

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу **Сергеева Дмитрия Владимировича**

«Технология получения полой заготовки методом электрошлакового переплава по одноэлектродной схеме», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Металл, полученный методом электрошлакового переплава в литом состоянии, сопоставим по ряду параметров металлу открытой выплавки, подвергнутому глубокой деформации. В связи с этим разработан ряд конструктивных и технологических решений по получению полых заготовок методом ЭШП. Наибольшее распространение в качестве основной технологии получила многоэлектродная схема. Она имеет ряд недостатков, связанных с большим числом обслуживающего персонала, наличием машин для правки электродов и соблюдением соосности рабочих элементов.

Альтернативой традиционной технологии может служить технология получения полой заготовки по одноэлектродной схеме выплавки с прошивающим дорном. Данная схема не получила широкого применения из-за невозможности исключения попадания капель электродного металла на прошивающую часть дорна, что приводило к его зарастанию и не позволяло получать заготовки заданной геометрии. Необходимо изменить место доставки электродного металла и исключить его попадание на прошивающую часть дорна.

Анализ технологических решений изменения места доставки электродного металла в жидкую металлическую ванну показал, что наиболее перспективной является технология с вращением расходуемого электрода. Данная технология позволяет изменить место доставки электродного металла в результате действия центробежных сил в пленке жидкого металла на оплавленной поверхности, что приводит к радиальному течению металла, формированию и отрыву капель металла с периферии поверхности расходуемого электрода.

Целью данной работы являлась разработка технологии получения полой заготовки методом электрошлакового переплава по одноэлектродной схеме.

Актуальность работы **Сергеева Д.В.** не вызывает сомнений.

## **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертационная работа **Сергеева Д.В.** включает введение, четыре главы, заключение и список используемой литературы. Содержание работы изложено на 126 страницах машинописного текста, содержит 18 таблиц и 30 рисунков. Библиографический список включает 96 наименований.

**Во введении** диссертантом показана актуальность работы, ее цель, определена научная новизна и практическая значимость, поставлены задачи и приведены методы исследования, обоснована достоверность полученных результатов и отмечен личный вклад автора.

**В главе 1** отмечены преимущества использования одного электрода для получения полых заготовок методом ЭШП и проблемы реализации данной технологии. Для этого необходимо решить вопросы, связанные с зарастанием дорна электродным металлом и уменьшением теплового воздействия на его прошивающую часть. Избежать зарастания дорна можно изменив место доставки электродного металла в шлаковую и металлическую ванны. Для решения поставленной задачи наиболее перспективно использовать вращение расходуемого электрода. Наложение центробежных сил на расходуемый электрод позволяет влиять не только на размер капли и место ее доставки, но и на изменение движения потока шлаковой ванны с нисходящего на восходящий.

**В главе 2** проведено моделирование процесса. На начальной стадии для оценки возможности реализации технологии получения полых заготовок проведено исследование характера каплеобразования и изменения места доставки электродного металла на холодной модели в зависимости от величины действия центробежных сил. Холодное моделирование показало радиальное течение жидкого металла на оплавляемом торце, изменение его формы с конической на плоскую, а также изменение направления движения шлакового потока с нисходящего на восходящий. Стоит отметить, что в случае превышения скоростей необходимых для конкретных диаметров дорна и электрода форма торца изменялась на вогнутую с одновременным скоплением больших капель и их отрывом. Следующим этапом моделирования являлось наблюдение за поведением потока электронов в подэлектродной зоне при изменившейся гидродинамической обстановке в шлаковой ванне. Отклонения потоков электронов при полном

радиальном течении металла имитировали нити, снисходящие с оплавленной поверхности. Моделирование показало смещение потока относительно оси расходоуемого электрода за пределы прошивающего дорна, образуя кольцо, что позволит дополнительно снизить тепловое воздействие на прошивающую часть дорна. Так как шлаковый пояс является электропроводной средой, с целью прогнозирования реального процесса следующим этапом работы на основе уравнений Навье-Стокса была создана математическая модель, позволяющая прогнозировать характер движения капель электродного металла в шлаковой ванне по порядку соотношения центробежной и электромагнитных сил. Так же были выведены зависимости, позволяющие определять скорость подачи дорна, для возможности проведения опытных переделов. Математическая модель позволила создать компьютерную программу с использованием среды MathLab Vision, позволяющую подтвердить трансформацию теплового центра в тепловое кольцо и получать необходимые данные для осуществления опытных переделов с возможностью визуализации тепловой картины предстоящего передела.

**В главе 3** представлен процесс модернизации, создания дополнительных узлов и органов управления полупромышленной печи А-550 с последующим описанием опытных переделов по получению полых и цельных слитков ЭШП с вращением расходоуемого электрода. Отмечены запатентованные решения по конструкции установки и твердому старту процесса. Оценка влияния технологии получения полых заготовок на макроструктуру отливки определялась путем замера расстояния между осями дендритов второго порядка ( $L_2$ ). В случае формирования полого слитка  $L_2$  меньше, чем у слитка сплошного сечения на 23,6 %, что указывает на измельчение структуры отливки при реализации технологии получения полых заготовок. Так же описана разница в расстоянии между ветвями дендритов второго порядка и по сечению слитка. В центральной части слитка  $L_2$  больше чем на  $\frac{1}{2}$  радиуса, что объяснимо меньшей скоростью теплоотвода из осевой части в сравнении с  $\frac{1}{2}$  радиуса, находящейся ближе к охлаждаемой стенке кристаллизатора. В заключение описано воздействие центробежных сил на данный процесс при использовании постоянного тока, что позволяет повысить энергоэффективность процесса.

**В главе 4** представлена эффективность конечного изделия, на примере изготовления детали «Вставка спайдера» предприятия ООО «ЮУрМК» из заготовки цельного сечения и полого, что подтверждает целесообразность использования заготовок полого сечения.

**В заключении** представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

В целом, рецензируемая диссертационная работа структурирована, информативна и выполнена в объеме, необходимом для кандидатской диссертации. Цели и задачи диссертационной работы сформулированы четко, сделанные выводы логически вытекают из полученных результатов. Диссертант принимал активное участие в выполнении экспериментальной работы, подготовке и публикации полученных результатов.

#### **Научная новизна работы**

1. Разработана математическая модель изменения гидродинамической обстановки в шлаковой и металлической ваннах при ЭШП с вращением расходуемого электрода вокруг собственной оси, показывающая, что траектория движения капель жидкого металла в шлаковой ванне зависит от пропорционального отношения квадрата скорости вращения расходуемого электрода к силе подводимого тока.

2. Выявлена зависимость влияния размеров прошивающего дорна, кристаллизатора и расходуемого электрода на скорость его вращения и место доставки электродного металла в жидкую металлическую ванну.

#### **Практическая значимость работы**

1. Разработана конструкторская документация и проведена модернизация полупромышленной установки электрошлакового переплава А-550 для реализации технологии получения полой заготовки по одноэлектродной схеме.

2. Проведены опытные переплавы с вращением расходуемого электрода для получения полой заготовки с использованием прошивающего дорна на постоянном и переменном токе.

**Достоверность** результатов диссертационного исследования и обоснованность выводов подтверждены автором путем использования современных

методов исследования и анализа, математических методов обработки полученных результатов.

**По диссертационной работе имеются следующие замечания:**

1. В диссертационной работе не рассмотрен вопрос окончания процесса плавления, который связан со снижением возможных усадочных процессов, а именно объемной усадкой.

2. В диссертационной работе не отражено направление протекания электрического тока. Имеет ли место преимущественное его прохождение по пути электрод – шлаковая ванна – формируемая заготовка – поддон или электрод – шлаковая ванна – кристаллизатор – поддон?

3. Не пояснена возможная целесообразность твердого старта при реализации данной технологии. Вопросы, связанные со стартом, решаются с использованием жидкого флюса, предварительно подаваемого в кристаллизатор.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным**

**«Положением о порядке присуждения ученых степеней»**

Диссертационная работа **Сергеева Дмитрия Владимировича** является актуальной законченной научно-квалификационной работой, имеет новизну и практическую значимость. Основные результаты работы изложены в 14 работах, включая 5 работ в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией и индексируемых на базе данных Scopus, 2 патента на изобретения и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Апробация результатов работы прошла на 8 международных научно-технических конференциях. Содержание диссертационной работы соответствует основным целям и выводам работы. Положения и выводы диссертационной работы достаточно обоснованы. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации. Качество оформления диссертации находится на хорошем уровне.

Диссертационная работа «Технология получения полой заготовки методом электрошлакового переплава по одноэлектродной схеме» отвечает всем требованиям, сформулированным в п.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г № 842. «О порядке присуждения учёных степеней». В

