению данной проблемы.*

УДК 669.117.6

## О НОВОМ СПОСОБЕ ЭШП КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОЛЫХ СЛИТКОВ

**Б. Б. Федоровский, Л. Б. Медовар, А. П. Стовпченко,  
В. М. Журавель, В. Я. Саенко, В. А. Зайцев,  
В. Б. Смолярко, В. А. Лебедь**

Рассмотрены перспективы получения крупных полых слитков ЭШП. Оценена возможность выплавки полых слитков по двухконтурной схеме ЭШП ДС с применением токоведущего и нетокведущего дорна. Приведено сравнение различных схем получения полых слитков ЭШП. Показана возможность выплавки полых слитков со сменой электродов по ходу переплава.

Prospects for producing large-size hollow ESR ingots are considered. The possibility of melting hollow ingots by two-circuit diagram (ESR TC) using current-carrying and non-current-carrying mandrel is estimated. Comparison of different diagrams of producing hollow ESR ingots was made. The opportunity of melting hollow ingots with a change of electrodes during remelting is shown.

**Ключевые слова:** электрошлаковый переплав; двухконтурная схема питания; токоведущий кристаллизатор; полый слиток; токоведущий дорн

Применение электрошлакового переплава (ЭШП) для получения полых слитков реализовано в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины много лет назад. Его традиционные технологии успешно применяют-

ся и сегодня в промышленности [1, 2]. При значительном многообразии существуют два основных способа ЭШП полых слитков. Первый реализуют с применением так называемый прошивки при встречном движении расходуемого электрода и наплавляемого слитка с прямой электрической схемой подключения электрода.

© Б. Б. ФЕДОРОВСКИЙ, Л. Б. МЕДОВАР, А. П. СТОВПЧЕНКО, В. М. ЖУРАВЕЛЬ, В. Я. САЕНКО, В. А. ЗАЙЦЕВ, В. Б. СМОЛЯРКО, В. А. ЛЕБЕДЬ, 2011



**Выход годного металла (ВГМ)\* при производстве полой заготовки прошивкой из слитка сплошного металла и его экономия при выплавке полого слитка ЭШП**

Наименование детали	Масса поковки, т	Параметры сплошного слитка под прошивку				
		Диаметр, мм		Длина или высота, мм	Масса слитка, т	ВГМ, %
		наружный	внутренний			
Вал	173,0	2710	1300	9410	290,0	59,66
Гидровал	128,0	2180	800	9150	190,0	67,37
Кольцо упорное	88,0	5530	4390	1210	130,0	67,69
Валок опорный 1800×3400	110,0	1890	–	8270/3480 (бочка валка)	182,0	60,44
Траверса цилиндра	136,5	4680	1970	1190	190,0	71,84
Плита	2×35,0	2950	2450	4650	124,5	56,22
Труба	23,0	1020	690	6500	32,7	70,33

Окончание таблицы

Наименование детали	Параметры полого слитка ЭШП**				Экономия металла при выплавке полого слитка ЭШП, т/%
	Диаметр, мм		Длина или высота, мм	Масса слитка, т	
	наружный	внутренний			
Вал	2800	950	4200	185	105/36
Гидровал	2900	700	2800	140	50/26
Кольцо упорное	2800	950	2200	95	35/27
Валок опорный 1800×3400	2300	–	3500	115	67/37
Траверса цилиндра	3200	850	2400	140	50/26
Плита	2450	850	2300	75	49,5/40,0
Труба	1050	690	6500	25	7,7/27,0

\*Расчетное значение, включающее допуски на потери при ковке и полученное исходя из реального многолетнего производственного опыта.

\*\*Экспертные данные.

Второй способ получил большее распространение и основан на применении бифилярной электрической схемы подключения, как правило, 6... 8 расходуемых электродов.

В силу вполне понятных технических причин ЭШП полых слитков до последнего времени применяли преимущественно для изготовления объектов военного назначения. Масса слитков достигала примерно 20 т, длина — 5... 6 м. Несмотря на высокие значения физико-механических свойств литого металла ЭШП, сопоставимые с таковыми деформированного металла, полые слитки ЭШП в основном используют после деформации [3, 4].

Сегодня интерес к технологии производства полых слитков опять усилился. Вызвано это стремлением к максимальной экономичности. Традиционные технологии производства всевозможных обечаек, сосудов, толстостенных труб базируются преимущественно на ковке их из сплошных кузнечных слитков с весьма низким выходом годного.

Некоторые сравнительные данные об эффективности применения полых слитков приведены в таблице, основанной на данных отечественных заводов тяжелого машиностроения и на экспертных оценках.

С учетом потенциальных возможностей ЭШП необходимо, на наш взгляд, вернуться к обсуждению перспектив и преимуществ ЭШП в производстве полых слитков значительно больших габаритов

и массы, нежели ранее. Авторы полагают, что технически и экономически может быть эффективной выплавка полых слитков ЭШП массой примерно 300 т. Возможности получения полых слитков такой массы и принципы создания соответствующего оборудования на основе технологии ЭШП с прямой переработкой жидкого металла без расходуемых электродов опубликованы ранее в работах [5, 6].

Вместе с тем, в связи с необходимостью применения ЭШП в защитной атмосфере для целого ряда высоколегированных сталей и сплавов следует иметь возможность получения крупногабаритных полых слитков ЭШП путем стандартного переплава расходуемых электродов.

При производстве крупногабаритных сплошных слитков ЭШП обычно применяют смену электродов по ходу переплава. Это позволяет значительно уменьшить длину расходуемых электродов и высоту печи.

Для выплавки полых слитков длиной более 3... 4 м, как свидетельствует практика, применение прошивки невозможно.

При многоэлектродной бифилярной схеме реализовать коэффициент заполнения более 0,5 практически очень сложно, поэтому требуется использовать очень длинные электроды.

Так, на недавно построенной концерном «Энергомаш» (Россия, г. Белгород) уникальной печи

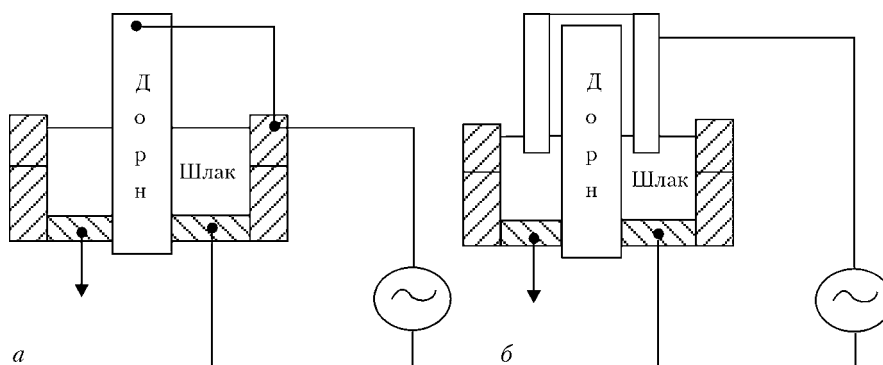


Рис. 1. Схема ЭШП ДС полых слитков в токоподводящем кристаллизаторе с использованием жидкого металла и токоведущего дорна (а), а также расходующих электродов и нетоковедущего дорна (б)

ЭШП планируют выплавлять полые слитки диаметром до 1 м и длиной до 10 м (см. 2-ю страницу обложки журнала) [7]. Таким образом, сплавляемая часть расходующих электродов должна состав-

лять около 20 м. Вполне очевидно, что прямое применение известных решений в данном случае приводит к неоправданному усложнению и печи, и технологии.

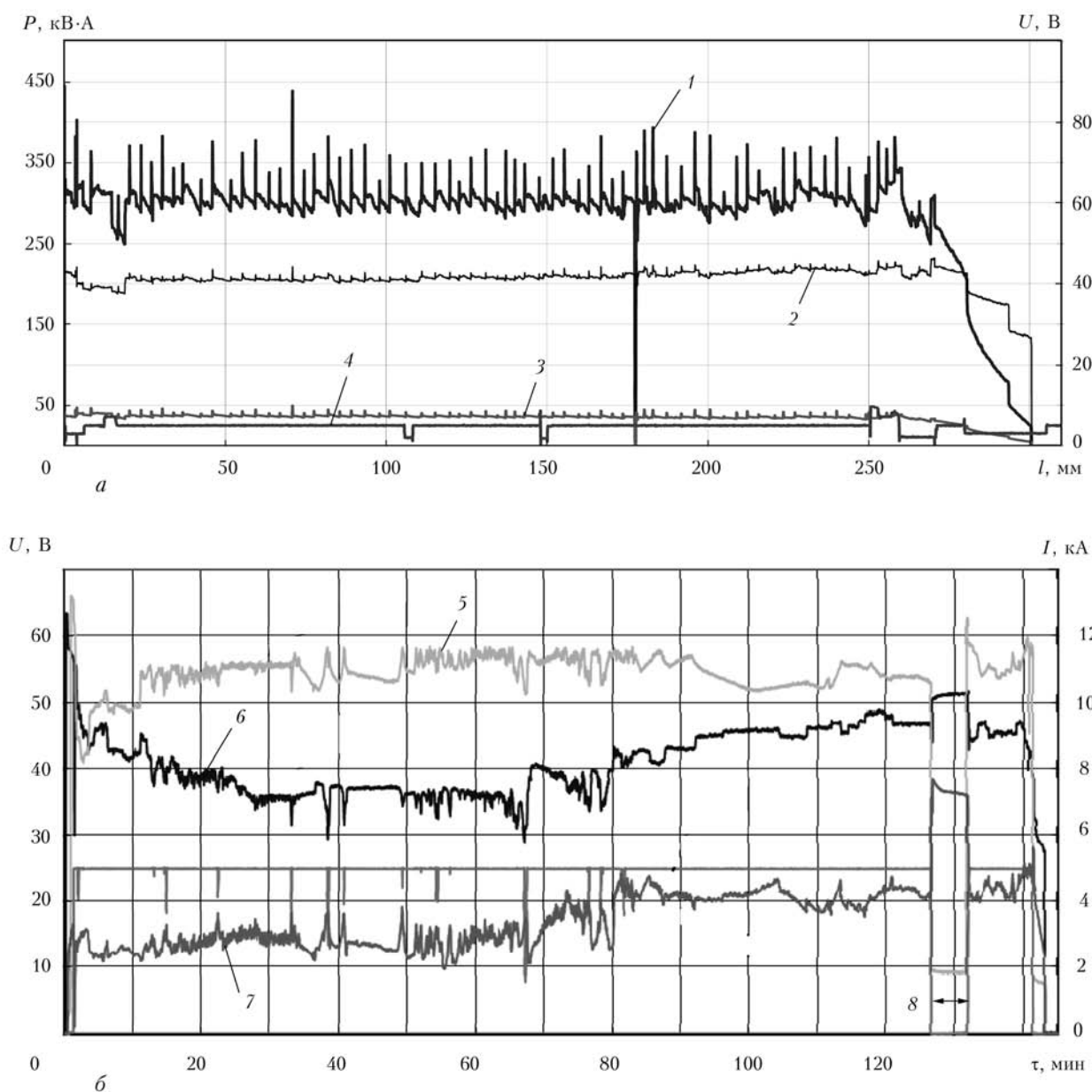


Рис. 2. Регистрограммы электрических параметров плавки по схемам рис. 1 с использованием жидкого металла и токоведущего дорна (а), а также расходующих электродов и нетоковедущего дорна (б): 1 – мощность; 2 – напряжение; 3 – ток; 4 – скорость вытяжки; 5 – напряжение на электродах; 6 – напряжение на кристаллизаторе; 7 – ток на электроде; 8 – имитация; l – длина

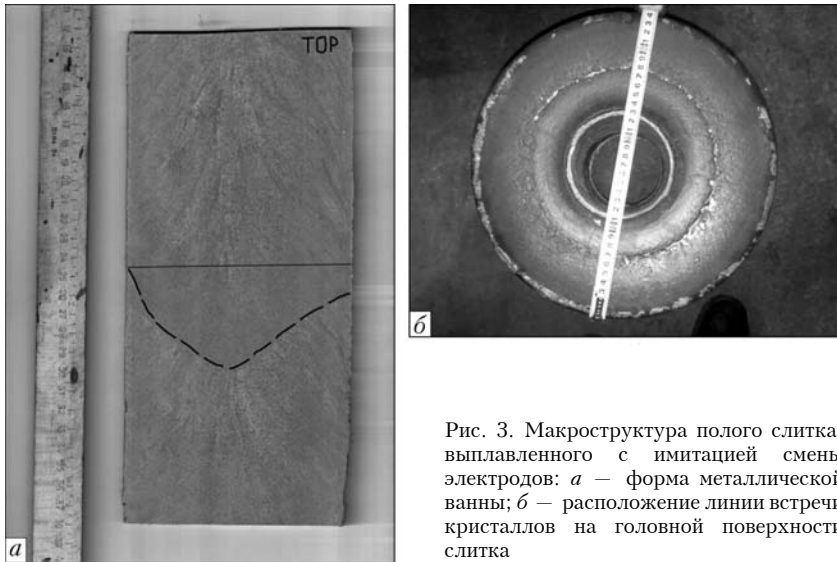


Рис. 3. Макроструктура полого слитка, выплавленного с имитацией смены электродов: *а* — форма металлической ванны; *б* — расположение линии встречи кристаллов на головной поверхности слитка

Нами сделана попытка реализовать процесс ЭШП полых слитков со сменой электродов по ходу переплава.

Суть нового способа заключается в использовании подвижного токоведущего кристаллизатора, в который переплавляют расходуемые электроды по двухконтурной схеме, так называемый процесс ЭШП ДС. Это дает возможность производить смену расходуемых электродов без опасности зажатия дорна при усадке металла или нарушения формирования слитка. В свою очередь, смена электродов по ходу плавки позволяет получать длинномерные заготовки при сравнительно невысокой колонне печи, имеющей небольшую грузоподъемность.

Принципиальные схемы предлагаемых новых способов ЭШП полых слитков приведены на рис. 1.

Опытные плавки выполняли в кристаллизаторе с внутренним диаметром 350 мм. При этом наружные диаметры токоведущего и нетокковедущего дорнов были одинаковыми и составляли 114 мм.

Общая мощность на шлаковой ванне при реализации обеих схем составляла 450... 500 кВ·А. В случае плавки по схеме рис. 1, *а* эта мощность распределялась между кристаллизатором и дорном как (300... 340):(140... 160) кВ·А.

В опытах оценивали стабильность процесса, симметричность металлической ванны, качество внутренней и наружной поверхности слитков, а также имитировали смену расходуемых электродов путем кратковременного их отключения и извлечения из шлаковой ванны.

Результаты этих исследований показали (рис. 2), что стабильность процесса в обоих случаях удовлетворительная при несколько лучшей в случае использования схемы рис. 1, *а*. Отключение расходуемых электродов и извлечение их из шлаковой ванны на 5 мин не привело к нарушению стабильности процесса, и после последующего погружения электродов в шлак плавка продолжалась в том же режиме (126... 131 мин плавки — рис. 2, *б*).

Макроструктура полученных слитков была плотной и однородной. Поры отсутствовали. Структура центральной части слитков характеризовалась на-

личием зоны столбчатых кристаллов и отсутствием ликвационных дефектов (рис. 3, *а*). Изменения в структуре слитка в зоне, имитирующей смену электродов (отмечена линией профиля жидкометаллической ванны), не выявлены.

Симметричность металлической ванны оценивалась по расположению линии встречи кристаллов, видимой на головной поверхности слитка (рис. 3, *б*). Как видно из рисунка, расположение этой линии адекватно расположению таковой на продольном макротемплете полого слитка.

Следует отметить, что схема рис. 1, *а* также имеет большие потенциальные возможности для управления формой металлической ванны при условии независимого регулирования электрической мощности (например, при использовании двух источников питания) в цепях кристаллизатора и дорна.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали принципиальную возможность электрошлаковой выплавки длинномерных полых слитков высокого качества с применением смены расходуемых электродов.

1. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Бойко Г.А. / Электрошлаковое литье. — Киев: Наук. думка, 1981. — 192 с.
2. Жадкевич М.Л., Шевцов В.Л., Пузрин Л.Г. Электрошлаковое литье полых слитков и заготовок в промышленном производстве // Современ. электрометаллургия. — 2008. — Вып. 3. — С. 7–14.
3. Morizot C., Witzke S. An application of hollow ESR ingots // Proc. of the Intern. sym. on electroslag remelting technology and equipment (May 15–17, 2001, Kyiv, Ukraine). — Kyiv, 2001. — P. 131–134.
4. К вопросу выплавки тонкостенных полых электрошлаковых слитков / Б.И. Медовар, В.М. Баглай, Б.Б. Федоровский и др. // Спец. электрометаллургия. — 1974. — Вып. 26. — С. 13–17.
5. Medovar L.B., Tsykulenko A.K., Saenko V.Ya. et al. New Electroslag Technologies // Proc. of the International sym. on electroslag remelting technology and equipment (May 15–17, 2001, Kyiv, Ukraine). — Kyiv, 2001. — P. 49–60.
6. Патон Б.Е., Медовар Б.И. 40 лет ЭШП: есть ли перспектива? (в порядке обсуждения) // Сталь. — 1998. — Вып. 11. — С. 24–27.
7. <http://www.energomash.ru/2011/01/27/filial-gruppy-yenergomash-g-volgodonsk.html>

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев  
ЧП «Элмет-Рол», Киев

Поступила в редакцию 20.07.2011