

УДК 669.187.087:621.791.796

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ СЛИТКА ЭШП ДИАМЕТРОМ 800 мм БЕЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ

**С. В. Давидченко, И. Н. Логозинский, И. М. Билоник,
А. С. Сальников, С. С. Казаков,
М. И. Гасик, А. Ю. Кузьменко**

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния различных электрических режимов ведения плавки ЭШП на качество поверхности слитков электрошлакового переплава. Установлен электрический режим, обеспечивающий выплавку слитков ЭШП без дефектов поверхности.

Results of experimental investigations of effect of different electric parameters of ESR melting on quality of surface of ERS ingots are presented. The electric condition is set providing melting of ESR ingots without surface defects.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав; вводимая мощность; качество поверхности; пережимы; гофры; расходующий слиток-электрод; электрический режим

ОАО «Электрометаллургический завод «Днепро-спецсталь» является одним из крупнейших предприятий Украины по производству специальных сталей и сплавов способами специальной электрометаллургии. Сталеплавильный цех завода имеет большой опыт выплавки слитков ЭШП различных профиля и массы для производства сортовой и листовой металлопродукции. Существующий здесь парк кристаллизаторов разнообразен, что дает возможность производить слитки ЭШП по массе и сечению в широком диапазоне: сортовые слитки массой от 1,0 до 4,3 т, листовые — массой от 9 до 20 т (таблица). Это позволяет заводу удовлетворять требования потребителей металлопродукции ответственного назначения преимущественно на катаный сорт и лист.

Для изготовления крупногабаритных штампов требуются поковки больших сечений из инструментальных сталей. В связи с этим разработка технологии получения нового слитка ЭШП для производства поволоков была одним из приоритетных направлений. Но для производства таких поволоков необходим слиток ЭШП массой не менее 5,8 т. При определении массы слитка и кристаллизатора для

ЭШП исходили из производственных условий и возможностей имеющегося оборудования. Одновременно решались следующие задачи:

- выплавка исходного металла и изготовление расходующих электродов необходимой массы и сечения;
- разработка технологий ЭШП выбранного расходующего электрода и термообработки слитка;
- разработка технологииковки слитка ЭШП в кузнечно-прессовом цехе;
- модернизация печи ЭШП.

Сечение и масса слитков ЭШП

Тип слитка	Диаметр слитка, мм	Масса слитка (максимальная), т	Сечение кристаллизатора, мм	Масса слитка (максимальная), т
Сортовой	300	1,0	350×350	1,5
	460	1,8	415×415	2,2
	800	Не определено	500×500 565×565	3,8 4,3
Листовой	—	—	650×1100	9,0
	—	—	650×350	11,5
	—	—	650×1480	12,5
	—	—	700×1450	20,0

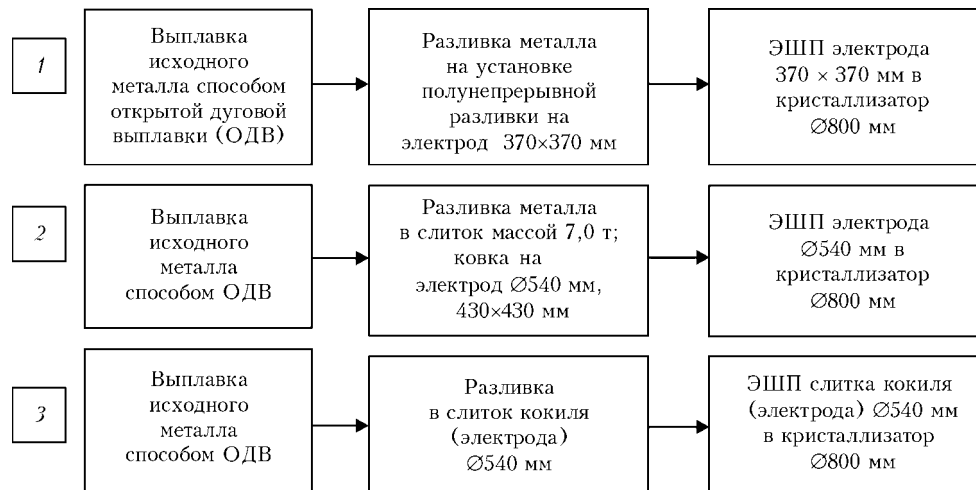


Рис. 1. Схемы (1–3) изготовления электродов в период освоения технологии выплавки слитка ЭШП диаметром 800 мм

С учетом изложенных требований выбрали кристаллизатор диаметром 800 мм с максимальной массой выплавляемого слитка 6 т. В сталеплавильном цеху имеются различные модификации печей ЭШП: ОКБ-905, ОКБ-1065, ЭШП-20-ВГ. Ранее проводилась работа по освоению ковальной металлопродукции требуемого сортамента из листового слитка массой 9 т. Выплавка в печи ЭШП-20-ВГ и ковка этого слитка, предназначенного для производства листа, не привела к желаемым результатам.

Наиболее подходящим агрегатом с точки зрения организации производства выплавки данного слитка была одноколонная печь ЭШП ОКБ-1065 после проведенной модернизации. Поэтому разработку технологии и освоение выплавки слитка решили выполнить в печи ОКБ-1065, оснащенной регулятором типа АРШМТ по классической одноэлектродной схеме переплава.

В процессе проведения модернизации выполнили следующие работы:

на суппорт печи и поддон поместили дополнительные водоохлаждаемые кабели;

установили тележку поддона, специально разработанную и изготовленную для выплавки слитка ЭШП диаметром 800 мм;

изготовили и установили поддон увеличенного размера с водяным охлаждением щелевого типа;

изменили на печи конструкцию узла механизма подъема электрододержателя, поскольку для получения слитка массой 5,8 т длина электрода 370×370 мм увеличилась на 2 м.

При определении схемы производства слитка диаметром 800 мм прорабатывали весь технологический цикл — от выплавки исходного металла и изготовления электрода до выплавки слитка ЭШП, его термообработки и ковки.

Экономическая эффективность процесса ЭШП, качество металла слитка и его поверхности в значительной мере зависят от соотношения размеров электрода и кристаллизатора. Согласно рекомендациям работы [1], для слитков массой более 4 т оптимальный коэффициент заполнения должен составлять 0,60... 0,75. Для выполнения этого требо-

вания при выплавке слитка диаметром 800 мм электрод должен иметь диаметр 500... 600 мм. Получить его в условиях ОАО «Днепроспецсталь» можно только способом ковки или с применением разливки в составные кокильные изложницы.

Изготовление электрода способом ковки добавляет еще один дорогостоящий передел, увеличивающий себестоимость металла ЭШП.

Электрод, изготовленный путем применения разливки металла в кокиль с получением слитка-электрода, является как с точки зрения технологии ЭШП, так и по способу производства, размерам, геометрическим параметрам и массе (6,2... 6,5 т) наиболее предпочтительным. В то же время наряду с положительными аспектами применения слитка диаметром 500... 600 мм, получаемого способом разливки в кокиль, в качестве электрода для ЭШП имеются следующие факторы, сдерживающие его использование:

необходимость удаления прибыльной части с усадкой перед ЭШП, что приводит к потерям металла и снижению выхода годного;

отсутствие технической возможности приварки к электроду переходной инвентарной головки сечением 370×370 мм;

затраты на приобретение нового или реконструкцию имеющегося сварочного оборудования;

затраты на приобретение кокильных изложниц для разливки металла.

Положительно зарекомендовавшая себя технология позволяет производить на установке полунепрерывной разливки стали литые электроды сечением 370×370 мм или диаметром 405 мм для выплавки слитков массой 4,3 т. При ЭШП таких электродов в кристаллизатор диаметром 800 мм коэффициент заполнения является на 15... 20 % меньшим, чем с электродом диаметром 580 мм.

Одно из преимуществ данной схемы, по сравнению с другими вариантами, заключается в отсутствии необходимости в финансовых вложениях в разработку технологии и организацию производства нового расходуемого электрода. Данный вари-

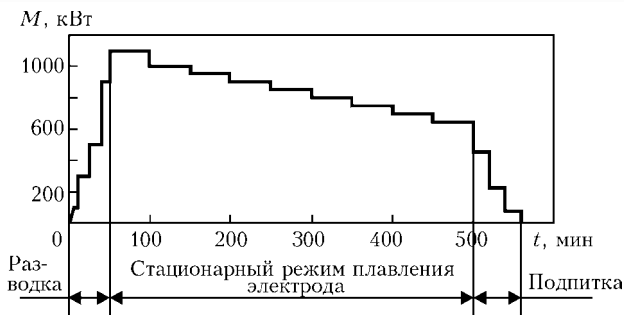


Рис. 2. Классический дифференцированный режим ведения плавки ЭШП в кристаллизатор 565×565 мм; M – вводимая мощность; t – время от включения печи

ант технологической схемы производства слитков ЭШП приняли к дальнейшей разработке.

Таким образом, разработка технологии производства исходного металла под последующий ЭШП для выплавки слитков диаметром 800 мм осуществлялась по следующим трем направлениям (рис. 1):

выплавка исходного металла в печах ОДВ с разливкой его в установке полунепрерывной разливки стали на электроды 370×370 мм;

выплавка исходного металла в печах ОДВ путем разливки в составные кокильные изложницы с получением слитка массой 7 т; ковка полученного слитка на электрод диаметром 500 мм или сечением 430×430 мм;

выплавка исходного металла в печах ОДВ и разливка его в кокиль диаметром 580 мм с получением слитка-электрода.

При разработке нового электрического режима за основу приняли классический дифференцированный режим плавки [2], хорошо зарекомендовавший себя при ЭШП в кристаллизатор сечением 565×565 мм (рис. 2). Предварительно по методике, описанной в работе [3], выполнили расчет режимов вводимой при ЭШП мощности для трех ранее оговоренных вариантов технологии переплава (рис. 1).

Однако с целью обеспечения выполнения технологических требований при выплавке слитка ЭШП диаметром 800 мм с электродами сечением 370×370 мм, диаметром 500... 600 мм, как показали расчетные данные, потребуется электрическая мощность на 15... 40 % большая, чем для слитка сечением 565×565 мм.

Выплавку первых опытных слитков ЭШП диаметром 800 мм начали с ЭШП литых электродов 370×370 мм сталей 4Х5МФС, 4Х5МФ1С и 4Х5М3Ф по расчетным классическим дифференцированным режимам на флюсе АНФ-6. Количество флюса определяли исходя из сопротивления шлаковой ванны, поддерживаемого регулятором типа АРШМТ для устойчивого ведения плавки по току. На первых 10 опытных плавках опробовали расчетный режим введения мощности (рис. 3, кривая 2).

После извлечения слитков из кристаллизатора на их поверхности зафиксированы пережимы и гофры (рис. 4). Последние представляли собой волнистую поверхность, во впадинах которой находился шлак с глубиной залегания до 60 мм. Дефект распола-

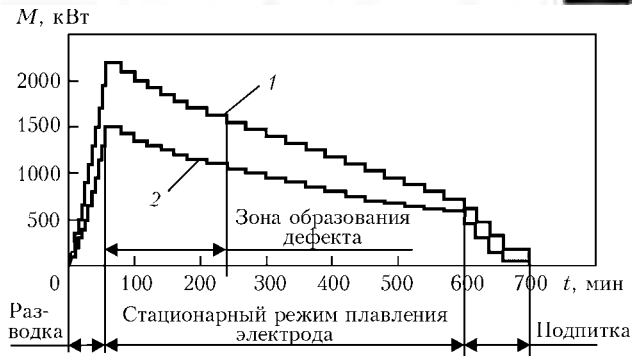


Рис. 3. Графики опытных режимов ЭШП в кристаллизатор диаметром 800 мм: 1, 2 – вводимые мощности соответственно максимальная и минимальная

гался по высоте слитка практически в одной и той же зоне.

Часть слитка, начиная от торца донной части (150... 300 мм), не имела дефектов, затем начинались пережимы с гофрами по длине 250... 600 мм. На верхней части слитка дефекты поверхности отсутствовали.

При длине слитка 1700 мм поверхность с дефектами составляла до 30 % и более. Чаще всего проявление дефектов обнаружено на слитках из инструментальных сталей ледебуритного класса Х12-Ш, Х12В-Ш, Х12МФ-Ш. Как показали дальнейшие исследования, более сильное проявление пережимов и гофр на стали ледебуритных марок, по сравнению с другими, обусловлено их теплофизическими свойствами.

С целью устранения дефектов исследовали влияние на их образование путем ведения плавки на увеличенной мощности, которую первоначально подняли на 10... 15 %, а затем довели до максимально возможной для печи ОКБ 1065 – повысили на 30... 40 % от первоначальной (рис. 3, кривая 1). При этом опробовали режим с выдержкой до 3 ч на максимальной мощности в начальный период плавки после выхода на режим плавления.

Проведенная корректировка электрического режима направлена на оптимизацию температуры шлаковой ванны и предотвращение образования пережимов и гофр на слитке. Среднюю фазу плавки и ее окончание, как видно из графиков мощности, проводили на умеренных значениях.

Опробовали ЭШП различных марок стали Х12, Х12В, Х12МФ, 95Х5ГМ, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 5ХН2МФ и др. На вновь выплавленных опытных слитках на тех же участках образовались пережимы и гофры, что обусловлено температурными условиями плавильного пространства [4].

Многолетний опыт производства слитков ЭШП меньшей массы, например 4,3 т, сталей аналогичных марок свидетельствует об отсутствии одних и тех же дефектов поверхности, образующихся при дифференцированном режиме переплава при различном уровне вводимой мощности.

Слитки с некачественной поверхностью дляковки непригодны, при их деформации происходит развитие дефектов с образованием грубых рванин

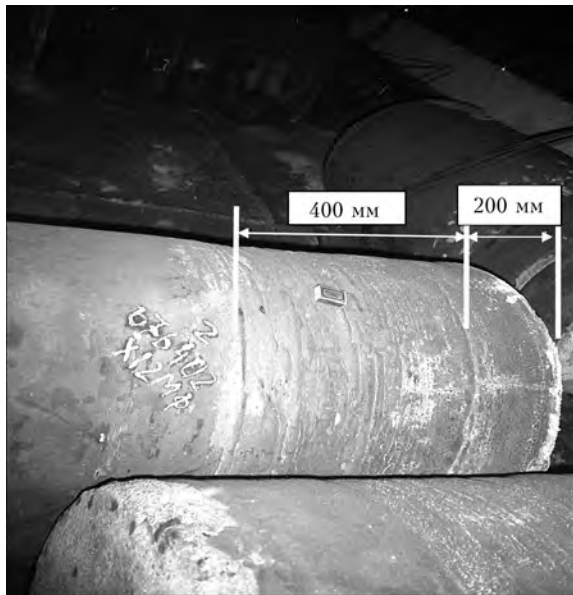


Рис. 4. Пережимы и гофры на первых слитках ЭШП диаметром 800 мм, выплавленных по опытным режимам

на поковках. Устранение дефектов на слитке путем зачистки или лезвийной обработки перед деформацией не снимает проблему.

Удаление дефектов поверхности на машине абразивной зачистки вызывает напряжения и образование на них трещин, к которым особенно склонны ледобуритные и штамповые стали. После этой операции требуется повторный отжиг.

При лезвийной обработке снимается поверхностный слой металла слитка, что крайне нежелательно, поскольку это отрицательно сказывается при его ковке и приводит к образованию дефектов поверхности. Дополнительный расход металла способствует значительному повышению себестоимости металла ЭШП. Производство такого слитка является неконкурентоспособным.

Таким образом, выбранные электрические режимы ЭШП электрода сечением 370×370 мм в процессе плавки на увеличенной мощности не приводят к устранению дефектов при выплавке слитков диаметром 800 мм. Изменение мощности в начальном периоде плавления электрода влияет на начало об-

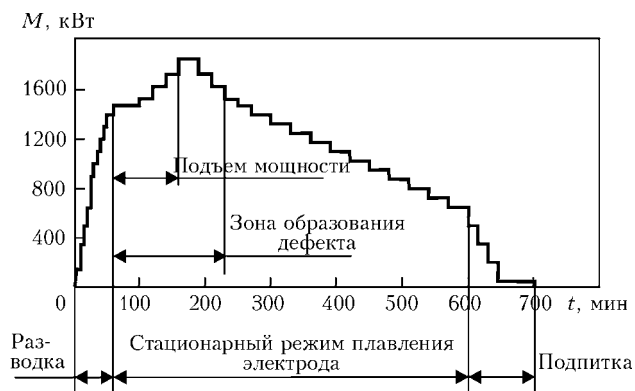


Рис. 5. График режима ЭШП с подъемом вводимой мощности в кристаллизатор диаметром 800 мм в начальный период



Рис. 6. Слитки ЭШП диаметром 800 мм стали X12MФ-Ш, выплавленные при ЭШП электрода сечением 370×370 мм с подъемом вводимой мощности

разования пережимов и гофр, т. е. смещается зона их расположения по высоте слитка вверх или вниз.

С целью уточнения опробованных технологических режимов переплава и их влияния на качество поверхности слитков ЭШП диаметром 800 мм провели серию плавки с использованием расходуемых электродов большего сечения (430×430 мм) и литых в кокиль диаметром 580 мм по расчетным режимам. На поверхности слитков в той же зоне образовались еще более грубые пережимы и гофры на слитках сталей всех марок, но наиболее глубокие по-прежнему были на слитках из ледобуритных сталей типа X12-Ш.

Образование на слитках грубых дефектов при ЭШП с увеличенным коэффициентом заполнения обусловлено условиями формирования слитка и ЭШП расходуемого электрода. Для решения проблемы ведения плавки с увеличенным коэффициентом заполнения в печи ОКБ-1065, имеющей систему автоматического управления АРШМТ и отсутствие запаса мощности печного трансформатора, требуются иные технические решения и технологические способы.

Анализ технологических особенностей вариантов электрошлакового переплава в кристаллизатор диаметром 800 мм по одноэлектродной схеме переплава на печи ОКБ 1065 показал, что для получения слитка ЭШП без дефектов необходимо введение мощности по иному алгоритму, т. е. совершенно новому электрическому режиму. С этой целью изменили график мощности введения и построили режим так, чтобы он мог обеспечить достаточный разогрев шлаковой ванны и расходуемого электрода непосредственно в зоне образования пережимов и гофр. Для этого расчетным способом определили участок плавки во времени, при котором на слитке образуются дефекты, и построили новый график изменения мощности по ходу плавки.

Новый режим отличается от базового классического дифференцированного не снижением мощности в начальный период плавки, а наоборот, ее повышением на 30 % и более (рис. 5) [5]. Первые опытные плавки в кристаллизатор диаметром 800 мм, проведенные по специальному режиму с повышением вводимой мощности при ЭШП электрода сечением



370×370 мм, дали положительный результат. Выплавленные слитки не имели пережимов и гофр, качество их поверхности соответствовало стандартному уровню аналогично слиткам сечением 565×565 мм и массой 4,3 т (рис. 6).

Деформационный передел слитков прошел без замечаний. Поковки не имели дефектов, связанных с качеством поверхности слитков, металл по всем показателям качества соответствовал требованиям нормативной документации и был отгружен заказчику.

В связи с тем, что с применением нового электрического режима ведения плавки получены положительные результаты по качеству как поверхности слитка диаметром 800 мм, так и металла ЭШП в целом, принято решение о внедрении данной технологии в производство.

Выводы

1. Изменение мощности от минимальной до максимальной в начальный период плавления расходующих электродов сечением 370×370 мм в печи ОКБ 1065 на флюсе АНФ-6 в кристаллизатор диаметром 800 мм не приводит к получению слитка без дефектов поверхности в виде пережимов и гофр.

2. Ступенчатое увеличение мощности после выхода на стационарный режим плавления электрода в течение 10...30 % периода его плавления до 25 % от первоначального позволяет получать слитки ЭШП диаметром 800 мм без дефектов поверхности.

3. Наименее затратной и наиболее приемлемой технологией из трех разрабатываемых вариантов (рис. 1) изготовления слитков ЭШП диаметром 800 мм с точки зрения организации производства

зарекомендовала себя технология ЭШП электрода сечением 370×370 мм.

4. По разработанной технологии ведения плавки выплавлено в 2007–2008 гг. более 4 тыс. т слитков ЭШП диаметром 800 мм сталей различных марок (Х12МФ-Ш, Х12(В)-Ш, 4Х5МФ(1)С-Ш, ЭП609-Ш, ЭИ961-Ш, 95Х5ГМ-Ш и др.), изготовлено более 2,5 тыс. т поковок различных сечений диаметром до 600 мм и полос до 300×800×2000 мм, качество металла которых соответствует требованиям нормативной документации. Металл аттестован и отгружен потребителю.

5. Оригинальность разработанной технологии электрического режима ЭШП подтверждена Государственным департаментом интеллектуальной собственности, Государственным предприятием «Украинский институт промышленной собственности» [5].

1. *Выбор* рациональных значений плавильного пространства и электродов с использованием математической модели ЭШП / И. В. Бочарников, Ю. А. Скосягин, Е. Д. Гладкий, Г. П. Кагановский // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1990. — № 2. — С. 22–26
2. *Глебов А. Г., Мошкевич Е. И.* Электрошлаковый переплав. — М.: Металлургия, 1985. — С. 214–217.
3. *Миронов Ю. М., Тарасов В. А.* Расчет электрического поля шлаковой ванны одноэлектродной электрошлаковой печи // Спец. вопр. электротермии. — 1975. — Вып. 3. — С. 35–53.
4. *Тепловые процессы при электрошлаковом переплаве* / Б. И. Медовар, В. Л. Шевцов, Г. С. Маринский и др. — Киев: Наук. думка, 1978. — 302 с.
5. *Пат. 21520* Украина, МПК С22В 9/18. Способ ведения плавки при электрошлаковом переплаве / С. В. Давиденко, А. С. Сальников, А. Е. Коваль и др. — Опубл. 13.03.2007, Бюл. № 3.

ОАО «Электрометаллургический з-д
«Днепроспецсталь», Запорожье
Поступила 31.03.2010

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

16–17 июня 2010 г. в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины (г. Киев) состоится украинско-немецкий семинар на тему «Плазменные и электронно-лучевые технологии для защитных покрытий».

Тема семинара соответствует такому приоритетному направлению, как «Новые материалы и производственные технологии», развиваемому федеральным министерством образования и науки Германии в рамках научно-технического сотрудничества с Украиной. Проект запланирован как пилотный и призван поддержать интернационализацию малых и средних предприятий. Он должен содействовать практической реализации стратегии интернационализации.

Семинар предусматривает обмен информацией по указанной теме специалистов как предприятий, так и научных учреждений. Основной круг участников семинара будет включать ученых и специалистов, производителей и пользователей функциональных изделий с оптимизированными трибологическими свойствами, а также специалистов, работающих в таких секторах производства, как автомобилестроение и пр. В рамках семинара будут представлены также стендовые доклады и предоставлена возможность для кооперационных переговоров.

*Контакты: тел./факс: (044) 289 22 02. E-mail: Yu.kon@paton.kiev.ua.
Зам. директора ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ,
проф. Константин Андреевич Ющенко*