

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Филиал в городе Златоусте
Факультет «Техники и технологии»
Кафедра «Техника и технологии производства материалов»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

Главный специалист

АО «Златмаш»

_____ Я.М. Хозов

« ____ » _____ 2021 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,

д.т.н., профессор

_____ И.В. Чуманов

« ____ » _____ 2021 г.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛОЙ ЗАГОТОВКИ МЕТОДОМ ЭШП
ПО ОДНОЭЛЕКТРОДНОЙ СХЕМЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты:

Технический контроль

к.т.н., доцент

_____ А.В. Рябов

« ____ » _____ 2021 г.

Руководитель работы:

д.т.н., профессор

_____ И.В. Чуманов

« ____ » _____ 2021 г.

Автор работы:

студент группы ФТТ – 250

_____ Д.С. Норицын

« ____ » _____ 2021 г.

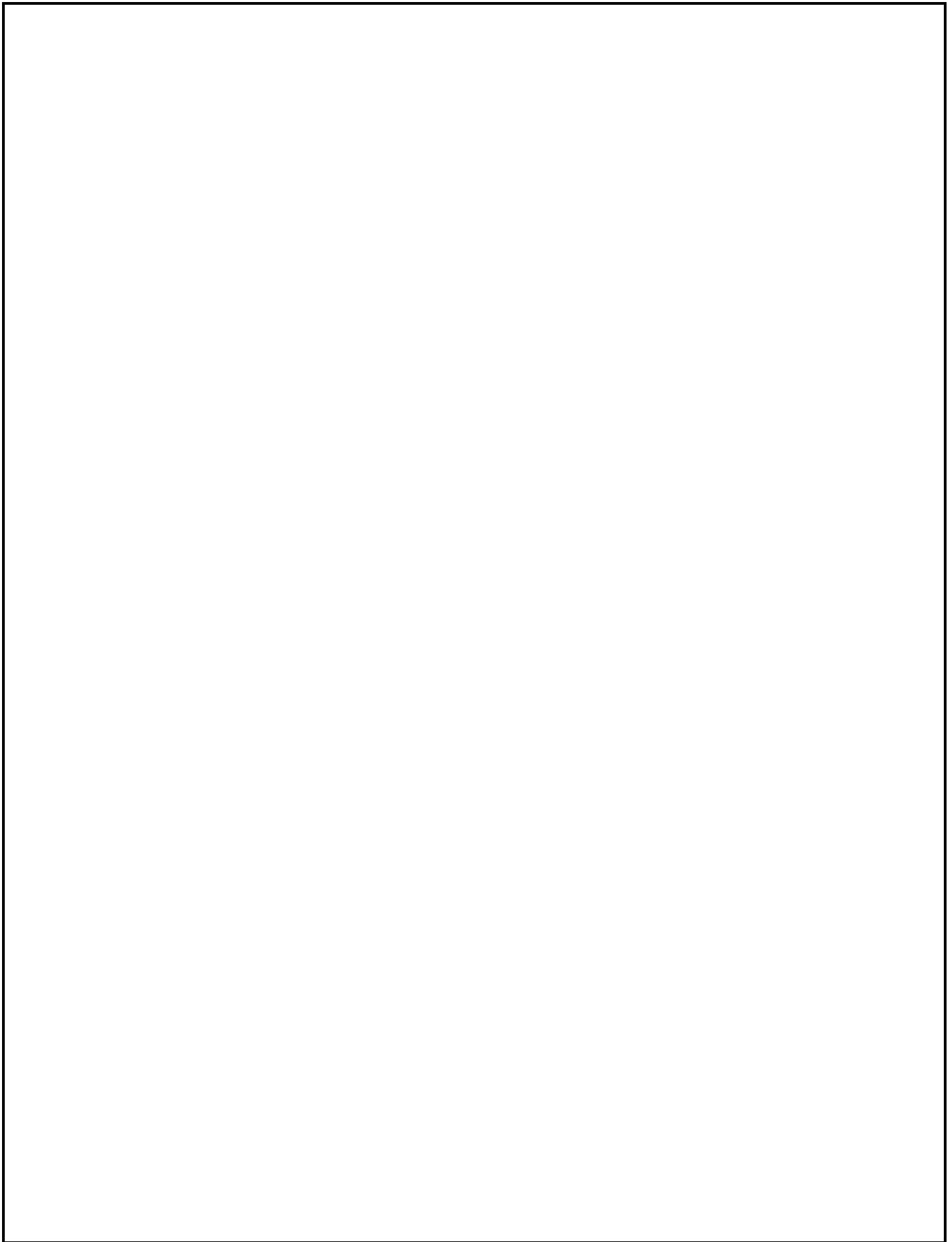
Нормоконтролер:

инженер

_____ В.В. Седухин

« ____ » _____ 2021 г.

Златоуст 2021 г.



					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка технологии и конструкторской документации оборудования для получения полой заготовки методом ЭШП по одноэлектродной схеме	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Норицын Д.С.						
Провер.		Чуманов И.В.					6	85
Рецензент		Онопrienko Г.А.				Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте Кафедра ТиТПМ		
Н. контр.		Седухин В.В.						
Утверд.		Чуманов И.В.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ	7
1.1 Технологические особенности электрошлакового переплава.....	7
1.2 Назначение и применение полых заготовок из конструкционных сталей полученных методом электрошлакового переплава	12
1.3 Технические требования к полым заготовкам ЭШП из легированных марок стали.....	15
1.4 Способы получения полого слитка методом ЭШП.....	18
1.5 Технология получения полой заготовки полученной методом ЭШП с вращающимся электродом	26
2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	29
2.1 Разработка конструкции прошивающего дорна	29
2.2 Разработка конструкции подвижного стола.....	30
2.3 Проверка прочностных характеристик базы стола.....	32
2.4 Расчет мощности привода подвижной части стола.....	36
2.5 Расчет скорости вращения электрода	37
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	40
3.1 Установка вновь разработанных узлов на электрошлаковую печь на базе А-550	40
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	43
4.1 Идентификация потенциальных опасностей и вредностей при работе на экспериментальной установке	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	56
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	60
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ОБЩИЙ ВИД МОДЕЛИ УСТАНОВКИ.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ЭСКИЗНАЯ КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ....	61

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленности, особенно энергопромышленности, а также атомной и космической промышленности, возрастает необходимость постоянного повышения такой важной характеристики качества металла, как его надежность.

Сталь и сплавы являются одним из основных конструкционных материалов для производства многочисленных изделий и заготовок, используемых в мире. Из металла изготавливается также большое количество предметов быта. Характеристика стали оказывает все большее влияние на повышение эффективности использования промышленной продукции. Существуют способы улучшения металла. Широкое применение получили внепечное вакуумирование жидкой стали, плавка стали и сплавов в вакуумных индукционных печах, вакуумный дуговой переплав и т.д. Выплавка сталей более высокого качества позволяет повысить срок службы станков и машин.

Металл, подвергшийся электрошлаковому переплаву, отличается высокой чистотой по неметаллическим включениям, свободен от различного рода литейных дефектов ликвационного типа, обладает высокой физической однородностью и чрезвычайно высокой плотностью структуры.

Процесс электрошлакового переплава является достаточно гибким процессом, так как, меняя сечение расходуемого электрода, состав применяемого флюса и его количество, а также электрические параметры процесса. Возможно довольно в широких пределах регулировать скорость плавки и технологические свойства металла. Кроме того, при электрошлаковом процессе имеется возможность получения слитков разнообразного сечения (круглого, квадратного, прямоугольного с большим соотношением длин широкой и узкой сторон). Методом электрошлакового переплава можно получить отливки самой различной формой (полые заготовки, заготовки прокатных валков, сосудов высокого давления, крупной запорной арматуры высокого давления, заготовки коленчатых валов и шатунов судовых двигателей и некоторые другие изделия).

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

В настоящее время ЭШП нет альтернативы в получении высококачественного металла. Возможность получения полых слитков трудно-обрабатываемых марок стали является хорошим решением для трубопрокатных производств.

В современном мире одной из ключевых технических задач считается необходимость в получении полых литых заготовок, максимально приближенных по форме и размерам к готовому изделию и по качеству, не уступающих по своим техническим характеристикам горячедеформируемым, в то же время необходимо максимально повысить эксплуатационные свойства полых заготовок и уменьшение энерго затрат по их получению.

Существующие способы получения полых заготовок не всегда соответствуют предъявляемые к ним требования.

Таким образом, предложено применить электрошлаковую печь с вращающимся вокруг своей оси электродом и подающимся по мере оплавления электрода прошивающим дорном. Этим определяется актуальность данной выпускной квалификационной работы.

Целью данной выпускной квалификационной работы является улучшение и разработка конструкторской документации (КД) конструкции электрошлаковой печи на базе печи А-550.

Для достижения результата необходимо решить следующие задачи:

- Произвести обзор существующих методов получения полых заготовок методом ЭШП;
- Разработать модель и выпустить комплект КД конструкции прошивающего дорна;
- Разработать модель и выпустить комплект КД конструкции стола с подвижным прошивающим узлом;
- Предложить схему адаптации оборудования на ЭШП А-550.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Технологические особенности электрошлакового переплава

Одним из способов повышения качества металлов и сплавов является электрошлаковый переплав. Сущность данной технологии заключается в том, что металл в виде расходуемого электрода переплавляется в ванне электропроводного флюса шлака под действием тепла, выделяющегося за счет сопротивления во флюсе, при прохождении через него электрического тока в соответствии с рисунком 1.1.

Расходуемый электрод представляет собой отлитое или прокатанное изделие из металла, полученного в мартеновской, дуговой, вакуумно-индукционной печах или кислородном конверторе [1].

Электрический ток подводится к переплавляемому электроду 1, погруженному в шлаковую ванну 2 и к поддону 6. Переплав ведется в водоохлаждаемом медном кристаллизаторе 5, в котором находится стальная затравка 7. Выделяющимся в шлаковой ванне 2 теплота нагревает ее до температуры 1700 °С и более, и вызывает оплавление конца электрода. Капли жидкого металла проходят через шлак, образуя под шлаковым слоем металлическую ванну 2. Перенос капель металла через основной шлак способствует их активному взаимодействию, удалению из металла серы, неметаллических включений и растворенных газов. Металлическая ванна непрерывно наполняется, за счет подачи жидкости, путем расплавления электрода, под воздействием кристаллизатора постепенно формируется в слиток 4. В результате ЭШП содержание кислорода в металле снижается в 1,5–2 раза уменьшается содержание неметаллических включений, они становятся мельче и равномерно распределяются в объеме слитка, понижается концентрация серы. Схема процесса указана на рисунке 1.1.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

а)

б)

Рисунок 1.1 – Схема электрошлакового переплава с одним (а) и двумя (б) расходуемыми электродами: 1 – расходуемый электрод; 2 – шлаковая ванна; 3 – металлическая ванна; 4 – слиток; 5 – водоохлаждаемый кристаллизатор, 6 – поддон

Слиток отличается плотностью, однородностью хорошим качеством поверхности благодаря наличию шлаковой корочки, высокими механическими и эксплуатационными свойствами стали и сплавов. Электрошлаковый переплав нашел свое широкое применение при изготовлении из высококачественной стали изделий для шарикоподшипников, также возможен переплав жаропрочных сталей, которые применяются в двигателях внутреннего сгорания и авиационных конструкциях. С помощью ЭШП имеется возможность в изготовлении деталей различной формы. Электрошлаковый переплав применяется как в черной, так в цветной металлургии. Приблизительная плотность тока данного процесса может составлять 0,1–0,5 А/мм².

Шлак должен обладать следующими свойствами:

- большая легкоплавкость, чем металла расходуемого электрода, что обеспечивает лучшее рафинирование от газов и неметаллических включений;
- достаточное электросопротивление (при большой электропроводности шлака будет выделяться мало тепла);
- необходимая жидкотекучесть (иначе ухудшается теплопередача через шлаковую прослойку к кристаллизатору и ухудшается качество слитка).

Основой для большинства рабочих флюсов, применяемых при ЭШП, является фтористый кальций. Наиболее широко применяется рабочий флюс марки АНФ-6, содержащий 25–30 % Al_2O_3 , 57–65 % CaF_2 , 4–5 % CaO . Температура плавления

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

этого флюса 1320–1340 °С, расход составляет 3–4 % от массы слитка. Этот шлак обеспечивает десульфурацию металла и применяется для сталей и сплавов, не содержащих бор и титан. Флюс АНФ –111, содержащий 95 % CaF₂ и 5 % CaO с температурой плавления ~ 1400 °С, может быть использован для переплава сталей, содержащих бор и титан.

Как показывает практика, хранение флюса необходимо осуществлять в сухом помещении с минимальным перепадом температур, чтобы не было конденсата, а перед тем как данный флюс отдать в эксплуатацию его необходимо просушить при температуре не менее 300 °С. Флюсы выплавляют в однофазной дуговой электропечи с углеродистой футеровкой или в водоохлаждаемом тигле. Выплавленный флюс дробят, размалывают и просеивают через сито с отверстием 2×2 мм.

Во время процесса электрошлакового переплава, когда расходующий электрод начинает плавиться, капли жидкого металла попадают в кристаллизатор через шлаковую ванну. Данное явление способствует увеличению площади контакта между металлом и шлаком и положительно сказывается на протекании рафинировочных процессах, в отличие от обычных дуговых печей. Важным событием для ЭСП переплава является обеспечение определенной частоты отрыва капель жидкого металла от оплаваемого электрода и их размер, который должен быть постоянным. Если варьировать силой тока, напряжением, а также составом переплавляемого металла, то частота отрыва капель от оплаваемого электрода и ее размеры будут изменяться, помимо этого траектория движения капли тоже будет меняться. В большинстве случаев подбор оптимальных параметров работы установки осуществляется индивидуально для каждого случая чтобы обеспечить максимальную производительность установки.

Перед тем как начать плавку, производится визуальный осмотр кристаллизатора, если обнаруживаются какие-либо дефекты их необходимо устранить, а после этого зачистить дно кристаллизатора, после чего на него устанавливается затравка, которая по своему химическому составу однотипна с переплавляемым металлом. Затравка в данном процессе играет важную роль – защищает дно кристаллизатора.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

Для того, чтобы получить жидкий шлак в начале процесса, необходимо на затравку засыпать электропроводный флюс, который перемешан до однородного состава.

После того, как рабочий флюс был засыпан, необходимо обеспечить подачу воды для охлаждения кристаллизатора и поддона, а после чего подать ток. В зависимости от диаметра электрода, который будет участвовать в процессе плавки, подбирается необходимая сила тока, которая обеспечила бы качественную плавку.

Спустя 15–20 мин после того, как печь была включена, на дне кристаллизатора образуется жидкая шлаковая ванна.

Колоссальное влияние на качество слитка оказывает сила тока и все что с ней связано. В связи с увеличением мощности, пропорционально ее увеличению будет увеличиваться глубина жидкой части металла и соответственно время затвердевания получившейся заготовки в кристаллизаторе. Данное явление способствует увеличению процента загрязнения металла неметаллическими включениями, что негативно сказывается на качестве получившейся заготовки.

Также негативно сказывается и малая величина подводимой мощности, так как повышается вязкость жидкого металла и происходит попадание шлака в него, что способствует появлению корочек. Поверхностная часть заготовок ухудшает свои свойства.

Если подводимая мощность высока, а сама высота жидкого шлака минимальная, то происходит клокотание ванны и сила тока начинает изменяться или, говоря другими словами, колебаться. С целью предотвращения так называемого клокочущего явления и стабилизации процесса плавки уменьшается сила тока. Производительность электрошлаковой печи, как показало исследование, пропорциональна диаметру кристаллизатора, силе тока, марки стали, которая применяется для изготовления электрода и т.п.

Улучшение технико-экономических показателей работы установок ЭШП достигается уменьшением простоев между плавками и повышением степени механизации, а также автоматизации вспомогательной операции, увеличением выхода годного.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

Анализ процессов ЭШП показал, что при применении жидкого шлака, процент выхода годного возрастает в несколько раз. Заливка жидкого шлака в кристаллизаторы установок ЭШП снизу (сифонным способом) была впервые внедрена на трехфазной установке завода «Электросталь»,

Совершенствование систем управления мощностью шлаковой ванны и скоростью подачи или массовой скоростью плавления электрода также повышает производительность установки.

Улучшение технико-экономических показателей установок ЭШП достигается и повторным использованием шлака в случаях, когда он не окисляется и не обогащается серой.

Основные преимущества электрошлакового переплава перед другими способами получения слитка методом переплава:

- простота его обслуживания;
- возможность управления наплавлением и скоростью кристаллизации слитка;
- отсутствие усадочной раковины и пористости;
- обеспечение такого качества поверхности, которое исключает необходимость в зачистке при горячей обработке;
- разнообразная геометрия электродов и кристаллизаторов позволяет получать слитки разнообразного сечения, фасонные отливки и полые изделия;
- хорошая рафинирующая способность процесса от неметаллических включений;
- возможность корректировки химического состава металла путем применения соответствующего флюса;
- повышение плотности металла;
- улучшение коррозионной стойкости металла;
- повышение однородности структуры и химического состава;
- общее улучшение характеристик пластичности и вязкости металла;
- возможность управления направлением и скоростью кристаллизации.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

Недостатком электрошлакового переплава является невозможность организовать в открытом агрегате удаление водорода.

1.2 Назначение и применение полых заготовок из конструкционных сталей полученных методом электрошлакового переплава

Конструкционная сталь обладает превосходными механическими, физическими и химическими свойствами, в результате чего из данной марки стали осуществляется изготовление различного рода деталей, механизмов и конструкций в машиностроении, помимо машиностроения конструкционная сталь используется в строительстве [6].

Конструкционную сталь можно подразделить на:

- углеродистую качественную сталь;
- легированную качественную сталь:
- низколегированную;
- легированную;
- пружинно-рессорную;
- теплоустойчивую;
- шарикоподшипниковую.

1.2.1 Углеродистую качественную конструкционную сталь можно подразделять на следующие категории:

- машиностроительную – 08, 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60;
- котельную – 20К.

В обозначении данных марок стали цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Основное применение машиностроительной конструкционной стали заключается в изготовлении деталей машин, конструкций приборов.

1.2.2 Низколегированная качественная конструкционная сталь. Марки низколегированной стали: 09Г2, 09Г2С, 0ХСНД, 17Г1С, 16Г2АФ и т.д.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

Марки низколегированной стали 10ХНДП, 15ХНДП, 0ХСНД, 15ХСНД являются атмосферно коррозионностойкими (АКС), толщина металлоконструкций из АКС за 20–30 лет работы уменьшается в 2–3 раза меньше, чем толщина конструкций из обычной углеродистой и низколегированной стали.

Низколегированная качественная конструкционная сталь используется для изготовления корпусов железнодорожных вагонов, вагонов метро и трамвая, несущих конструкций локомотивов, сельскохозяйственных и других полевых машин, и инженерных сооружений, работающих в условиях переменных динамических нагрузок и сезонных и суточных теплосмен.

1.2.3 Легированная качественная конструкционная сталь. В зависимости от химического состава и свойств легированную конструкционную сталь подразделяется на категории:

- качественную (без букв);
- высококачественную А;
- особо высококачественную Ш.

Легированная конструкционная сталь используется для изготовления различных улучшаемых деталей: втулок, шестерней, обойм, гильз, дисков плунжеров, других деталей, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости.

1.2.4 Теплоустойчивая качественная конструкционная сталь. Марки теплоустойчивой конструкционной стали: 12МХ, 12Х1МФ, 25Х1МФ, 25Х2М1Ф, 20Х3МВФ, 15Х5М, 15ХМ.

Теплоустойчивая качественная конструкционная сталь используется для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии при температуре до 600 °С в течение длительного времени.

Марки шарикоподшипниковой конструкционной стали: ШХ15, ШХ4, ШХ15СГ, ШХ20СГ.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

Шарикоподшипниковая конструкционная сталь используется для изготовления деталей, работающих под воздействием сосредоточенного и переменного напряжений, возникающих в зоне контакта шариков и роликов с беговыми дорожками колец подшипников качения.

1.2.5 Рессорно-пружинная качественная конструкционная сталь. Марки рессорно-пружинной качественной конструкционной стали: 65, 70, 75, 85, 60Г, 65Г, 55С2, 60С2, 60С2А, 70С3А, 55ХГР, 50ХФА, 60С2ХА, 60С2ХФА, 65С2ВА.

Рессорно-пружинная качественная конструкционная сталь используется для изготовления пружин, рессор, гибких мембран, сильфонов и аналогичных деталей.

Трубное производство является сложным процессом, что определяет высокую долю консерватизма во внедрении технологических новшеств. В частности, до сих пор не применяют исходную полую заготовку, что было бы вполне логично как с точки зрения технологии, так и экономики производства. Это связано и с реальными сложностями отливки полых слитков, и со сложившимися стереотипами, а также существующим оборудованием. Наиболее перспективным при производстве полых заготовок для изготовления труб и других цилиндрических оболочек является ЭШП полых слитков. Благодаря высокой рафинирующей способности процесса и получению плотного слитка металл полых слитков ЭШП имеет высокое качество, позволяющее применять его даже в литом виде.

Следует подчеркнуть, что требуемые (и обеспечиваемые) свойства литого электрошлакового металла не уступают металлу кованных труб. На практике трубы из литого металла ЭШП демонстрируют в 2-3 раза более высокую ударную вязкость, что подтверждает их высокое качество. Металл труб ЭШП показывает высокие значения предела длительной прочности при повышенных температурах (до 500 °С для сталей 20, 15ГС и 16 ГС и до 600 °С – для сталей 15Х1М1Ф и 10Х9МФБ). Комплекс механических свойств труб ЭШП, определяющий их работоспособность, не уступает уровню требований, предъявляемых к кованным трубам

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

из стали той же марки, что позволяет использовать их в системах трубопроводов энергетических установок, в том числе и для атомных электростанций. Опыт производства литых труб для ТЭЦ и АЭС показывает, что ЭШП полого слитка в настоящее время – это устойчивая и хорошо зарекомендовавшая себя технология, позволяющая выпускать конкурентную продукцию высокого качества. На основании анализа многолетнего успешного опыта и новых производственных результатов можно утверждать, что традиционный способ ЭШП обеспечивает высокое качество полых слитков. В приложении А приведены основные конструкционные марки стали, применяющиеся в машиностроении.

1.3 Технические требования к полым заготовкам ЭШП из легированных марок стали

Химический состав стали марок 08X18H10T-Ш, 08X18H12T-Ш, 12X18H10T-Ш, 10X23H18-Ш, 10X17H13M2T-Ш и сплавов ХН32Т-Ш, (ЭП670-Ш), 06ХН28МДТ-Ш (ЭИ943-Ш) и предельные отклонения по содержанию элементов должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2

Таблица 2 – Химический состав стали марок 08X10H20T2-Ш и 08X10H16T2-Ш

Марка стали	Массовая доля элементов,									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al	S	P	Ce
08X10H20T2	≤ 0,08	≤ 0,8	≤ 2,0	10,0 12,0	18,0 20,0	1,8 2,5	≤ 1,0	≤ 0,030	≤ 0,035	
08X10H16T2	≤ 0,08	≤ 0,8	2,0 4,0	10,0 12,0	15,0 17,0	1,5 2,0	0,5 1,0	0,020 0,025	≤ 0,025	≤ 0,05

Церий для стали марки 08X10Ni6T2 вводится по расчету и химическим анализом не определяется [2].

Допускаются следующие отклонения по массовой доле элементов в химическом составе стали:

- по титану $\pm 0,10$ %
- по сере + 0,005 %
- по фосфору + 0,005 %
- по алюминию $\pm 0,02$ %

Химический состав сплава ХН30МДБ-Ш (ЭК77-Ш) должен соответствовать требованиям таблицы 3.

Таблица 3 – Химический состав сплава ХН30МДБ-Ш (ЭК77-Ш)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	S	P	Cu	B	Nb
$\leq 0,02$	$\leq 0,2$	0,5 0,8	27,0 29,0	29,0 31,0	$\leq 0,1$	2,8 3,5	$\leq 0,02$	0,02	0,9 1,5	$\leq 0,004$	0 0,2

В готовом металле допускаются следующие отклонения по массовой доле элементов;

- по углероду + 0,01 %
- по меди - 0,1 %
- по хрому $\pm 0,2$ %
- по кремнию + 0,1 %

Шероховатость поверхности механически обработанных слитков Rz не должна превышать 80 мкм.

На наружной и внутренней поверхностях полых механически обработанных слитков не должно быть трещин, плен, раковин, пузырей, резких переходов [2].

Допускается удаление местных дефектов пологой зачисткой абразивным кругом. Глубина зачистки не должна выходить за пределы наименьших допускаемых размеров.

Ширина вырубки или зачистки должна быть не менее шестикратной ее глубины.

В одном сечении допускается не более трех зачисток максимальной глубины.

Донная технологическая обрезь слитков производится на анодномеханическом станке.

Содержание ферритной фазы в стали марок 08X18H10T-Ш и 08X18H12T-Ш не должна превышать 6,5 %.

В макроструктуре стали не должно быть следов усадочной рыхлости, подкорковых пузырей, трещин, шлаковых и металлических включений, расслоений и других дефектов видимых без применения увеличительных приборов [2].

Загрязненность стали неметаллическими включениями не должна превышать по максимальному баллу:

- сульфиды - 1,0;
- оксиды (ОТ, ОС) - 2,5;
- силикаты (СХ, СП) - 2,0;
- силикаты не деформирующиеся - 2,0;
- нитриды строчечные - 3,5.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17

Металл слитков должен выдерживать испытания на склонность к межкристаллитной коррозии.

1.4 Способы получения полого слитка методом ЭШП

1.4.1 ЭШП с подвижным конусным дорном. Для осуществления данного способа ЭШП полых заготовок применяют внутренний кристаллизатор в виде усеченного конуса, который в ходе процесса перемещают относительно выплавляемой детали, что позволяет избежать его зажатия остывающим металлом. Конусность дорна назначают такой, чтобы при перемещении последнего уменьшение его диаметра соответствовало тепловой усадке заготовки. При этом дорн располагают большим основанием в сторону его перемещения. В зависимости от направления перемещения в отливках формируется полость различной конфигурации. При перемещении дорна вверх полость имеет постоянный диаметр, а при перемещении вниз формируется полость с небольшой конусностью, изображенной на рисунке 1.2.

Электрошлаковую плавку ведут по многоэлектродной схеме в неподвижном кристаллизаторе [3, 4].

Рисунок 1.2 – Схема ЭШП полой заготовки с перемещением конического дорна вниз: 1 – слиток; 2 – кристаллизатор; 3 – расходуемый электрод; 4 – дорн; 5 – поддон

Достоинством указанного способа ЭШП полых заготовок является возможность его осуществления без применения специальных датчиков, определяющих положение уровня металлической ванны относительно подвижного дорна. При использовании подвижного дорна заготовка практически не испытывает сопротивления при усадке металла, отпадают также дополнительные затраты на изготовление

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		18

разовых рубашек. Но для перемещения дорна требуется механизм, который в автоматическом режиме двигает его со скоростью, пропорциональной скорости наплавления заготовки или скорости усадки.

Недостатком этих устройств является длительное время выбирания люфтов в винтовой системе, а дорн все это время неподвижен относительно отливки и сильно обжимается ею. Вторым недостатком таких устройств является также неудобство их обслуживания в прямке, дополнительные затраты на изготовление специальной откатной тележки с отверстием для прохождения дорна в кристаллизатор и устройство самого прямка с освещением и откачивающим насосом.

1.4.2 ЭШП с неподвижным дорном многоразового использования. Данный способ ЭШП преимущественно используется для серийного производства литых электрошлаковых заготовок с полузамкнутыми полостями, изображенными на рисунках 1.3 и 1.4, которые формируют неподвижным дорном многоразового использования [3, 6, 7]. Такие дорны представляют собой жесткие водоохлаждаемые стержни, изготовленные из металла с тепловым расширением, заметно отличающимся от расширения металла отливки.

Рисунок 1.3 – Схема ЭШП полых заготовок корпусов энергетической арматуры с неподвижным конусным дорном:

- 1 – поддон; 2 – наружный кристаллизатор; 3 – заготовка;
4 – металлическая ванна; 5 – шлаковая ванна; 6 – расходуемый электрод;
7 – источник питания; 8 – неподвижный многоразовый дорн

Рисунок 1.4 – Схема переплава, при которой выплавка начинается с обечайки: 1 – расходуемый электрод; 2 – шлаковая ванна; 3 – металлическая

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

ванна; 4 – дорн; 5 – слиток; 6 – кристаллизатор; 7 – поддон

Достоинством данной технологии является существенное повышение качественных показателей (гомогенности и плотности структуры, механических свойств и т. д.). Кроме того, в результате применения ЭШП решается задача получения полых толстостенных заготовок с дном (типа «стакан»), т. е. выплавки половины сосуда вместе с донной частью.

Недостатком данной схемы является неудовлетворительное формирование дна отливки, особенно в тех случаях, когда диаметр сосуда в 10 раз больше, чем толщина стенки сосуда.

1.4.3 ЭШП с подвижными кристаллизаторами и заготовкой. Для получения длинных полых слитков или заготовок используют способ ЭШП, при котором осуществляют относительное перемещение выплавленного металла и обоих кристаллизаторов. При этом конусный внутренний кристаллизатор располагают расширением вверх. Применяют разные варианты этого способа, например: выплавляемая полая заготовка остается неподвижной на поддоне, а по мере ее роста перемещается в верх кристаллизатора, изображенного на рисунке 1.5, а; неподвижными оставляют кристаллизаторы, а выплавляемую заготовку вместе с поддоном перемещают вниз, изображение представлено на рисунке 1.5, б.

а)

б)

Рисунок 1.5 – Схемы ЭШП с перемещением кристаллизаторов и полых заготовок:

а – с неподвижной заготовкой и перемещающимся вверх блоком кристаллизаторов; б – с неподвижным блоком кристаллизаторов и перемещающейся вниз выплавляемой заготовкой; 1 – поддон; 2 – наружный кристаллизатор; 3 – заготовка; 4 – металлическая ванна; 5 – шлаковая ванна; 6 –

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

расходуемый электрод; 7 – источник питания; 8 – дорн, соединенный в блок с наружным кристаллизатором; 9 – платформа для кристаллизатора

Технология получения полых длинномерных заготовок с использованием подвижных кристаллизаторов в большей части случаев реализуется с использованием набранного из нескольких штанг круглого, квадратного или прямоугольного сечения расходуемых электродов, к однофазному печному трансформатору по бифилярной схеме (электрод – электрод). Штанги располагают в кольцевом зазоре по окружности на некотором расстоянии одну от другой. Рабочий ток в ходе плавки протекает, в основном, между соседними штангами, что обеспечивает более равномерное, чем при монофилярной схеме (электрод – поддон), распределение температуры на поверхности шлаковой ванны.

При ЭШП с относительным перемещением выплавляемого полого слитка и кристаллизаторов скорость перемещения должна соответствовать скорости роста слитка. В случае, если скорость перемещения превысит скорость его роста, произойдет вытекание расплавленного металла через образовавшийся зазор между слитком и конусным дорном. Если же скорость перемещения окажется ниже скорости его роста, произойдет зажатие дорна выплавляемым полым слитком, и при своем дальнейшем движении кристаллизатор начнет отрывать от слитка обжимающую его корочку металла [8].

Достоинством данного способа является то, что способ ЭШП, при котором осуществляют относительное перемещение выплавленного металла и обоих кристаллизаторов, позволяет получать длинные полые заготовки с различной толщиной стенки весьма высокого качества.

Недостатком данного способа является неудовлетворительная поверхность заготовки (в том числе из-за неравномерной скорости вытягивания заготовок), также качество поверхности несколько ниже в областях, соответствующих межэлектродным промежуткам; необходимость контролировать уровень шлака; электроэрозионное разрушение поверхностей подвижного кристаллизатора и дорна [9].

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		21

1.4.4 Центробежное электрошлаковое литье. Центробежные машины разделяются на центробежные машины с вертикальной осью вращения и центробежные машины с горизонтальной осью вращения [10]. Центробежная машина состоит из станины, установленных на ней подшипниковых опор, в которых вращается вал-шпиндель, изложницы и защитного кожуха. По разработанной технологии ЦЭШЛ сначала в плавильной емкости при переплаве расходуемого электрода большого диаметра накапливается необходимое количество жидкого металла, который затем переливается вместе со шлаком в центробежную машину.

Достоинством центробежного электрошлакового литья является значительное снижение вторичного окисления жидкого металла при разливке, что позволяет использовать его не только для изготовления трубных заготовок из сплавов с повышенной жаростойкостью, но и получать трубы с хорошим качеством поверхности, что снижает металлоемкость изделий и энергозатраты на их производство. Кроме того, такая технология обеспечивает высокую оперативность выпуска изделий различной номенклатуры и типоразмеров [11].

Недостатком данного способа является ликвация сплава по удельному весу отдельных элементов и необходимость иметь значительный припуск на обработку внутренней поверхности отливки, поскольку в поверхностном слое здесь сохраняется пористость и скапливаются неметаллические включения. Наиболее часто встречающимся дефектом поверхности центробежно-литых электрошлаковых заготовок являются горячие трещины, расположенные параллельно оси вращения. Формы должны быть повышенной прочности и герметичности, необходимо дозирование металла для получения нужного размера внутреннего отверстия отливки.

Также существенное влияние на качество заготовки оказывает скорость вращения формы и ее геометрические размеры.

1.4.5 Процесс электрошлаковой прошивки. Существует разновидность технологии ЭШП, при которой слиток вытягивают вниз, а наружный кристаллизатор и дорн не соединяют в общий блок. В этом случае дорн устанавливают на жестком штоке, через который также осуществляется подвод и отвод охлаждающей воды

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

[12, 13]. В процессе ЭШП верхний торец внутреннего кристаллизатора удерживают ниже уровня шлака так, чтобы он лишь немного выступал над металлической ванной. При этом пространство внутри кристаллизатора выше зеркала шлаковой ванны остается свободным для размещения расходующихся электродов. Схема такого процесса ЭШП приведена на рисунке 1.6.

Рисунок 1.6 – Схема процесса электрошлаковой прошивки:

1 – шток дорна; 2 – дорн для электрошлаковой прошивки

Преимуществом этого варианта ЭШП полых слитков является возможность применять для переплава один расходующийся электрод большого сечения. В ходе процесса ЭШП происходит как бы прошивка сплошного электрода и формирование полых заготовок. Слитки, получаемые этим способом, имеют плотную макроструктуру по всему телу слитка, минимальное содержание газов и неметаллических включений, отмечается хорошая поверхность и высокое качество металла.

При прошивке отпадает необходимость использовать для переплава тонкий прокат из требуемой марки металла и изготавливать из него расходующийся электрод в виде частотола прутков. Использование одного электрода упрощает процесс подготовки ЭШП и существенно снижает затраты на его проведение, (особенно эффективна прошивка при производстве полых заготовок из труднодеформируемых сталей и сплавов, из которых сложно получать тонкие прутки). При этом для выплавки полых заготовок можно использовать литые расходующиеся электроды, изготовленные способами вакуумной индукционной плавки и вакуумного дугового переплава. Этот способ позволяет получать полые трубные заготовки, пригодные для прокатки и прессования без предварительной их обработки или с обточкой на незначительную глубину (не более 0,5–1 мм на сторону) для получения поверхности высокой чистоты [14].

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		23

Электрошлаковую прошивку полых слитков на универсальных печах ЭШП с подвижной нижней тележкой можно осуществлять по различным схемам, изображенным на рисунке 1.7.

При схеме с подвижным дорном последний закрепляется на нижней тележке печи и движется вверх. Наплавляемый слиток остается неподвижным. Кристаллизатор может быть таким же неподвижным либо двигаться вместе с дорном относительно слитка (короткий кристаллизатор). По другой схеме дорн устанавливается на откатной тележке печи, а поддон слитка на нижней подвижной тележке.

Рисунок 1.7 – Схемы электрошлаковой прошивки с подвижным дорном при неподвижном кристаллизаторе (а), при подвижном коротком кристаллизаторе (б), с неподвижным дорном при опускающемся кристаллизаторе (в), при неподвижном коротком кристаллизаторе (г)

Слиток при этом опускается вниз вместе с кристаллизатором либо вытягивается из неподвижного короткого кристаллизатора. Последняя схема наиболее предпочтительна, так как создает благоприятные условия нагрузки на привод нижней тележки.

Высокий коэффициент заполнения, часто больше единицы, позволяет использовать при электрошлаковой прошивке сравнительно короткие расходимые электроды. При этом возможно применение короткого Т-образного наружного кристаллизатора. Разнообразной может быть форма поперечного сечения расходимого электрода – круглая, квадратная, многогранная.

Промышленное освоение способа прошивки наталкивается на некоторые трудности, связанные со стойкостью технологической оснастки. Во-первых, максимальная длина полый заготовки, выплавляемой таким способом, ограничена жесткостью штока, сохраняющего с требуемой точностью расположение дорна относительно наружного кристаллизатора. Во-вторых, недостатком указанного способа является то, что из-за отсутствия специальных защитных мер часть дорна, распо-

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		24

ложенная над уровнем металлической ванны, подвергается значительному разрушению. Одна из причин этого явления – электроэрозия поверхности дорна при прохождении через него части рабочего тока при прямой схеме подключения электрод – слиток. Разрушение дорна происходит также вследствие попадания на него капель расплавленного металла, так как зона каплеобразования расположена в осевой части электрода непосредственно над дорном. Это, в свою очередь, определяет высокие тепловые нагрузки на головку дорна. Изготавливаемая из меди рабочая часть дорна подвержена сильному электроэрозионному износу и требует смены уже после нескольких плавок.

Воспрепятствовать разрушению дорна можно применив внешнее воздействие на процессы каплеобразования, траекторию движения капли в шлаковой ванне и изменению места доставки электродного металла. Также при помощи внешнего воздействия можно изменить форму металлической ванны, достигнуть измельчения кристаллитов, избежать кристаллизационных дефектов, а также повысить рафинирующую способность и производительность процесса.

По применению внешних воздействий на процесс ЭШП с целью повышения качества кристаллической структуры формируемого слитка и производительность процесса, можно выделить следующие:

- переплав с вращением кристаллизатора вокруг своей оси при эксцентричном расположении расходуемого электрода;
- переплав с продувкой металлической и шлаковой ванны инертным газом и газопорошковыми смесями;
- переплав в поле действия электромагнитных сил (в соленоиде);
- переплав с вращением расходуемого электрода вокруг своей оси.

Наиболее перспективной является технология электрошлакового переплава с использованием вращения расходуемого электрода вокруг своей собственной оси в шлаковой ванне [15–18].

Данная технология предполагает комплексное воздействие на процессы каплеобразования, рафинирования и кристаллизации, также возможность повышения

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

тепловой эффективности электрошлакового процесса. При вращении электрода под действием центробежных сил в пленке жидкого металла на торце электрода присутствует преимущественно радиальное течение металла, что обуславливает формирование плоского торца электрода.

1.5 Технология получения полой заготовки полученной методом ЭШП с вращающимся электродом

Технология получения полого слитка методом электрошлакового переплава, включающая вертикальную наплавку в водоохлаждаемый кристаллизатор расходуемого электрода с одновременной подачей прошивающего дорна через отверстие в поддоне, отличающаяся тем, что расходуемый электрод на протяжении всего процесса переплава вращается вокруг своей оси со скоростью, которая рассчитывается по формуле (1), обеспечивающей доставку капель электродного металла по радиальной траектории на периферию шлаковой и жидкометаллической ванн за пределы подэлектродной зоны и определяемой из соотношения [20]:

$$n = \frac{D_1}{D_2} \sqrt{\frac{10 \cdot g \cdot \left[\sqrt{\frac{36 \cdot \sigma_{\text{ме-ш}}^2}{\Delta \rho^2 \cdot g^2 \cdot r^2} + r^2} - r \right]}{12 \cdot \pi^2 \cdot r^2}}, \text{ с}^{-1} \quad (1)$$

где D_1 - минимальный диаметр кристаллизатора для данного диаметра используемого электрода, мм;

D_2 - диаметр кристаллизатора, мм;

g - ускорение силы тяжести, м/с^2 ;

$\sigma_{\text{ме-ш}}$ - межфазное натяжение на границе раздела металл-шлак, Дж/м^2 ;

$\Delta \rho$ - разность плотностей металла и шлака, кг/м^3 ;

r - радиус электрода, м.

										Лист
										26
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР					

При вращении расходуемого электрода на пленку жидкого металла на его торце помимо гравитационных сил будет действовать центробежная сила, которая обуславливает формирование капель жидкого металла ближе к боковой поверхности электрода и более эффективный (принудительный) съем жидкого металла. Возникающие при вращении электрода центробежные силы обеспечивают радиальное течение жидкого металла на оплаиваемой поверхности расходуемого электрода. При достижении скорости вращения расходуемого электрода n , определенной по приведенной выше формуле, съем капель жидкого металла с его торца будет происходить под действием центробежных сил, в результате чего при отрыве от электрода капли металла движутся не по линейной, а по радиальной траектории и доставляются в шлаковую, а затем и жидкометаллическую ванны не в подэлектродной зоне, а ближе к стенкам кристаллизатора, т.е. исключается попадание капель металла на поверхность дорна. По приведенной формуле рассчитывается необходимая скорость вращения электрода для случая переплава электрода известного диаметра с минимальным для данного электрода диаметром кристаллизатора. При увеличении диаметра кристаллизатора (с сохранением диаметра электрода) следует увеличить скорость вращения электрода с целью обеспечения доставки капель жидкого металла ближе к стенкам кристаллизатора, так как в этом случае стенки кристаллизатора удаляются от боковой поверхности электрода, а увеличение скорости вращения позволит компенсировать это удаление, поскольку при увеличении скорости вращения место доставки капель в жидкометаллическую ванну также удаляется от боковой поверхности электрода.

Вращение расходуемого электрода вокруг своей оси в процессе получения полрой заготовки электрошлаковым переплавом с определенной скоростью (согласно вышеописанному) позволяет обеспечить доставку капель электродного металла на периферию жидкометаллической ванны и избежать тем самым попадания их на прошивающий дорн.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		27

Сущность данного процесса представлена на рисунке 1.8, на котором стрелками изображено движение капель жидкого металла в шлаковой ванне в случае переплава по предлагаемой технологии.

Изучение возможности выплавки полых слитков по предлагаемому способу проводилось на электрошлаковой установке А-550, оснащенной механизмами вращения электрода и перемещения прошивающего дорна.

При переплаве по предлагаемой технологии износ дорна не наблюдался. По факту отсутствия износа дорна и его загрязнения каплями металла однозначно можно сделать вывод о том, что в процессе переплава не имело места попадание капель электродного металла на его поверхность, т.е. доставка капель осуществлялась не в подэлектродной зоне, а на периферию шлаковой и жидкометаллической ванн.

Рисунок 1.8 – Схема ЭШП с вращающимся электродом: 1 - расходуемый электрод; 2 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 3 – шлаковая ванна; 4 – капли жидкого металла на оплавленном торце электрода; 5 – жидкометаллическая ванна; 6 – прошивающий дорн; 7 – получаемый полый слиток

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Разработка конструкции прошивающего дорна

Разработка прошивающего дорна заключалась в том, что в результате конструкция должна была получиться простой в изготовлении и являться разборной, также немаловажным фактором является доступность материалов. Основным материалом данной прошивки является медь, которая обладает физическими свойствами, значительно отличающимися от прочих применяемых материалов, например, керамики. Данный материал легко подвергается обработке, обладает хорошей теплопроводностью, коррозионной стойкостью. Из-за высокой теплопроводности меди, необходимо при проектировании учесть возможность охлаждения прошивки.

Сущность медной прошивки заключается в том, что вся конструкция закреплена на базе квадратной трубы 5, посредством резьбового соединения, через фланец 10, к основанию крепится направляющая труба 6, к которой также за счет резьбового соединения крепится головка дорна 2. Подача охлаждающей жидкости осуществляется через трубку 7, которая расположена в центре направляющей трубы, отвод охлаждающей жидкости из основания прошивающего дорна происходит через приварной штуцер 12, между деталями 2 и 6 устанавливается резиновое кольцо, для обеспечения герметичности, аналогичным образом обеспечивается герметичность на базовом корпусе конструкции, между крышками 1 и торцевым фланцем 9 устанавливается прокладка 4, крепление деталей осуществляется за счет сварки и стандартных крепёжных изделий 11, 13, 14. Вся конструкция устанавливается на основание 3. Данная конструкция является легко разборной, благодаря этому при выходе из строя составляющих легко осуществляется их замена. Эскизный проект прошивки и её разнесённое состояние, показывающее условия сборки показаны на рисунках 2.3, 2.4

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		29

Рисунок 2.3 – Конструкция медной прошивки;

1 – крышка; 2 – наконечник, 3 – основание; 4 – прокладка; 5 – труба квадратная; 6 – медная труба; 7 – трубка; 8 – уплотнительная шайба; 9 – фланец торцевой; 10 – фланец; 11 – шайба; 12 – штуцер приварной; 13 – гайка; 14 – болт

Рисунок 2.4 – Осевое разнесение модели прошивающего дорна

2.2 Разработка конструкции подвижного стола

Для установки узлов для реализации процесса плавки решено разработать подвижную конструкцию стола. Данная конструкция спроектирована с жестким закреплением к станине электрошлаковой печи. Модель столов приведена на рисунке 2.5 [21].

Рисунок 2.5 – Модель подвижного стола в сборе

Каркас стола изготавливается из листов и толщиной 20 мм и 10 мм в основании, подвижная центральная часть также изготавливается из листа толщиной 10 мм. Направляющими и опорными осями служат три чисто обработанных прутка толщиной 20 мм, расположенные по треугольной схеме. Пластинки для крепления к основанию установки также изготавливаются из листа толщиной 10 мм. Для обеспечения жесткости центральной, подвижной, части стола были предусмотрены рёбра жесткости, идущие по всей длине листа. Выполнены они из узких полос листа из стали 20 толщиной 10 мм.

Для изготовления данной сборки необходимо использовать распространённые и доступные технологические приёмы, и агрегаты. Изготовление трёх оснований стола и опорных пластин с рёбрами жесткости осуществляется по средствам плазменной или газовой резки. Используя данную технологию, мы сможем выпол-

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

нить только наружные габариты данных деталей, т.к. она не сможет выполнить остальные участки обработки с заданной точностью. Точность плазменной и газовой обработки составляет порядка ± 2 мм, также на данном виде агрегатов можно получить центральное отверстие на верхней плите стола, т.к. оно не требует особой точности.

Для выполнения элементов центральной части стола, указанные на рисунке 2.6, необходимо воспользоваться оборудованием фрезерной и сверлильной группы, либо обрабатывающими центрами, т.к. точное выполнение данных элементов играет важную роль в дальнейшей работе конструкции в целом.

Рисунок 2.6 – Элементы центральной части стола

Направляющие оси изготавливаются на станках токарной группы в два прохода, чистовой и чистовой, затем идёт стадия шлифования данных направляющих, для обеспечения плавности хода центральной, подвижной, части стола без заеданий.

Для обеспечения гарантии скольжения, в отверстия диаметром 26 мм устанавливаются медные втулки. Установка идёт по посадке с натягом.

Установка осей производится за счет монтажных швов. Такая последовательность установки позволит обеспечить гарантию сборки трёх ярусов стола в единую, жесткую конструкцию.

Для выполнения сварочных работ была выбрана дуговая сварка в среде защитных газов по ГОСТ 14771-76. По сравнению с другими способами сварка в защитных газах обладает рядом преимуществ: высокое качество сварных соединений на разнообразных металлах и сплавах различной толщины; возможность сварки в различных пространственных положениях; возможность визуального наблюдения за образованием шва, что особенно важно при полуавтоматической сварке; отсутствие операций по засыпке и уборке флюса и удалению шлака; высокая производи-

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

тельность и легкость механизации и автоматизации; низкая стоимость при использовании активных защитных газов.

Изготовление рейки и ведущей шестерни ведётся на станках зубофрезерной или зубодолбёжной группы.

Расчёт геометрических параметров зацепления зубчатое колесо-зубчатая рейка был выполнен с элементами оптимизации на персональном компьютере (ПК) в подсистеме «Shaft 3D» системы автоматизированного проектирования «КОМПАС 3D». Геометрический расчет выполнен в соответствии с ГОСТ 16532-70 "Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии". При расчете эвольвентного профиля и переходной кривой прямозубых колес, в данной подсистеме, используется методика, разработанная учеными Санкт-Петербургского Государственного морского технического университета. Эта методика, в частности, учитывает вид и степень изношенности формообразующего инструмента, что позволяет максимально точно рассчитать и построить профиль зуба. Результаты расчета приведены в Приложении А.

Установка рейки производится при помощи соединения винт-гайка, на два крепёжных уха, сваренных к основаниям с заданной точностью.

Чтобы убедиться в работоспособности подвижной части стола, необходимо провести проверочный расчет линейных, угловых и суммарных перемещений направляющих осей. Эскизный проект стола в сборе изображен на рисунке 2.7.

Рисунок 2.7 – Эскизный проект стола

2.3 Проверка прочностных характеристик базы стола

Для проверки прочностных характеристик основы стала используем программный модуль АРМ FEM представляющий собой интегрированный в КОМПАС-3D инструмент для подготовки и последующего конечно-элементного анализа трехмерной твердотельной модели. Подготовка геометрической 3D-модели и за-

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		32

дание материала осуществляется средствами системы КОМПАС-3D. С помощью АРМ FEM приложим нагрузки различных типов, укажем граничные условия, создадим конечно-элементную сетку и выполним расчет конструкции.

Статический расчет на прочность данных узлов стола приведен на рисунках 2.8 – 2.13.

Рисунок 2.8 – Установка граничных условий и приложение векторов нагрузки к узлам стола

Учитывая, что практически для всех сталей такие свойства, как модуль Юнга, коэффициент Пуассона и плотность одинаковы, то различий в картах напряжений и перемещений для деталей из разных сталей не будет. Различия будут при просмотре карт коэффициентов запаса, поскольку пределы текучести, прочности, а также выносливости при растяжении и кручении зависят от марки стали, поэтому зададим единый материал материал. Характеристики материала, необходимые для расчета указаны в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики материала

Предел текучести, МПа	235
Модуль упругости нормальный, МПа	200000
Коэффициент Пуассона	0,3
Плотность, кг/м ³	7800
Температурный коэффициент линейного расширения [1/С]	0,000012
Теплопроводность, Вт/(м·С)	55

Окончание таблицы 4

Предел прочности при сжатии, МПа	410
Предел прочности (Временное сопротивление), МПа	410
Предел выносливости при растяжении, МПа	209
Предел выносливости при кручении, МПа	139

Параметры приложенной нагрузки указаны в таблице 5

Таблица 5 – условия нагружения верхней опорной плиты стола.

Наименование нагрузки	Выбранные объекты	Параметры нагрузки
Распределенная сила:	Верхняя грань плиты	Вектор силы: $X = 0; Y = -1000; Z = 0$ Величина: 1000 Н

Следующим этапом будет разбиение сборки на конечный элементы, для дальнейшего выполнения расчета. Параметры создаваемой сетки указаны в таблице 6. Результат разбиения изображен на рисунке 2.9.

Таблица 6 – Исходные параметры сетки конечных элементов

Наименование	Значение
Тип элементов	4-узловые тетраэдры
Максимальная длина стороны элемента, мм	5
Максимальный коэффициент сгущения на поверхности	1,2
Коэффициент разрежения в объеме	1,5
Количество конечных элементов	313949
Количество узлов	87555

Рисунок 2.9 – Сетка разбиения на конечные элементы

Расчётная сетка конечных элементов нужна для двух целей. Первая — разбиение смоделированных в САПР геометрий на меньшие части или элементы. По ним можно записать систему уравнений, описывающую решение главного уравнения. Ещё сетка используется для отображения области решений физических задач.

Результатами расчета являются:

- распределение эквивалентных напряжений и их составляющих, а также главных напряжений, указанные в таблице 7 и визуализированы на рисунке 2.10;
- распределение линейных, угловых и суммарных перемещений, указанные в таблице 8 и визуализированы на рисунке 2.11;
- распределение коэффициентов запаса по текучести и прочности, указанные в таблице 9 и визуализированы на рисунке 2.12.

Таблица 7 – Эквивалентное напряжение по Мизесу

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM, МПа	0	9,47

Рисунок 2.10 – Распределение эквивалентных напряжений и их составляющих

Таблица 8 – Эквивалентное напряжение по Мизесу

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Суммарное линейное перемещение	USUM, мм	0	0,032

Рисунок 2.11 – Распределение линейных, угловых и суммарных перемещений

Таблица 9 – Распределение коэффициентов запаса по текучести и прочности

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Коэффициент запаса по прочности и текучести	–	10	10

Рисунок 2.12 – Распределение коэффициентов запаса по текучести и прочности

По проделанным расчетам можно сделать вывод, что конструкция полностью удовлетворяет требованиям, обеспечивает жесткость и надёжность за счет высокого коэффициента запаса, и позволяет соблюсти условия плавного перемещения центральной части стола по направляющим, за счет низкого значения распределения суммарных перемещений в узлах. Полногабаритную модель установки ЭШП можно увидеть в Приложении Б.

2.4 Расчет мощности привода подвижной части стола

Следующим этапом будет подбор двигателя для движущейся части стола [22]. Сила действующая на шестерню привода подачи F , H рассчитывается по формуле (2), а суммарную несущую массу по формуле (3):

$$F = \sum m \cdot g + \sum m \cdot g \cdot f_{тр} \quad (2)$$

$$\sum m = m_{плита} + m_{дорг} \quad (3)$$

где, $g=9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения.

$$\sum m = 16 + 6 = 22 \text{ кг}$$

$$F = 22 \cdot 9,81 + 22 \cdot 9,81 \cdot 0,15 = 248 \text{ Н}$$

Определим скорость подачи, которая определяется по формуле (4):

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_p}{60} \cdot R \quad (4)$$

где $n_p=0,20$ —обороты на выходном валу редуктора, об/мин;

$R=0,024$ – радиус приводной шестерни.

$$V = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,20}{60} \cdot 0,024 = 0,005 \text{ м/с}$$

Мощность электродвигателя P , Вт находится по формуле (5):

$$P = \frac{V \cdot F}{\eta} \quad (5)$$

$$P = \frac{0,005 \cdot 22}{0,70} = 0,15 \text{ Вт}$$

По каталогу подбираем подходящий электродвигатель. Под рассчитанную мощность подходит электродвигатель закрытого обдуваемого исполнения с короткозамкнутым ротором типа АИР 63 IM1081 [16].

Технические характеристики принятого электродвигателя описаны в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики электродвигателя

Наименование параметра	Значение
Мощность, кВт	0,37
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
Масса двигателя Q , кг	6,7

2.5 Расчет скорости вращения электрода

Ранее, в разделе 1 была рассмотрена технология получения полой заготовки полученной методом электрошлакового переплава с вращающимся электродом.

Опираясь на формулу произведем расчет скорости вращения расходуемого электрода. Предварительно электрод изготавливается материала Сталь 20, которая имеет плотность $\rho=7600 \text{ кг/м}^3$ при температуре $t=900 \text{ }^\circ\text{C}$. В качестве флюса принимаем АНФ-6 химический состав которого соответствовал ГОСТ 30756. Плотность данного флюса составляет $\rho=2880 \text{ кг/м}^3$ при температуре $t=1450 \text{ }^\circ\text{C}$. Для того, чтобы произвести расчет, необходимо рассчитать разность плотностей металла со шлаком по формуле (6):

$$\Delta\rho = \rho_{\text{ме}} - \rho_{\text{фл}} \quad (6)$$

где $\rho_{\text{ме}}=7600 \text{ кг/м}^3$ – плотность стали 20;

$\rho_{\text{фл}}=2880 \text{ кг/м}^3$ – плотность флюса марки АНФ-6.

$$\Delta\rho = 7600 - 2880 = 4720 \text{ кг/см}^3$$

После окончания расчета, запишем имеющиеся исходные данные:

$$D_1, \text{ мм} = 70 \text{ мм};$$

$$D_2, \text{ мм} = 100 \text{ мм};$$

$$g, \text{ м/с}^2 = 9,8 \text{ мм};$$

$$\sigma_{\text{ме-ш}} = 1,1 \text{ Дж/м}^2;$$

$$\Delta\rho = 4720 \text{ кг/м}^3;$$

$$R = 0,02 \text{ м.}$$

Подставив данные получим:

$$i = \frac{70}{100} \sqrt{\frac{10 \cdot 9,8 \cdot \left[\sqrt{\frac{36 \cdot 1,1^2}{4720^2 \cdot 9,8^2 \cdot 0,02^2} + 0,02^2} - 0,02 \right]}{12 \cdot 3,14^2 \cdot 0,02^2}} = 12,6, \text{ с}^{-1}$$

Для электрода из данной марки стали и данного диаметра скорость вращения обеспечивающая движение капель металла по радиальной траектории будет равна 120 об/мин.

Выводы по разделу 2

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

Расчеты, проведенные в данном разделе, показали работоспособность предлагаемой конструкции подвижного стала, а также прошивающего дорна. Также в данном разделе осуществлен проектный расчет элементов конструкции электрошлаковой печи, который позволил подобрать оптимальные для эффективной работы привода электрошлаковой печи. Итогом данного раздела стал выпуск комплекта конструкторской документации, который можно рассмотреть в Приложении В.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		39

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

3.1 Установка вновь разработанных узлов на электрошлаковую печь на базе А-550

После того, как основные узлы электрошлаковой печи были спроектированы, и правильность их конструкций была подтверждена расчетами, необходимо осуществить сборку всех компонентов в одно целое. На рисунке 3.1 приведена схема монтажа оборудования на электрошлаковой печи А-550.

Рисунок 3.1 – Схема монтажа оборудования на электрошлаковую печь А-550:

1 – основание; 2 – пульт управления; 3 – кристаллизатор с поддоном;
4 – прошивающий дорн; 5 – двигатель; 6 – стол

На основании электрошлаковой печи 1, посредством болтового соединения, жестко закреплен стол 6. На данном столе, на тензодатчиках установлен кристаллизатор с поддоном 3. В связи с высокими температурами между поверхностью контакта тензодатчиков и поддона с целью сохранения работоспособности датчиков, устанавливается огнеупорная плита, в связи с этим произведена тарировка тензодатчиков.

Для более эффективной наглядности на рисунке 3.2 приведен увеличенный вид привода подачи прошивающего дорна, который позволяет более детально изучить его.

Рисунок 3.2 – Увеличенный вид привода подачи прошивающего дорна

Во время процесса плавки происходит оплавление электрода, что ведет за собой увеличение массы жидкого металла в кристаллизаторе. В связи с этим тензодатчики подают сигнал на управляющее устройство двигателя 5, которое рас-

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

полагается на подвижном ярусе стола и закреплённое по средствам болтового соединения. Далее двигатель приводит в движение зубчатое колесо 7, которое жестко закреплено на валу двигателя, посредством шпонки и находящееся в зацеплении с рейкой 8, закреплённых на винты и гайки.

После чего данный механизм приводит в движение подвижную часть стола, на котором находится прошивающий дорн 4. Для обеспечения плавности перемещения и исключения отклонения от соосности, подвижная часть стола перемещается по трём направляющим осям 5, предварительно смазанных смазкой.

Техническая задача достигается тем, что электрошлаковая печь для получения полого слитка, содержащая основание со стойками, размещенные на их переплавляемые электроды с механизмом перемещения, установленный под электродами кристаллизатор с поддоном, прошивающий дорн с приводом, согласно полезной модели, на стойке установлен один переплавляемый электрод, снабженный механизмом его вращения, на основании установлен блок управления, который электрически связан с механизмами перемещения и вращения переплавляемого электрода, также к основанию жестко прикреплен трёх ярусный стол, на верхнем ярусе которого установлена огнеупорная плита с тензодатчиками, на плите, соосно с электродом, установлен кристаллизатор с поддоном, на среднем, подвижном, ярусе стола прошивающей дорн и привод стола, электрически связанный с тензодатчиками и блоком управления, включающий электродвигатель, на валу которого соосно жестко закреплено зубчатое колесо, находящееся в зацеплении с рейкой.

Существенными отличительными признаками устройства, обеспечивающими повышение качества слитка и снижение энергозатрат, являются следующие:

- установленный на стойке один расплавляемый электрод с возможностью не только вертикального перемещения, но и вращения вокруг своей оси позволяет устройству работать экономично и получать полые слитки по одноэлектродной, а не многоэлектродной схеме, как в прототипе, что существенно (примерно в три раза) снижает затраты электроэнергии;

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

- наличие блока управления, который электрически связан с механизмами перемещения и вращения переплавляемого электрода, с приводом подвижной части стола с прошивающим дорном, а также с тензодатчиками, что позволяет поднимать и опускать прошивающий дорн синхронизировано с заполнением кристаллизатора и расплавлением электрода в следствие чего происходит точное экономичное заполнение кристаллизатора и экономия энергозатрат;

- трёх ярусный стол, закрепленный жестко с основанием, позволяет осуществить соосное размещение переплавляемого электрода и кристаллизатора с поддоном и прошивающим дорном, что необходимо для обеспечения работоспособности устройства в экономичном режиме;

- огнеупорная плита с тензодатчиками, установленная на верхнем ярусе стола позволяет осуществить с помощью блока управления согласованную подачу электрода и дорна в кристаллизатор и из него, и экономичное управление работой данной печи.

Использование такой модели позволяет осуществить синхронизацию между оплаваемым электродом и прошивающим дорном для того, чтобы получить полый слиток высокого качества. Подводя итоги о проделанной работе, хотелось бы сказать, что предлагаемая реальная схема работает. Исследования, проведенные на холодной модели, показали, что сходимость расчетных данных по скорости вращения электрода и подаче прошивающего дорна соответствуют фактическим результатом, которые были получены при эксперименте. Доказано, что применение технологии вращения электрода при электрошлаковом переплаве положительно сказывается на тепловой эффективности процесса, увеличения производительности без потери металлургического качества электрошлакового металла.

Выводы по разделу 3

В разделе три осуществлен монтаж оборудования на электрошлаковую печь А-550, который позволил продемонстрировать работоспособность конструкции.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		42

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Идентификация потенциальных опасностей и вредностей при работе на экспериментальной установке

Основным руководством по обеспечению безопасности при проектировании различного типа установок и их модернизации является ГОСТ 12.2009-80 [24]. ГОСТ требует, чтобы передачи (ременные, цепные, зубчатые и др.), расположенные вне корпуса, были ограждены сплошными, с жалюзи или сетчатыми укрытиями в зависимости от необходимости наблюдения за ограждаемым механизмом.

4.1.1 Идентификация механических опасностей. В настоящий момент увеличивается число чрезвычайных ситуаций и несчастных случаев, которые зачастую связаны с техногенными факторами, действующими на людей в процессе работы с механизмами, машинами и оборудованием. Спроектированная экспериментальная установка характеризуется наличием различного рода движущихся механизмов. Присутствуют звуковые раздражения, вызываемые посторонними шумами (работа моторов). Уровень шума оборудования должен соответствовать СНиП II-12-77 [25]. Так же установка характеризуется отсутствием источников инфразвука и ультразвука. Общая и локальная вибрации не проявляют себя. Работник, который будет проводить эксперименты на данной установке, не подвергается никаким физическим перегрузкам, связанным с различного рода перенесением тяжестей.

4.1.2 Идентификация электрических опасностей. Зачастую в помещениях с различного рода вычислительными средствами человек подвержен электрическим опасностям, так как при работе с ЭВМ или иными электроустановками (электрошлаковая печь) возможно соприкосновение с проводниками, находящимися под напряжением. Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие на его различные органы и системы. Проявление термического воздействия тока на организм чело-

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43

века происходит в виде ожогов отдельных участков тела и нагреве до высокой температуры сосудов, нервов, сердца и мозга. При электролитическом воздействии наблюдается разложение органической жидкости, в том числе и крови. Раздражение и возбуждение живых тканей организма человека проявляется в биологическом воздействии. Преобладающими видами опасностей, которые зачастую связаны с электричеством, являются высокое напряжение и возможность кратковременного контакта с металлическими конструкциями. Помимо всего перечисленного имеется опасность воздействия статистического электричества. Данные опасности оговорены ГОСТ IEC 61140-2012 [26].

4.1.3 Идентификация термических опасностей. Изучив технические характеристики составных частей экспериментальной установки, можно сделать выводы, о том, что выделение тепла при эксплуатации будет высоким. Данные объекты являются причиной повышения температуры и снижения влажности воздуха на рабочем месте, что вызывает некое раздражение кожи. Можно заметить, что повышение температуры незначительны и системы кондиционирования воздуха и регулярное проветривание помещения способствуют поддержанию нормального здорового микроклимата в помещении рабочей зоны.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (категория работ Пб): перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С; относительная влажность воздуха 40–60 %, скорость движения воздуха 0,2 м/с; температура воздуха в холодный период: 17–19 °С, поверхностей 16–20 °С, в теплый период: 19–21 °С, поверхностей 18–22 °С. В теплый период температура воздуха не должна быть больше наружной более чем на 3–5 °С [27].

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		44

4.1.4 Недостаточная освещенность помещения. Известно, что одним из важнейших условий БЖД человека является рациональное и достаточное освещение рабочего места и помещения в целом. Лаборатория может быть плохо освещена, вследствие чего работнику, который работает на экспериментальной установке приходится напрягать зрительные органы. Снижение работоспособности, быстрое утомление, ухудшение зрения, рост числа ошибок в выполняемой работе и многое другое, является результатом плохой освещенности помещения. Воздействие плохой освещенности на работника начинается с самого начал рабочего дня и продолжается до его окончания. Последствиями продолжительной работы при плохой освещенности рабочего места являются тени перед глазами, песок в глазах, напряжение зрительных органов. Перечисленные последствия проходят спустя некоторое время после прекращения работы. Для того чтобы данный вид опасности не повлиял на рабочего, необходимо заранее позаботиться о нормальной системе освещения, которая будет соответствовать СГ нормам, а также применить местное освещение, если это требуется для работы с различной документацией. При недостаточной освещенности рабочего места, оператору рекомендуется минимизировать время работы.

Нормируемое значение освещенности определяется в зависимости от точности зрительных работ, а также от продолжительности их напряженности. Согласно СНиП 23–05–95 [28], гигиенические нормы искусственного и естественного освещения в исследовательской (учитывая, что характер зрительной работы очень малой точности) принимаются следующими: освещенность $E = 200$ лк при системе общего освещения, КЕО боковом освещении $e = 0$.

4.1.5 Высокое напряжение. При работе с экспериментальной установкой электрошлаковой печи А-550, работник подвержен воздействию высокого напряжения. Источниками высокого напряжения в помещении являются электрошлаковая печь, светильники, различная бытовая техника, данная опасность регламенти-

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

руется СНиП 3.05.06-85 [29]. Так же оператор может случайно прикоснуться к токоведущим частям электрической установки, которые случайно в данный момент оказались под напряжением. Опасность реализуется при непосредственном контакте с электрическим объектом. Сотрудник, подвергшийся кратковременному воздействию высокого напряжения, может испытать болевой шок, потерять сознание, получить ожоги при плотном контакте с токоведущей частью. Так же причинами может послужить нарушение изоляции токоведущих проводов в помещении. С целью обеспечения безопасности все токоведущие провода и различные соединительные кабели располагаются в специально отведенных для этого местах. При нарушении правил техники безопасности вероятность того, что сотрудник подвергнется воздействию высокого напряжения, возрастает. Для того чтобы свести вероятность реализации опасности к минимуму, нужно проверять исправность изоляции токоведущих проводов и соединительных кабелей, а также их пригодность к эксплуатации.

4.1.6 Воздействие вредных веществ. К часто встречающимся и вредным веществам относится пыль. В помещениях, где располагаются ПК, операторы подвергаются воздействию пыли, которая притягивается к сильно наэлектризованному и работающему оборудованию. В процессе работы при сильной запыленности помещения частички пыли попадают в организм человека, оказывая на него неблагоприятное воздействие, затрудняя дыхание. Воздействие сильной запыленности помещения может вызывать у некоторых людей аллергические реакции. Чтобы избежать этого и снизить степень запыленности помещения, необходимо регулярно проветривать помещение, осуществлять пылеуборку помещения, использовать системы кондиционирования воздуха [29].

По предварительным оценкам с учетом рассмотренных выше факторов работа на экспериментальной установке и на ПК характеризуется наличием следующих

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		46

вредных и опасных факторов:

- недостаточная освещенность рабочей зоны
- повышенный уровень статического электричества
- отсутствие или недостаток естественного света
- средняя запыленность воздуха рабочей зоны
- повышенная информационная, статическая и нервно-эмоциональная нагрузка.

4.2 Выбор и расчет схемы защитного заземления

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землёй или её эквивалентом металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением.

В зависимости от места расположения заземлителей относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющего устройства – выносное и контурное. При выносном заземляющем устройстве заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. При контурном заземляющем устройстве электроды заземлителя размещают по контуру площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки [30].

В качестве заземлителей в первую очередь следует использовать естественные заземлители в виде проложенных под землёй металлических коммуникаций (за исключением трубопроводов для горючих и взрывчатых веществ), металлических конструкций зданий, соединённых с землей.

В качестве естественных заземлителей подстанций и распределительных устройств рекомендуется использовать заземлители опор отходящих воздушных линий электропередачи, соединённых с заземляющим устройством подстанций или распределительным устройством с помощью грозозащитных тросов линий

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		47

Когда естественные заземлители отсутствуют или использование их не даёт нужных результатов, применяют искусственные заземлители - стержни из угловой стали размером 50×50, 60×60, 75×75 мм с толщиной стенки не менее 4 мм, длиной 2,5–3 м; стальные трубы диаметром 50–60 мм, длиной 2,5–3 м с толщиной стенки не менее 3,5 мм; прутковая сталь диаметром не менее 10 мм, длиной до 10 м и более. Заземлители забивают в ряд или по контуру на такую глубину, при которой от верхнего конца заземлителя до поверхности земли остаётся 0,5–0,8 м. Расстояние между вертикальными заземлителями должно быть не менее 2,5–3 м.

Для соединения вертикальных заземлителей между собой применяют стальные полосы толщиной не менее 4 мм и сечением не менее 48 мм² или стальной провод диаметром не менее 6 мм. Полосы (горизонтальные заземлители) соединяют с вертикальными заземлителями сваркой. Место сварки обмазывается битумом для влагоизоляции.

Расчёт заземления методом коэффициентов использования производится следующим образом

1. В соответствии с правилами устройства электроустановок устанавливается необходимое сопротивление заземления R_z по таблице 4.1.

2. Определяют путём замера, расчётом или на основе данных по работающим аналогичным заземлительным устройствам возможное сопротивление растеканию естественных заземлителей R_e .

3. Если $R_e < R_z$, то устройство искусственного заземления не требуется. Если $R_e > R_z$, то необходимо устройство искусственного заземления.

4. Определяют удельное сопротивление грунта ρ из таблицы 4.2. При производстве расчётов эти значения должны умножаться на коэффициент сезонности, зависящий от климатических зон и вида заземлителя приведенных в таблице 4.3.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

Таблица 4.1 – Допустимые сопротивления заземляющего устройства в электроустановках до и выше 1000 В

Наибольшие допустимые значения R_3 , Ом	Характеристика электроустановок
$R_3 < 0,5$	Для электроустановок напряжением выше 1000В и расчётным током замыкания на землю $I_3 < 500А$
$R_3 = 250/I_3 < 10$	Для электроустановок напряжением выше 1000В и расчётным током замыкания на землю $I_3 < 500А$
$R_3 = 125/I_3 < 10$	При условии, что заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до и выше 1000 В и расчётном токе замыкания на землю $I_3 < 500$
$R_3 < 2$	В электроустановках напряжением 660/380 В
$R_3 < 4$	В электроустановках напряжением 380/220 В
$R_3 < 8$	В электроустановках напряжением 220/127 В

Примерное распределение государств СНГ по климатическим зонам:

1 зона: Архангельская, Кировская, Омская, Иркутская области, Коми, Урал;

2 зона: Ленинградская и Вологодская области, центральная часть России, центральные области Казахстана, южная часть Карелии.

3 зона: Латвия, Эстония, Литва, Беларусь, южные области Казахстана; Псковская, Новгородская, Смоленская, Брянская, Курская и Ростовская области.

4 зона: Азербайджан, Грузия, Армения, Узбекистан, Таджикистан, Киргизия, Туркмения (кроме горных районов), Ставропольский край, Молдова.

Таблица 4.2 – Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды

Наименование грунта	Удельное сопротивление, Ом·м
Песок	700
Супесок	300
Суглинок	100
Глина	40
Садовая земля	40
Глина (слой 7-10 м) или гравий	70
Наименование грунта	Удельное сопротивление, Ом·м
Мергель, известняк, крупный песок с валунами	1000-2000
Скалы, валуны	2000-4000
Чернозём	20
Торф	20
Речная вода (на равнинах)	10-100
Морская вода	0,2-1

Таблица 4.3 – Признаки климатических зон и значения коэффициента K_c

Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых заземляющих электродов	Климатические зоны СНГ			
	1	2	3	4
Климатические признаки зон:				

Окончание таблицы 4.3

Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	от -20 до -15	от -14 до -10	от -10 до 0	от 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	от +16 до +18	от +18 до +22	от +22 до +24	от +24 до +26
Среднегодовое количество осадков, мм	~400	~500	~500	~300-500
Климатические признаки зон:	1	2	3	4
Продолжительность заморзания вод, дн	190-170	150	100	0
Значение коэффициента Кс при применении стержневых электродов длиной 2 - 3 м и глубине заложения их вершины 0,5 - 0,8 м	1,8-2	1,5-1,8	1,4-1,6	1,2-1,4
Значение коэффициента К'с при применении протяжённых электродов и глубине заложения их вершины 0,8 м	4,5-7,0	3,5-4,5	2,0-2,5	1,5-2,0
Значение коэффициента Кс при длине 5 м и глубине заложения вершины 0,7-0,8 м	1,35	1,25	1,15	1,1

5. При устройстве простых заземлителей в виде короткого ряда вертикальных стержней расчёт на этом можно закончить и не определить проводимость соединяющей полосы, поскольку длина её относительно невелика (в этом случае фактически сопротивление заземляющего устройства будет несколько завышено). Расчет сопротивления вертикальных заземлителей рассчитывается по формуле (7).

$$N_B = \frac{0,366 \cdot k_c \cdot \rho}{1} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot t' + 1}{4 \cdot t' - 1} \right) \quad (7)$$

$$M_B \cdot R_3$$

где ρ - приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды, Ом·м, (таблица 4.2)

k_c - признаки климатических зон и значения коэффициента, таблица 4.3.

L – длина вертикального заземлителя, м;

d – диаметр вертикального заземлителя, м;

t' – длина от поверхности земли до середины вертикального заземлителя, м;

M_B – коэффициент использования вертикальных заземлителей, зависящий от количества заземлителей и расстояния между ними приведены в таблице 4.4.

Предварительное количество вертикальных заземлителей для определения M_B можно принять равным $M_B = \gamma_B / R_3$

a – расстояние между вертикальными заземлителями (обычно отношение расстояния между вертикальными заземлителями к их длине принимают равным, $a/l=1;2;3$)

R_3 – Допустимые сопротивления заземляющего устройства в электроустановках до и выше 1000 В, таблица 4.1

Таблица 4.4 – Коэффициенты использования M_B вертикальных электродов из труб, уголков или стержней, размещённых по контуру без учёта влияния полосы связи

Отношение расстояния между электродами к их длине: a/l	Число электродов M_B	M_B
1	4	0,66-0,72
	6	0,58-0,65
	10	0,52-0,58
	20	0,44-0,50
	40	0,38-0,44
	60	0,36-0,42

Рассчитаем заземляющее устройство для экспериментальной установки:

Примем количество вертикальных электродов – 6 шт, по таблице 3.4

$M_B = 0,58$, $\rho = 40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $k_c = 1,8$, $l = 3 \text{ м}$, $t' = 1,5 \text{ м}$, $R_3 = 7$, $d = 10 \text{ мм}$. Глубина забивания всех электродов от поверхности земли – 1 м.

$$N_r = \frac{0,366 \cdot 40 \cdot 1,8}{3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,010} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot (0,5 + 1,5) + 3}{4 \cdot (0,5 + 1,5) - 3} \right) = \frac{9,76 \cdot 2,95}{4,55} = 5,7$$

Если $N_B < 10$, все хорошо и можно принимать $N_B = 9$ электродам.

Если $N_B > 10$, то нужно увеличить M_B , что соответственно увеличит и примерное количество электродов.

Вертикальное заземляющее устройство забивается в грунт каким-либо вибрационным устройством и потому должен быть жестким. По мере заглубления стержни связываются друг с другом при помощи узлов крепления – резьбовых или в виде муфт специальной конструкции. Эти узлы должны выдерживать большие механические нагрузки [32].

Важным преимуществом вертикальных электродов считается их способность достигать глубинных слоев земли, имеющих низкое удельное сопротивление, что может привести к очень существенному снижению сопротивления заземления.

Выводы по разделу 4

В четвертом разделе были идентифицированы потенциальные опасности и вредности при работе на экспериментальной установке, а также осуществлен расчет заземляющего устройства согласно ГОСТ Р50571.10-96 [33].

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		54

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения работы был произведен обзор существующих технологических принципов и схем получения полой заготовки при помощи электрошлакового переплава.

Разработана и выпущена конструкторская документация узла прошивающего дорна, подвижного приводного стола, для подачи прошивающего дорна в кристаллизатор, и габаритный общий вид установки ЭШП. Осуществлен проектный расчет элементов конструкции электрошлаковой печи, который показал, что все элементы соответствуют предъявляемым им требованиям. Спроектирована модель установки. Реализован монтаж оборудования на данной установке. Обозначены основные вредные факторы при работе на данной установке.

Таким образом, цель работы достигнута, задачи решены.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		55

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Латаш Ю.В., Медовар Б.И. Электрошлаковый переплав. – М.:Металлургия, 2011. – 240 с.
2. Глебов, А.Г. Мошкевич, Е.И. Электрошлаковый переплав / А.Г. Глебов. – М.:Металлургия, 1978 – 216 с.
3. Жадкевич, М.Л. Электрошлаковое литье полых слитков и заготовок в промышленном производстве / М.Л. Жадкевич, В.Л. Шевцов, Л.Г. Пузрин // Современная электрометаллургия. – 2018. – № 3. – С. 7–14.
4. Южанин, Ж.И. Вспомогательное технологическое оборудование в производстве электрошлаковых отливок / Ж.И. Южанин // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1983. – № 19. – С. 29–32.
5. Эль Гаммаль, Т. Развитие математически обоснованной системы оптимизации процессов ЭШП при производстве полых слитков / Т. Эль Гаммаль, А. Штергиу // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1990. – № 4. – С. 18–27.
6. Кригер, Ю.Н. Электрошлаковая выплавка в энергетическом машиностроении / Ю.Н. Кригер, Е.А. Нечаев, О.С. Карпов // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1985. – № 3. – С. 24–28.
7. Аликин, А.П. Электрошлаковое литье в химическом машиностроении / А.П. Аликин, Е.А. Бойко // Электрошлаковая технология. – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 123–128.
8. Волохонский, Л.А. Электрошлаковое литье полых стальных заготовок. Новый этап /Л.А. Волохонский, М.А. Киссельман, В.А. Демидов // Электрометаллургия. – 2016. – № 6. – С. 21–26.
9. Об особенностях эксплуатации кристаллизаторов и дорнов при электрошлаковом литье полых заготовок / Л.А. Волохонский, Л.Н. Кузнецов, М.А. Киссельман и др. // Электрометаллургия. – 2016. – № 11. – С. 28–35.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

10. Помещиков, А.Г. Производство полых слитков с применением машин центробежного литья / А.Г. Помещиков, Т.С. Тренева, В.И. Байдаченко // *Электротехнология*. – 2020. – № 2. – С. 31–33.
11. Еремин, Е.Н. Электрошлаковое литье труб из жаростойких сплавов / Е.Н. Еремин, С.Н. Жеребцов // *Электротехнология*. – 2016. – № 2. – С. 23–26.
12. Электрошлаковый переплав – перспектива производства высококачественной продукции из жаропрочных сплавов / Л.А. Волохонский, М.А. Киссельман, Ю.В. Савельев и др. // *Электротехнология*. – 2002. – № 12. – С. 26–30.
13. Федоровский, Б.Б. О новом способе ЭСП крупногабаритных слитков / Б.Б. Федоровский, Л.Б. Медовар, А.П. Стопченко // *Современная электротехнология*. – 2016. – № 3. – С. 3–6.
14. Жадкевич, М.Л. Электрошлаковое литье полых слитков и заготовок в промышленном производстве / М.Л. Жадкевич, В.Л. Шевцов, Л.Г. Пузрин // *Современная электротехнология*. – 2018. – № 3. – С. 7–14.
15. Пат 2332471 Российская Федерация. Способ электрошлакового переплава (варианты) / И.В. Чуманов, Д.А. Пятыгин, В.И. Чуманов. – Оpubл. 24.07.2006.
16. Chumanov, V.I. Increasing the Efficiency of the Electroslag Process and Improving the Metal Quality by Rotating a Consumable Electrode: Part 1 / V.I. Chumanov, I.V. Chumanov // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2010. – Vol. 2010, no. 6. – P. 499–504. DOI: 10.1134/S003602951006008X
17. Чуманов, И.В. Особенности электрошлакового переплава на постоянном токе с вращением расходуемого электрода / И.В. Чуманов, Д.А. Пятыгин // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2006. – № 3. – С. 22–25.
18. Пятыгин, Д.А. Удаление неметаллических включений при ЭСП на постоянном токе / Д.А. Пятыгин, И.В. Чуманов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2006. – № 7. – С. 25–26.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57

19. Пат. 2413016 Способ получения полого слитка электрошлаковым переплавом / В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, Пятыгин Д.А. и др. // опубл. 27.02.2011.
20. Чуманов В.И., Белозёров Б.П., Чуманов И.В. Математическая модель переплава вращающегося электрода. //Известия вузов. Чёрная металлургия. - 1991. – №12. – С. 74–75.
21. Бочков, А.Л. Трёхмерное моделирование в системе Компас-3D (практическое руководство): учебное пособие / А.Л. Бочков – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 20017. – 84 с.
22. Анурьев, В.И. Справочник конструктора – машиностроителя / В 3-х т. Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 341 с.
24. Электродвигатели АИР общепромышленные. – <https://www.velta-c.ru/catalog/air/motors/air63.shtml> (дата обращения 10.06.2021)
25. ГОСТ 12.2009-80 Система стандартов безопасности труда. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 137 с.
26. СНиП II-12-77 Защита от шума. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 120 с.
27. ГОСТ ИЕС 61140-2012 Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 100 с.
28. Максимов, С.П. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие по дипломному проектированию для студентов технических специальностей / С.П. Максимов, Т.Б. Балакина; под ред. С.Н. Трофимовой. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 55 с.
29. Юдин, Е.Я. Охрана труда в машиностроении: учебник для машиностроительных вузов / Е.Я. Юдин, С.В. Белов, С.К. Баланцев и др.– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		58

30. СНиП 23–05–95 Строительные нормы и правила российской федерации естественное и искусственное освещение. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 115 с.

31 СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 65 с.

32. Карякин, Р.Н. Нормы устройства сетей заземления / Р.Н. Карякин. – М. – 2006.– 360 с.

33. ГОСТ Р50571.10-96 Электроустановки зданий. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства и защитные проводники.– М.: Изд-во стандартов, 1996. – 80 с.

					22.04.02.2021.851.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		59

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Геометрический расчет реечной цилиндрической зубчатой передачи привода подвижного стола

Продолжение приложения А

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Габаритная модель установки электрошлакового переплава

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ЭСКИЗНАЯ КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ
НА УСТАНОВКУ ЭШП
ЧЕРТЕЖ ОБЩЕГО ВИДА. ЧЕРТЕЖИ ДЕТАЛЕЙ.
22.04.02.2021.851.000.00

Руководитель работы:

д.т.н., профессор

_____ И.В. Чуманов

« ____ » _____ 2021г.

Автор работы:

студент группы ФТТ-250

_____ Д.С. Норицын

« ____ » _____ 2021г.

Златоуст 2021г.