

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Совершенствование способа изготовления рыльней части фурмы
УДК 669.183.212.6/.7:004

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Захаревич Иван Васильевич		04.06.22

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ	Коротков В.С.	К.Т.Н.		04.06.22

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Гасанов М.А.	Д.Э.Н., профессор		01.06.22

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ИШНКБ ТПУ	Антоневич О.А.	Д.Т.Н., профессор		04.06.22

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении	Мартюшев Н.В.	К.Т.Н.		04.06.22

Результаты обучения по ООП Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-5	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными

ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении
ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного

	производства
ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия
ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
Отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ Мартюшев Н.В.

«___» _____ 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ01	Захаревич Иван Васильевич

Тема работы:

Совершенствование способа изготовления рыльной части фурмы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№55-45/с от 24.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Объектом исследования является технология изготовления фурмы для доменных печей. Материал изделия: медь марки М1. Требование к изделию: обеспечение градиентной структуры материала фурмы, обеспечивающей повышенную теплостойкость изделия. Технология получения заготовки: аддитивная.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор. 2. Исследовательская часть. Выбор траектории сканирования. Получение и исследование макроструктуры экспериментальных образцов. Совершенствование метода изготовления рыльной части фурмы. 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 4. Социальная ответственность. 5. Заключение и выводы.
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint 24 слайда)</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Коротков В.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А.
Социальная ответственность	Антоневич А.О.
Обязательное приложение на английском языке	Сыскина А.А
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Article: «Features of Microstructure and Texture Formation of Large-Sized Blocks of C11000 Copper Produced by Electron Beam Wire-Feed Additive Technology»	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.12.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОмШ ИШНПТ ТПУ	Коротков В.С.	к.т.н.		25.12.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Захаревич Иван Васильевич		25.12.2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 120 стр., 34 рис., 20 табл., 29 источников.

Ключевые слова: фурма, медь, аддитивные технологии, электронно-лучевое плавление, подложка, метод изготовления.

Объектом исследования является медная фурма для доменных печей, изготовленная с помощью аддитивного производства.

Целью работы является совершенствование метода получения крупногабаритных изделий из меди, изготовленных при помощи электронно-лучевой проволоочной аддитивной технологии.

В процессе работы проведено совершенствование метода изготовления рыльной части фурмы. Исследована макро и микроструктура образцов, полученных по различным стратегиям наплавки медной проволоки, а также проведены предварительные механические испытания этих образцов.

В результате исследования выбрана стратегия сканирования, с первоначальным образованием периметра печатаемого изделия с последующим заполнением объема материала. Проведены механические испытания образцов на растяжение, в ходе которых установлено наличие влияние подложки на механические свойства наплавляемой меди.

Область применения: метод получения рыльной части фурмы с использованием аддитивной технологии может применяться в металлургии при производстве фурмы для доменных печей.

Значимость работы заключается в создании изделий с градиентной структурой материала, повышающей теплостойкость рыльной части фурмы.

Результаты работы могут применяться в различных отраслях промышленности при производстве крупногабаритных изделий из меди.

Содержание

Введение	10
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	11
1.1 Литературный обзор	11
1.2 Объект и методы исследования	13
1.3 Назначение рыльной части фурмы	14
1.4 Описание электронно-лучевой аддитивной технологии	15
1.5 Описание оборудования для получения образцов	17
1.6 Схема печати экспериментальных образцов	17
1.7 Структура полученных образцов	18
1.8 Макроструктура медных блоков	21
1.9 Предварительные механические испытания.	26
1.10 Описание установки для получения рыльной части фурмы	29
1.11 Совершенствование метода получения рыльной части фурмы	30
1.12 Механическая обработка рыльной части фурмы	42
ВЫВОДЫ	48
2 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	51
Введение	51
2.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	52
2.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	52
2.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	52
2.2 Производственная безопасность	53
2.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	53
2.2.2 Недостаточная освещенность рабочего места	54
2.2.3 Пониженная или повышенная температура воздуха рабочей зоны	58
2.2.4 Перенапряжение анализаторов, вызванное информационной нагрузкой	59
2.2.5 Монотонность работы	60
2.2.6 Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	61

2.3 Экологическая безопасность	62
2.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	63
2.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	63
2.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС	63
Заключение по разделу социальная ответственность	65
3. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
3.1 Анализ конкурентных решений	68
3.2 SWOT - анализ	69
3.3 Планирование научно-исследовательских работ	73
3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	73
3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	74
3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	75
3.4 Бюджет научного исследования	77
3.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	78
3.4.2 Расчет амортизации специального оборудования	79
3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	80
3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	81
3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	82
3.4.6 Накладные расходы	82
3.4.7 Бюджетная стоимость НИР	83
3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	83
3.5.1 Интегральный показатель финансовой эффективности.	84
3.5.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	85
3.5.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	85
Выводы по разделу финансовый менеджмент	87
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	88
Приложение 1	92

Введение

Рыльная часть фурмы предотвращает тепловое воздействие доменной печи на фурму, и продлевает срок её эксплуатации. Применение аддитивных технологий позволяет изготовить медный наконечник фурмы с градиентной структурой материала, который повысит её температурную стойкость в условиях высоких температур. Для обоснования целесообразности применения аддитивных технологий изготовления медного наконечника, необходимо провести исследование структуры материала, используемого для формирования изделия, а также провести расчет себестоимости и затрат электроэнергии для его производства.

Целью работы является совершенствование метода получения изделий из меди, изготовленных при помощи электронно-лучевой проволочной аддитивной технологии.

Объектом исследования является технология изготовления фурмы для доменных печей.

Предметом исследования является совершенствование метода получения рыльной части фурмы из меди с помощью аддитивного производства.

Практическая новизна заключается в получении градиентной структуры изделия с помощью электронно-лучевой проволочной аддитивной технологии, что позволяет повысить теплостойкость рыльной части фурмы.

Результаты ВКР используются в ИФПМ со РАН при производстве изделий из меди методом электронно-лучевой проволочной аддитивной технологии.

1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Литературный обзор

Первые упоминания о трехмерной печати прослеживаются в начале 1980-х годов в Японии. В 1981 году Хидео Кодама пытался найти способ разработать быструю систему создания прототипов [1]. Он предложил послойный подход для изготовления, используя светочувствительную смолу, полимерного ультрафиолетовым светом [2].

Процесс патентования новых технических решений по *AF*-технологиям приобрел лавинообразный характер.

В середине 1980-х гг. Чарлз Халл экспериментировал с УФ-отверждаемыми материалами, подвергая их лазерному сканированию, которое аналогично системе, применяемой в лазерных принтерах [3]. Он обнаружил, что можно производить твердые полимерные структуры. Путем отвержения последующего слоя над предыдущим слоем ему удалось изготовить трехмерный твердый объект.

В 1986 г. Чарлз Халл предложил способ послойного синтеза с использованием ультрафиолетового излучения, сфокусированного на тонкий слой фотополимерной смолы. Он же и ввел в оборот термин «*стереолитография*» [4]. В том же году подал патент на эту технологию, а в 1988 году основал корпорацию 3D Systems [5].

Первый коммерческий 3D-принтер SLA, SLA-1, был выпущен его компанией в 1988 году [6].

В 1984 г. почти одновременно были поданы патенты в Европе (Франции), США и Азии (Япония). В первые годы большинство новаторских и коммерчески успешных систем разрабатывались в США [7]. Такие компании, как Stratasys, 3D system и ZCorp, возглавили этот прорыв [8]. За пределами США также появилось множество новых компаний.

Примерно в то же время были разработаны методы аддитивного производства с использованием нагрева лазерным и электронным лучом. Эти

методы были внедрены в производство в 1990-х гг., позволив использовать аддитивные технологии для изготовления металлических объектов [9].

В 1988 году Карл Декард из Техасского университета подал патент на технологию селективного лазерного спекания (SLS) [10]. Эта система плавил порошки вместо жидкости с помощью лазера. Моделирование плавленого осаждения (FDM) также было запатентовано примерно в то же время Скоттом Крампом. FDM, которую также называют изготовлением плавленных нитей, отличается от SLS и SLA тем, что вместо света нить непосредственно выдавливается из нагретой насадки. Технология FFF стала самой распространенной формой трехмерной печати, которую мы наблюдаем сегодня [11].

Эти три технологии - являются основой, которая служит фундаментальными элементами, закладывают основу для развития технологий и эволюции отрасли [12].

В 2005 году, Open Source, предоставил инженерам больше доступа к технологии 3D печати. Доктор Адриан Боуер создал проект RepRap, который стал отправной точкой с открытым начальным кодом по модернизации 3D-принтера, который мог бы создать еще один 3D-принтер, вместе с другими 3D-печатными объектами [13].

В 2010-х годах цены на 3D-принтеры начали снижаться, делая их доступными для широкой общественности [14]. Вместе со снижением цен росло также качество и удобство печати.

Материалы, которые использовали принтеры, также эволюционировали.

Сейчас есть различные пластмассы и нити, которые широко доступны. Такие материалы, как углеродное и стекловолокно, можно печатать в формате 3D. Некоторые создатели даже экспериментируют с печатными материалами, такими как шоколад или макароны [15].

В 2019 году было достроено крупнейшее в мире функциональное 3D печатное здание. Сейчас 3D-принтер постоянно используется при разработке слуховых аппаратов и других приложений в области здравоохранения [16], и

многие отрасли и сектора внедрили эту технологию в свой повседневный рабочий процесс.

Область вопросов, которые нужно изучить с применением новейших процессов 3D-печати, с каждым днем набирает огромные обороты. Благодаря этому, изготовленные изделия стало получать гораздо лучше и успешнее, более на высоком уровне выпускаемого качества.

Первостепенно, новые технологии дают потенциал для таких профессий как инженер-конструктор, разных областей производств. С помощью нового оборудованию, можно в кратчайшие сроки решать возникшие проблемы при создании нужных изделий, а также для производство готового продукта [17].

3D-моделирование дает возможность делать аналоги для тестирования еще за долго до начала серийного производства, и устраивать качественную проверку испытанием разных свойств, чтобы вовремя устранить дефекты. 3D-печать охватывает возможности для создания комплектующих, приборов и компонентов разных установок. Новое оборудование дает возможность производить новые вещи с различными свойствами и гарантировать качественную работу проектируемых деталей. 3D-принтер дает большие возможности по созданию желаемой и эффективной детали, и существенно ускоряет производительность. 3D-принтеры позволяют делать достаточно быстро и качественные изделия нужных форм.

На сегодняшний день можно уверенно изготавливать высокоточные изделия, а также изделия для литья. С 3D-принтером можно изготавливать изделия, которые уже готовы к эксплуатации, компоненты разных механизмов, детали и запчасти для ремонта, комплектующих двигателей и многое другое [18].

1.2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является медная фурма для доменных печей, изготовленная с помощью аддитивного производства.

Предметом исследования является совершенствование метода получения рыльной части фурмы из меди с помощью аддитивного производства.

В процессе выполнения ВКР использовались следующие методы исследования:

- анализ;
- измерение;
- сравнения (выбор стратегии сканирования);
- визуальный (макроанализ и микроскопия);
- экспериментальный метод (проведение испытания полученных образцов на растяжение по ГОСТ 1497-84, а также совершенствование метода получения рыльной части фурмы).

Экспериментальные образцы из меди марки М1 получали методом электронно-лучевой аддитивной технологии, на экспериментальном оборудовании в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН.

В качестве филамента (исходного сырья) для печати использовали проволоку из меди марки М1 диаметром 1,6 мм по ГОСТ 859-2014.

1.3 Назначение рыльной части фурмы

Фурмы доменных печей работают в тяжелых условиях сложного напряженно- деформированного состояния. Это обусловлено существенной разницей температур горячего воздуха и охлаждающей воды, влиянием температурных напряжений и разницей давлений, прокачиваемых через фурмы воды и воздуха. Вследствие этого, возникает необходимость оптимизации конструкций фурм с целью повышения надежности их работы и увеличения срока службы. Повысить эксплуатационные качества фурм можно как с помощью нанесения покрытий, так и за счет использования современных методов аддитивного производства, позволяющих создавать материал с заданными свойствами одновременно с изделием.

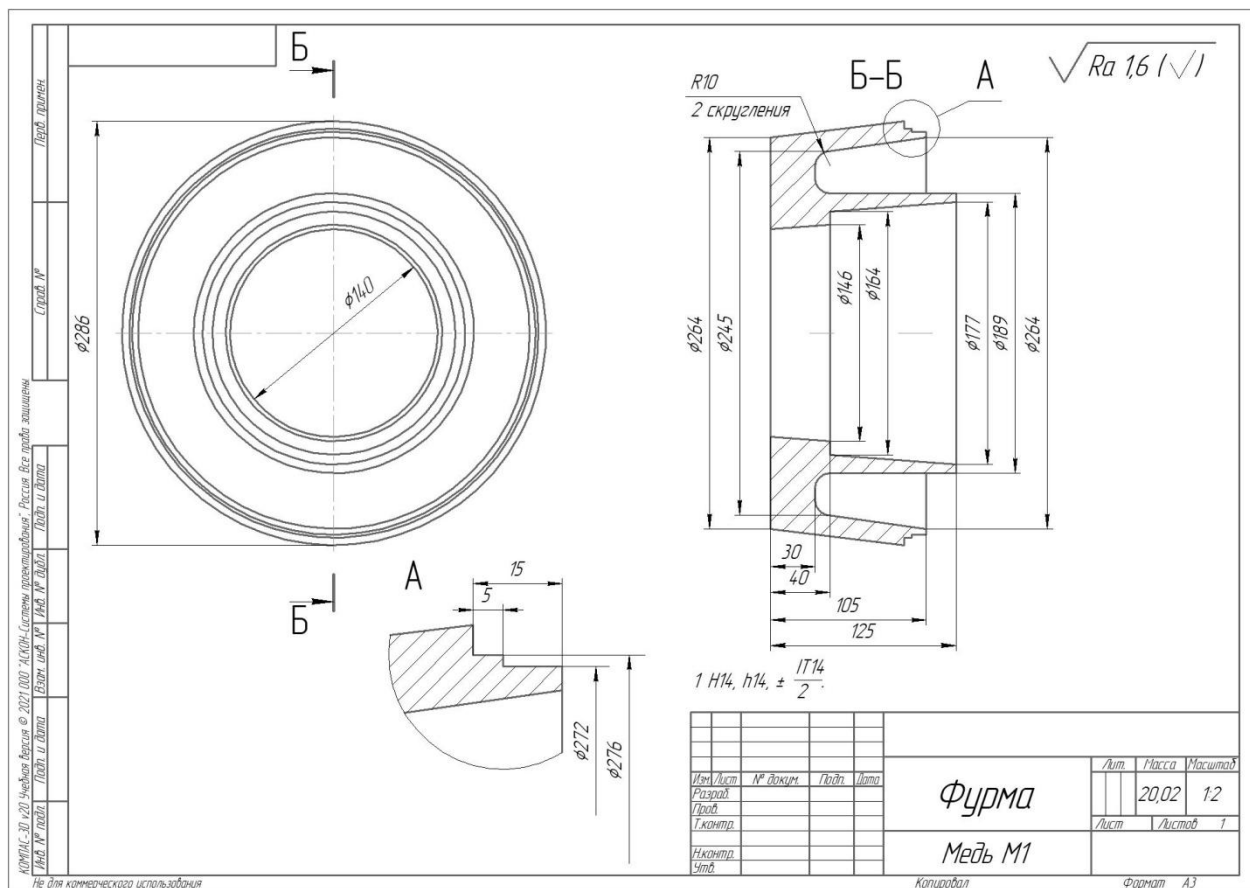


Рисунок 1 – Рыльная часть фурмы

На напряженно-деформированное и тепловое состояние фурмы существенное влияние оказывают такие условия работы, как давление и расход газа, воды, их температура, конструкция самой фурмы, характеристики используемого материала.

1.4 Описание электронно-лучевой аддитивной технологии

Суть процесса электронно-лучевой аддитивной технологии состоит в нанесении на подложку расплавленного металла, получаемого плавлением электронным лучом подаваемого в зону печати филамента в виде металлической проволоки/прутка (рисунок 2). Для осуществления процесса печати необходимо создание на подложке ванны расплава, которая также формируется электронным лучом, имеющим заданную геометрию развертки. Изделие изготавливается послойно путем последовательного нанесения на нижележащий слой материала необходимого количества слоев определенной толщины. Форма каждого

слоя в плоскости XY задается перемещением зоны печати системой числового программного управления (ЧПУ) манипулятора (рисунок 3) по соответствующей программе.

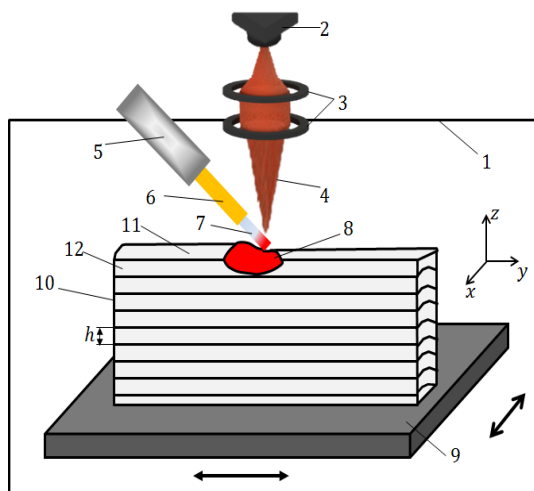


Рисунок 2 – Схема процесса электронно-лучевой аддитивной технологии:

- 1 – вакуумная камера; 2 – катод;
- 3 – системы магнитной фокусировки и отклоняющая система;
- 4 – электронный пучок; 5 – податчик проволоки;
- 6 – наконечник податчика; 7 – проволока (пруток); 8 – ванна расплава;
- 9 – подложка; 10 – напечатанный металл; 11 – печатаемый слой;
- 12 – нижележащий слой.

```

|; GCode text file created:
; 04.10.2021 12:15:38
; Beam preparing
M804 W0 F100 X25 Y25
G4S1
; Motion preparing
G21
G53
G90
; Start printing
G92 A0.00 B0.00
G92 X0 Y0 Z0
G0 F1500
G1 F400
G0 X0.00 Y0.00 Z9.00
; Layer 1
; Block 1 Row: 3

G4 S5.000
M804 X25 Y25
G0 Z-1.00
M800=85.0
G1 X-110.00 Y0.00 A547.10 F400
M802=59.5
G0 Z4
M801
G0 Z10.00
; Layer 2
; Block 2 Row: 5

```

Рисунок 3 – Фрагмент кода для получения рыльной части фурмы

Процесс ЭЛАП производится в вакуумной камере, что исключает окисление материала. Также, проведение процесса в вакууме при оптимальном режиме печати практически полностью исключает наличие в получаемом изделии пористости.

1.5 Описание оборудования для получения образцов

Образцы из меди марки М1 получали методом электронно-лучевой аддитивной технологии на экспериментальном оборудовании (рисунок 4) в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН. В качестве филамента (материала) для печати использовали медную проволоку марки М1 [19] диаметром 1,6 мм.

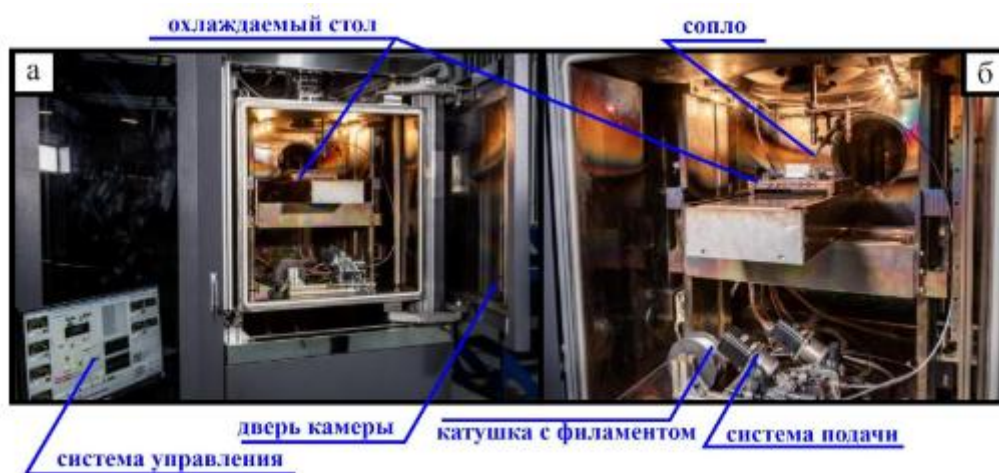


Рисунок 4 – Установка для аддитивной электронно-лучевой печати проволоочным филаментом. Крупным планом (а), камера и стол (б).

Весь процесс происходит в камере, рабочая область герметизируется с помощью дверцы камеры, филамент подается из катушки в рабочую зону с помощью сопла, с помощью системы подачи. В процессе печати модель вместе с подложкой охлаждается, для этого используется охлаждаемый с помощью воды стол. Процесс печати управляется с помощью системы управления.

1.6 Схема печати экспериментальных образцов

Для отработки метода и проведения металлографического анализа необходимо получить образцы в виде блоков. Так как технология электронно-

лучевой аддитивной технологии получения крупногабаритных изделий из меди находится на первоначальном этапе своего развития, необходимо отработать стратегию печати, с помощью которой будет происходить печать фурмы. Для этого выберем 3 стратегии печати (рисунок 5).

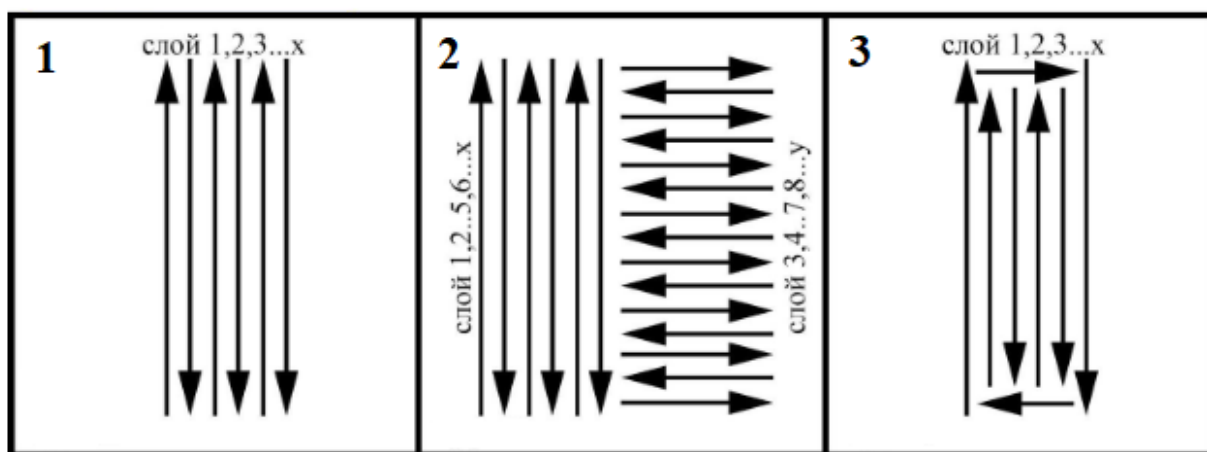


Рисунок 5 – Схема печати (стратегии сканирования) различных типов.

По первой стратегии сканирования получали путем печати с однонаправленным возвратно-поступательным линейным движением на каждом слое. При второй стратегии сканирования происходит переменное изменение на 90 градусов линейного направления каждые 2 слоя. По третьей схеме печати сначала происходит формирование контура печатаемого образца, с последующим заполнением основного объема печати.

1.7 Структура полученных образцов

Блок по схеме печати 1 получали на стальной путем печати с однонаправленным возвратно-поступательным линейным движением на каждом слое. С торцевой стороны блоков характерно нарушение макрогеометрии с формированием ряда дефектов виде капель, подтеков и уменьшение геометрии блока к верхней части (рисунок 6 (б,г)). При этом печать блока (рисунок 7) с наклоном в 10 градусов не приводила к подобным дефектам.



Рисунок – 6 Блок полученный по первой схеме печати.

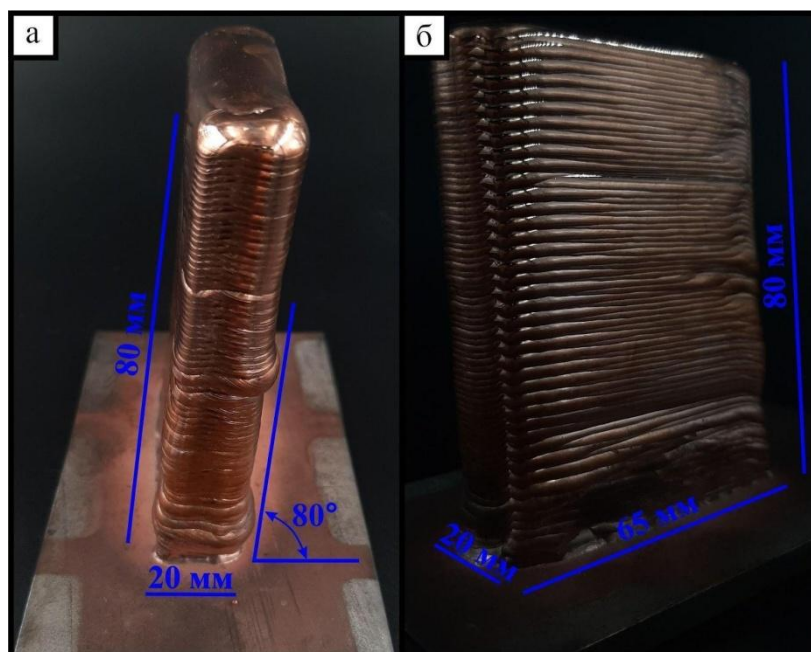


Рисунок 7 – Блок полученный по первой схеме печати, с наклоном в 10 градусов.

При печати блока по третьей схеме печати с использованием попеременного изменения линейного направления укладки слоёв,

представленной на рисунке 2, происходило нарушение непрерывности течения материала на поверхность заготовки, что привело к образованию капель и подтеков материала. В результате формировалось большое количество дефектов и нарушение геометрии образцов (рисунок 8).

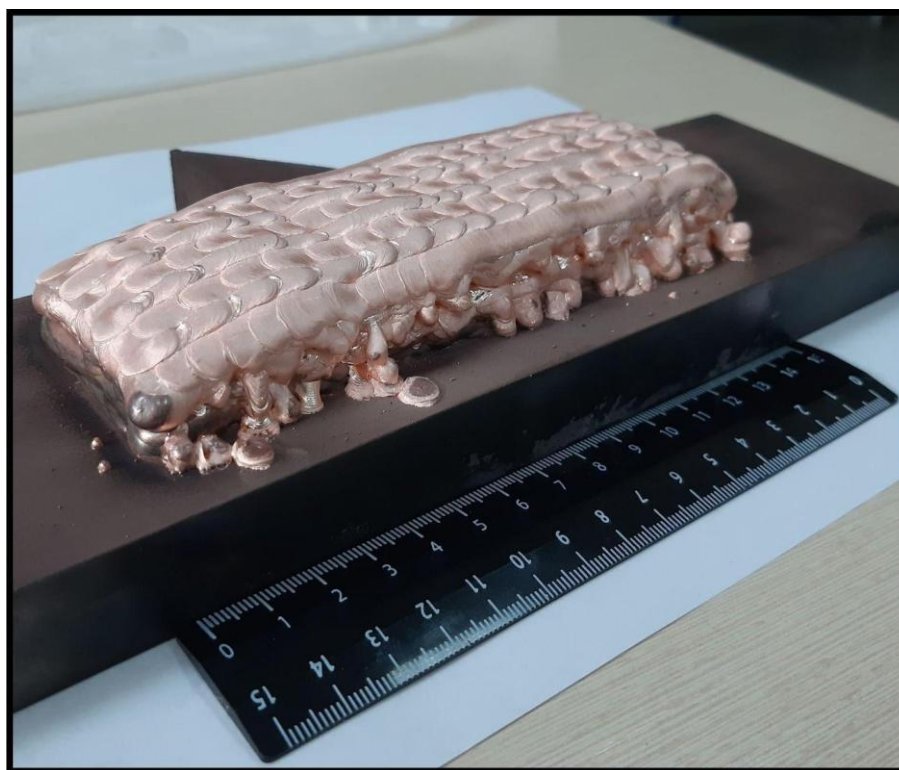


Рисунок – 8 Блок полученный по второй схеме печати.

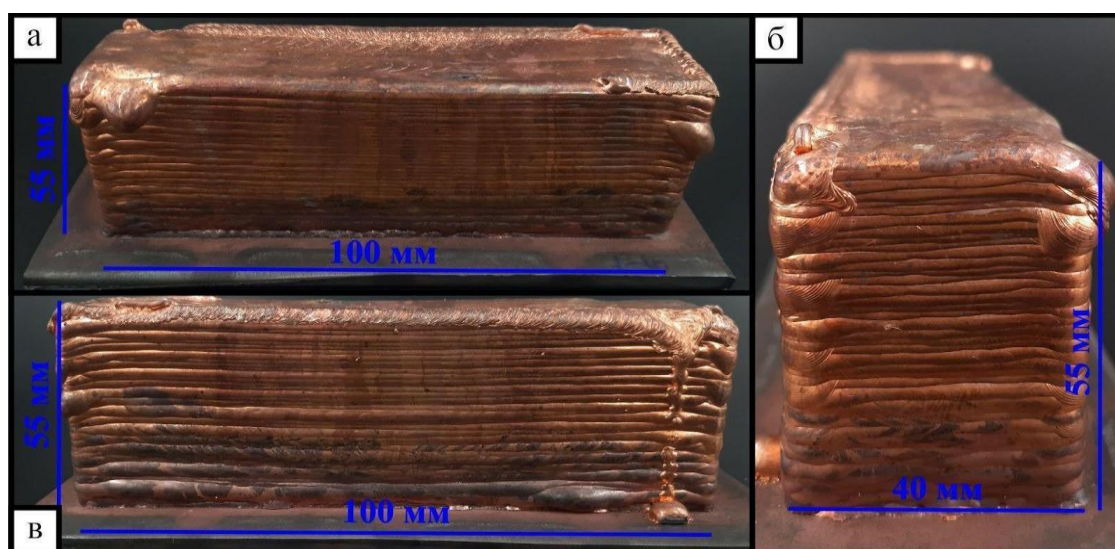


Рисунок – 9 Первый блок полученный по третьей схеме печати.

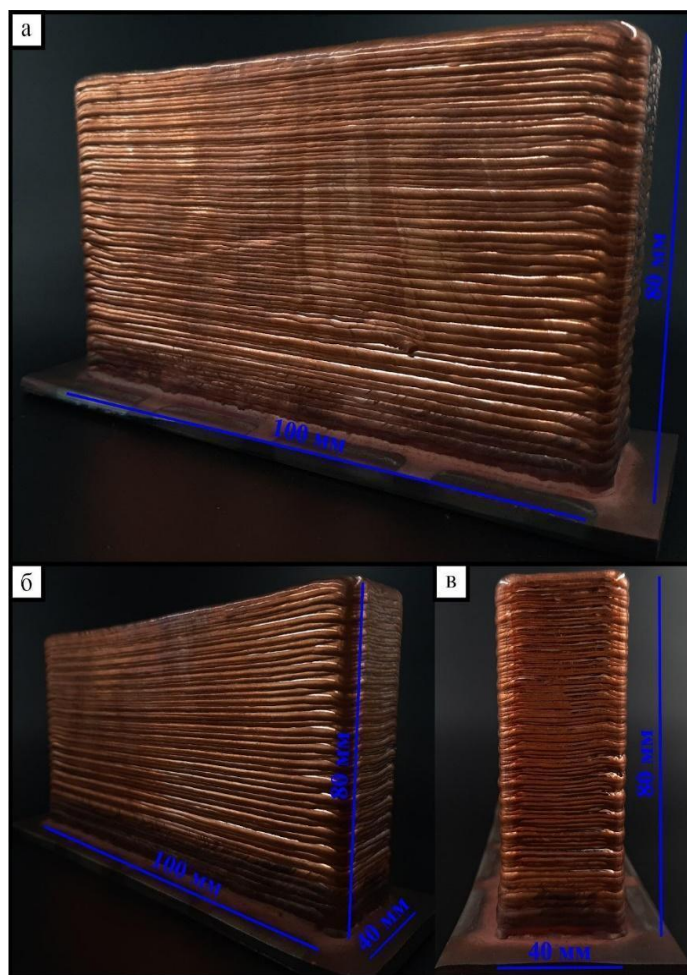


Рисунок – 10 Второй блок полученный по третьей схеме печати.

Уменьшение подобных дефектов было достигнуто с применением третьей схемы печати, в которой сначала происходило формирование периметра с последующим заполнением внутреннего объема слоя. Блоки были получены без искажения геометрии. Поверхность таких образцов достаточно равномерна, распределена с параллельными слоями без изгибов слоёв и существенных нарушений укладки.

1.8 Макроструктура медных блоков

Для изучения структуры полученных образцов, блоки были разрезаны, и отполированы с последующим травлением поверхности среза. Все результаты были получены с помощью оптического микроскопа Альтами МЕТ-1С.

Макроструктура блоков, полученных по первой стратегии печати, представлены на рисунке 11. Около подложки четко выделяется слой, в

котором видно, замешивание стали из подложки в объем меди с формированием композитной структуры. Следующей за ней располагается область меди с мелкокристаллической структурой, в которой заметно уменьшается содержание примесей от подложки. Далее происходит укрупнение зёрненной структуры. В структуре четко прослеживается граница между соседними проходами печати.

Структура дополнительно полученного блока по подобной стратегии печати, с наклоном в 10 градусов относительно вертикальной оси представлена также вытянутым в направлении печати крупным зерном, где так же на первых слоях печати происходит влияние подложки на наплавляемую медь (рисунок 11). Структура при этом практически бездефектна.

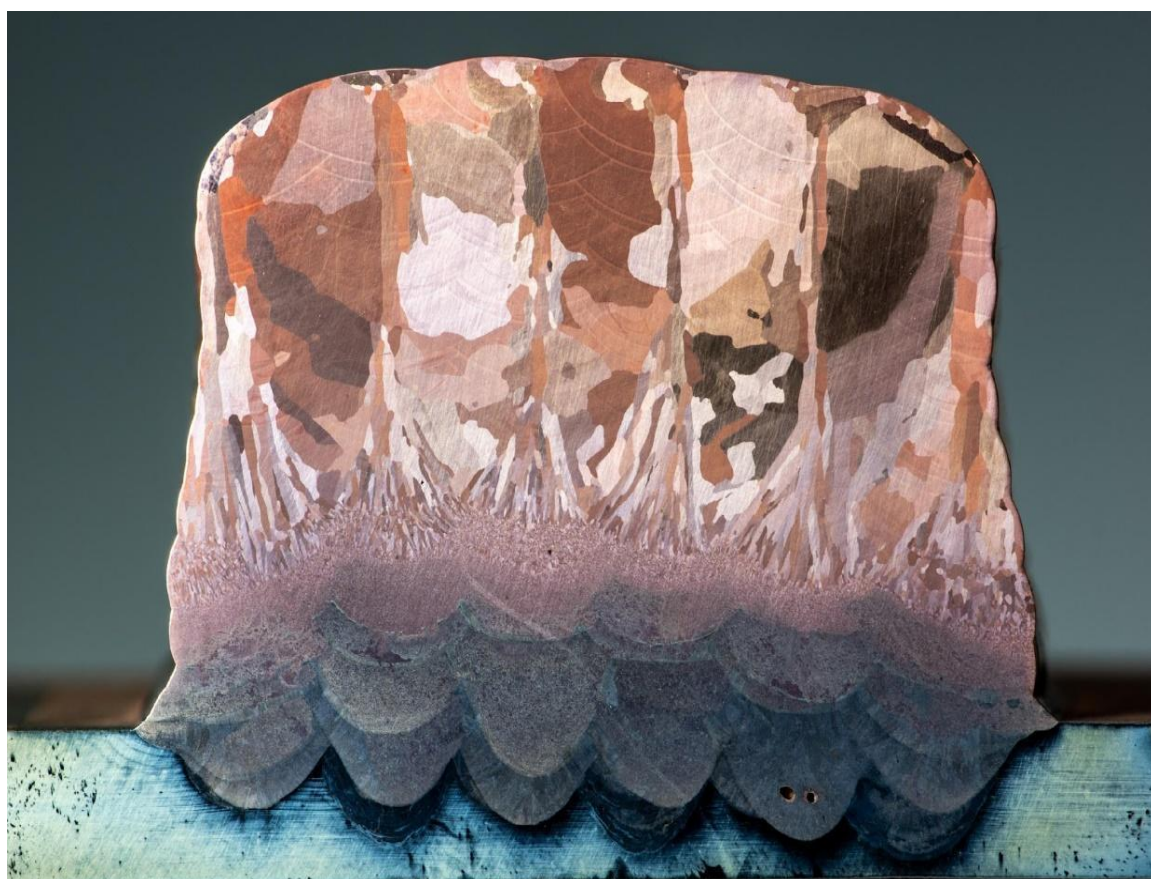


Рисунок – 11 Макроструктура блока полученного по первой схеме печати.

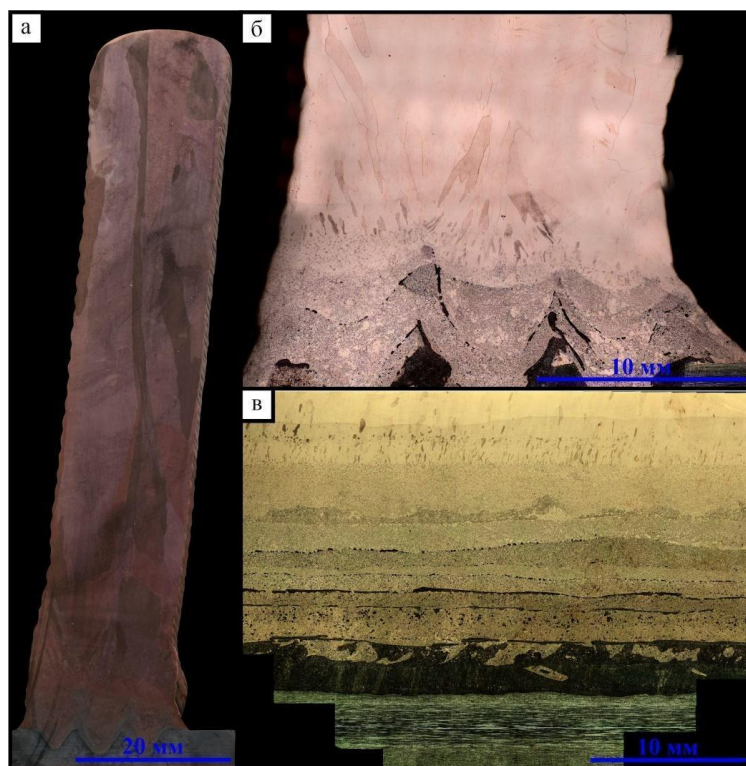


Рисунок 12 – Блок с наклоном в 10 градусов полученный по первой стратегии печати.

Макроструктура второго блока отличается наличием более крупных дефектов в виде пор, частично обусловленной схемой движения образца при печати, частично из-за присутствия здесь капельного режима в процессе электронно-лучевой 3D-печати. На рисунке 13 можно заметить присутствие крупных пор практически во всех сечениях. Так же заметна неоднородность во всех имеющихся сечениях. Проведенный анализ плоскостей показывает, что применение стратегии печати, основанной на поочередной смене направления печати на 90 градусов после нанесения каждых двух слоёв нецелесообразна.

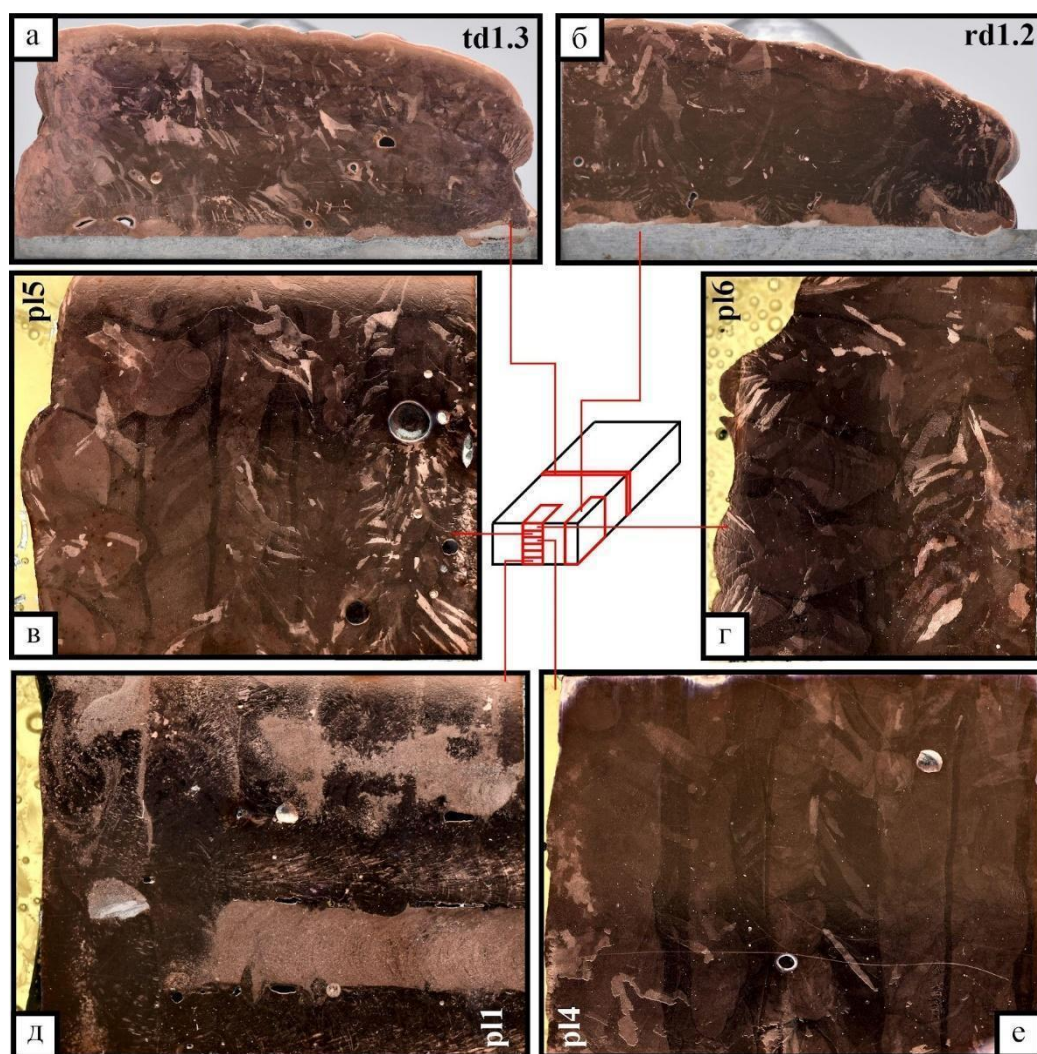


Рисунок 13 – Макроструктура медного блока полученного по второй стратегии печати в поперечном (а), продольном (б) и в горизонтальной плоскости (в-е).

В структуре блоков, полученных по третьей стратегии сканирования, прослеживается укрупнение структуры в направлении отвода тепла (рисунок 13). В поперечном сечении (рисунок 13, а) направление роста зерен имеет вертикальный характер, а в продольном сечении (рисунок 13, б) имеет изгиб роста зерен и небольшое количество неоднородностей. В образцах можно отметить практически отсутствие дефектов, за исключением верхней части образцов, в которой при печати произошел сбой в работе пучка электронной пушки, из-за чего произошло образование дефектов на границе траектории движения, как видно на рисунке 13(а), дефект распространился на несколько

слоёв печати. Данный дефект распространился практически на всю длину образца в виде каналов, что свидетельствует о стабильности процесса печати.

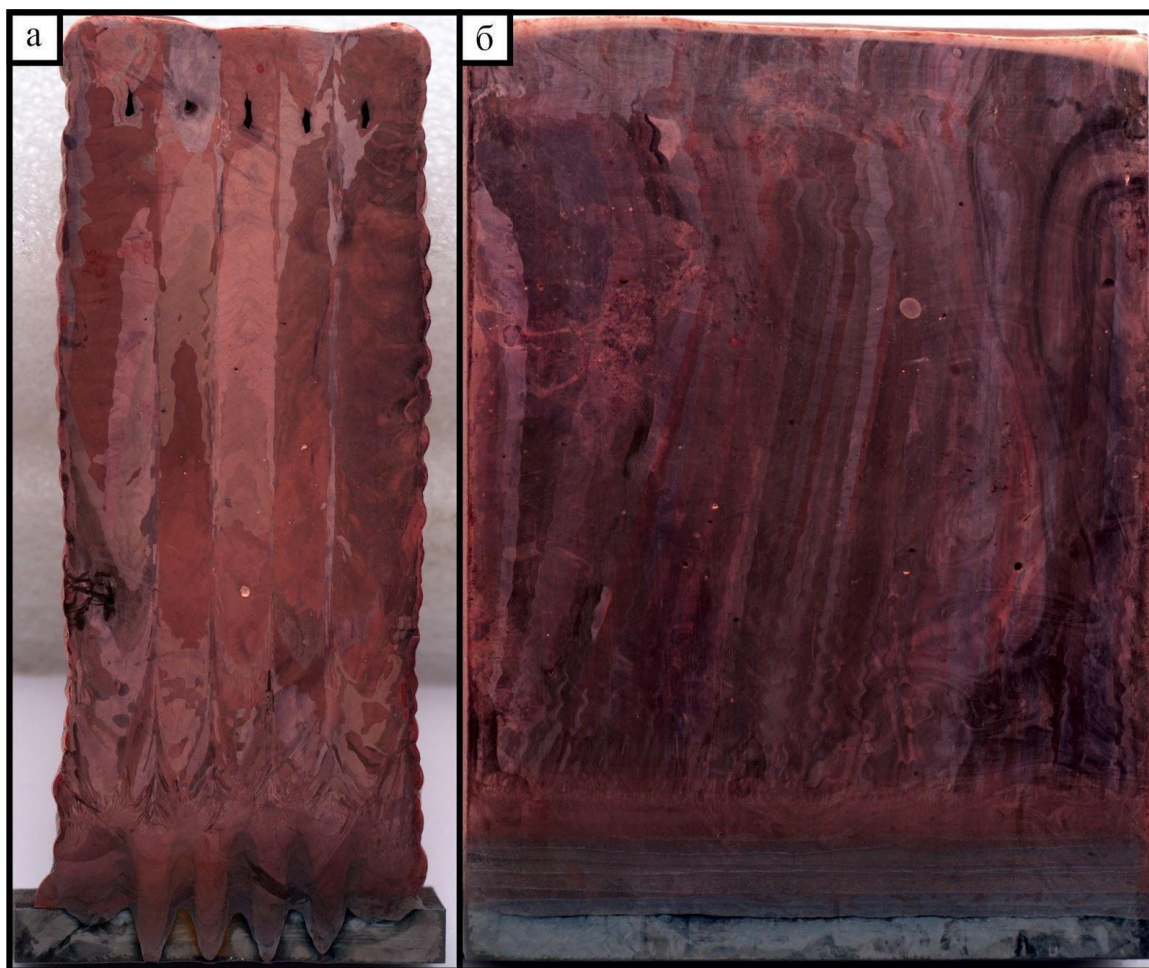


Рисунок 14 – Макроструктура медного блока полученного по третьей стратегии сканирования в поперечном (а) и продольном сечении (б)

Так же необходимо отметить, около подложки находится волнообразная область с замешанной сталью в медной матрице. В данной области постепенно происходит изменение содержания стальных частиц в меди, что можно четко увидеть в продольном сечении.

В горизонтальной плоскости также четко выделяются основные структурные зоны блоков (рисунок 15). В нижней части блока (рисунок 15, а) находится зона на которую происходит влияние подложки за счет интенсивного проплавления стали в медную матрицу.

В следующей части блока на 15 мм выше подложки замешанная сталь уже практически отсутствует, но структура при этом является достаточно

мелкодисперсной (рисунок 15, б). При этом, строение блока на макроуровне представлено постоянным чередованием столбцов, напечатанных по схеме, представленной на рисунке 2. Структура на большей высоте от подложки (30, 45, 60) представлена аналогичным строением, но, с постоянным увеличением структуры (рисунок 15, в-д).

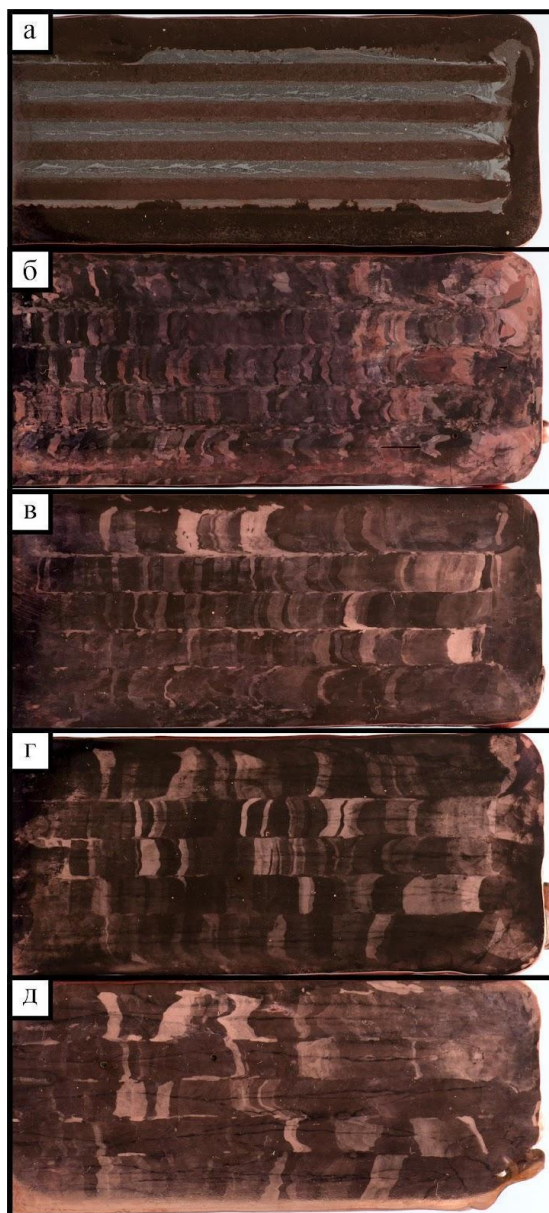


Рисунок 15 – Макроструктура медного блока полученного по третьей стратегии печати в горизонтальной плоскости

1.9 Предварительные механические испытания.

Схема печати под номером 3 показала наилучшие с точки зрения макроструктуры показатели. В соответствии с этим механические испытания

будет проводить с этим блоком. Предварительные механические испытания проводились на универсальной испытательной машине UTS110M, образцы вырезаны в форме лопаток (рисунок 16).

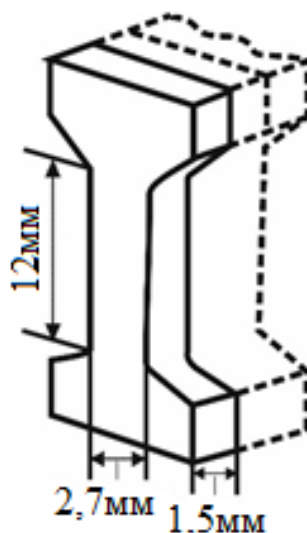


Рисунок 16 – Форма лопатки для проведения механических испытаний

Предварительные исследования механических свойств образцов (рисунок 17), показывают, что имеется существенная зависимость свойств материала медных блоков от высоты образцов от стальной подложки, на которой формировались блоки, при электронно-лучевой печати. В образцах, находящихся наиболее близко к подложке, как уже говорилось ранее происходит замешивание стали в аддитивно наплавляемую медь. В результате, происходит замешивание стали в аддитивно наплавляемую медь. В результате, происходит упрочнение литой медной структуры стальными частицами и предел прочности на растяжение достигает 420 МПа на расстоянии 2-4 мм от подложки и 280 МПа на расстоянии 10-12мм (рисунок 17, кривые 1 и 2).

Далее, при удалении от подложки на 18-20 мм происходит увеличение пластичности и снижение предела прочности при растяжении до 170 МПа (кривая 3 на рисунке 17), так как внедрение стальных частиц уже не приводит к увеличению прочности, но, имеется упрочнение за счет измельченной структуры меди вблизи подложки. Прочность в дальнейших образцах снижается постепенно от 145 МПа до 130 МПа в верхней части блока, с

достаточно схожими показателями пластичности (кривые 4-8 на рисунке 17). Такое положение связано с тем, что структура блока выше 20-25 мм стабилизируется и представляет из себя совокупность крупных зерен, ориентированных практически параллельно направлению отвода тепла. Крупнокристаллическая структура, бездефектная, с направленным ростом, отличается высокими параметрами пластичности, тепло- и электропроводности, но, имеет меньшие значения предела прочности, по сравнению с мелкозернистой структурой, образовавшейся вблизи подложки. При этом, предел прочности 120 МПа и более характерен для литой меди.

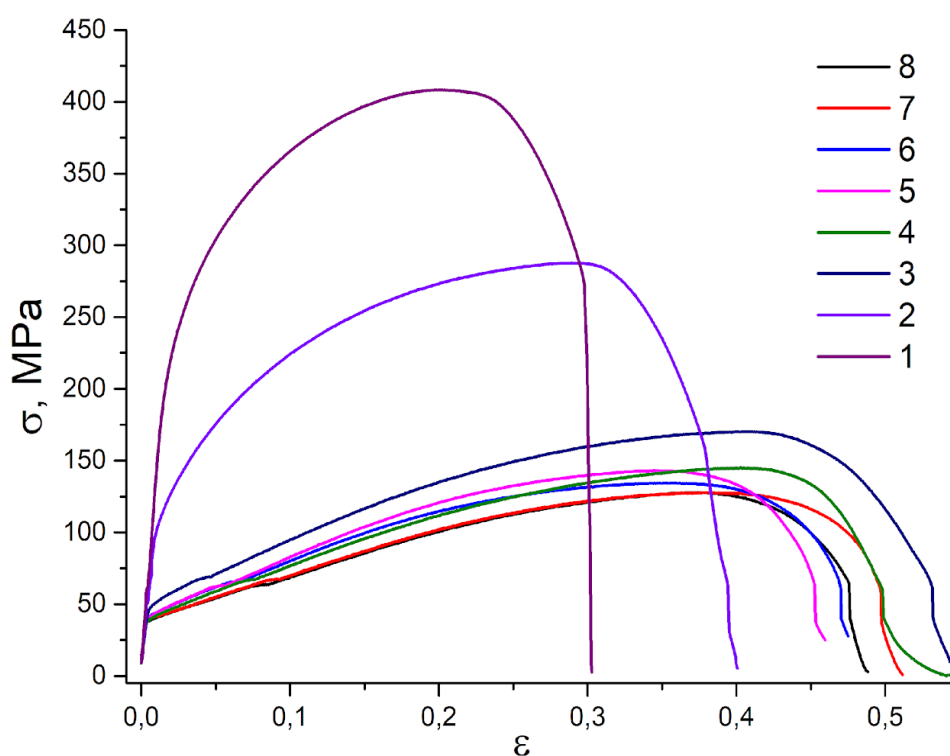


Рисунок 17 – Диаграмма нагружения образцов медного блока, вырезанных в направлении выращивания из различных участков по высоте.

Таким образом, в материале исследуемых блоков типа D имеется неоднородность механических свойств, связанная с формируемой структурой и заключающаяся в плавном повышении пластичности и снижении прочности материала при удалении от подложки.

1.10 Описание установки для получения рыльной части фурмы

Для изготовления рыльной части фурмы использовалась крупногабаритная электронно-лучевая установка аддитивного производства с объемом вакуумной камеры 8 м³ (рисунок 18)

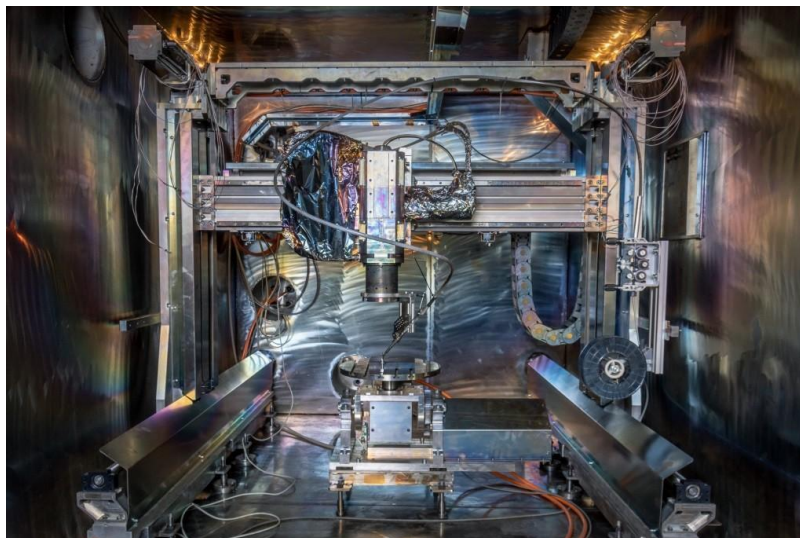


Рисунок 18 – Крупногабаритная установка ЭЛАП

Крупногабаритная установка имеет электронно-лучевую систему мощностью 4,2 кВт со следующими характеристиками:

- ускоряющее напряжение – до 30 кВ;
- ток электронного пучка – до 140 мА;
- частота развертки – до 1000 Гц.

Установка оснащена 5-ти осевым манипулятором с ЧПУ, включающим – 3-х координатный манипулятор перемещения электронной пушки и наклонно-поворотный рабочий стол с токарным патроном.

В качестве филамента (исходного сырья) для печати использовали проволоку из меди марки М1 диаметром 1,6 мм по ГОСТ 859-2014.

Проволока была закуплена в бухтах, поэтому перед процессом печати производилась ее намотка на катушки с использованием специально разработанного намоточного стенда.

Наконечник податчика устанавливали под углом к горизонтали ≈ 45 градусов. Наконечник жестко связан с электронной пушкой и позиционирован так, чтобы электронный пучок и подающаяся проволока образовывали вертикальную плоскость перпендикулярную кратчайшему расстоянию до оси наклонно-поворотного стола. Расстояние от наконечника до оси электронного пучка подбирается так, чтобы кончик проволоки при касании подложки находился на оптической оси пучка. Вылет проволоки из наконечника при этом составляет ≈ 15 мм. Перед началом аддитивного процесса производится проверка и, при необходимости, настройка положения наконечника.

1.11 Совершенствование метода получения рыльной части фурмы

Для реализации процесса на поверхности нанесения аддитивного материала (подложке или уже напечатанного слоя) должна быть сформирована ванна расплава. Ванна расплава заданной формы и размера создается путем перемещения электронного пучка по заданной траектории, отклоняющей система электронной пушки.

Частота развертки во всех случаях составляла 1000 Гц.

В ходе процесса печати в зоне воздействия электронного пучка одновременно происходит создание ванны расплава, расплавление материала проволоки и его перенос в ванну расплава. Перенесенный материал проволоки формирует слой аддитивной меди на поверхности заготовки или ранее сформированного слоя. Направление печати задается направлением вращения

стола. Заполнение поверхности осуществляется путем перемещения манипулятора в радиальном направлении.

Перед формированием следующего слоя изделия расстояние между образцом электронной пушкой увеличивается на толщину нанесенного слоя. Следующий слой аддитивной меди наносится на ранее сформированный слой.

Перед проведением печати на основе 3D-модели рыльной части фурмы создается управляющий код для печати, в соответствии с которым системой ЧПУ манипулятор установки производится перемещение электронной пушки с податчиком в плоскости XY.

При печати наклонных стенок стаканов с использованием наклонно-поворотного стола производится наклон изделия на такой угол, чтобы ванна расплава всегда оставалась в горизонтальном положении, для того чтобы избежать стекания жидкого металла на боковую поверхность стенки.

Основными технологическими параметрами процесса являются:

- ускоряющее напряжение;
- ток пучка;
- форма и размер развертки электронного пучка;
- скорость заполнения (скорость линейного перемещения зоны печати);
- скорость подачи проволоки;
- толщина печатаемого слоя.

Толщина слоя во всех экспериментальных образцах задавалась равной 1 мм. Первый слой, ввиду более сильного теплоотвода в подложку требует более интенсивного нагрева поверхности подложки и, поэтому, наносится со скоростью заполнения 50% и менее от номинальной.

При подборе режимов и отработки технологии ЭЛАП в ходе изготовления образца- прототипа №1 рыльной части фурмы было установлено, что ввиду большого размера и массы печатаемого изделия для поддержания ванны расплава и обеспечения процесса печати требуется значительно более высокая мощность электронного пучка по сравнению с печатью пробных

образцов в виде блоков. Повышение мощности электронного пучка приводит к интенсификации испарения металла из ванны расплава, что приводит к снижению времени жизни катода электронной пушки и необходимости периодических остановок технологического процесса для его замены.

Перед началом печати требуется выполнение прогрева подложки электронным пучком. Время прогрева подбиралось оператором опытным путем.

В случае остановки, после остывания изделия для возобновления печати требуется его дополнительный прогрев электронным пучком для достижения необходимых условий существования ванны расплава. Прогрев контролируется оператором визуально и проводился до появления на поверхности устойчивой ванны расплава, после чего начинается подача проволоки и возобновляется печать.

Длительность прогрева при печати основания составляет до 90 мин., а при печати стенок стаканов до 60 мин.

Отработка процесса печати также показала, что при переходе от изготовления основания к формированию стенок стаканов существенно увеличивается теплоотвод за счет излучения, приводя к остыванию стенок и существенному снижению скорости и качества печати.



Рисунок 19 – Вид образца-прототипа на последовательных стадиях его изготовления

С учетом этого был изготовлен цилиндрический теплоотражающий экран, который устанавливается на наклонно поворотный стол (рисунок 20).

Применение экрана позволило значительно уменьшить потери тепла и добиться скорости печати 400 мм/мин.



Рисунок 20 – Теплоотражающий экран вокруг изделия

Общий вид напечатанного изделия на подложке приведен на рисунке 20.

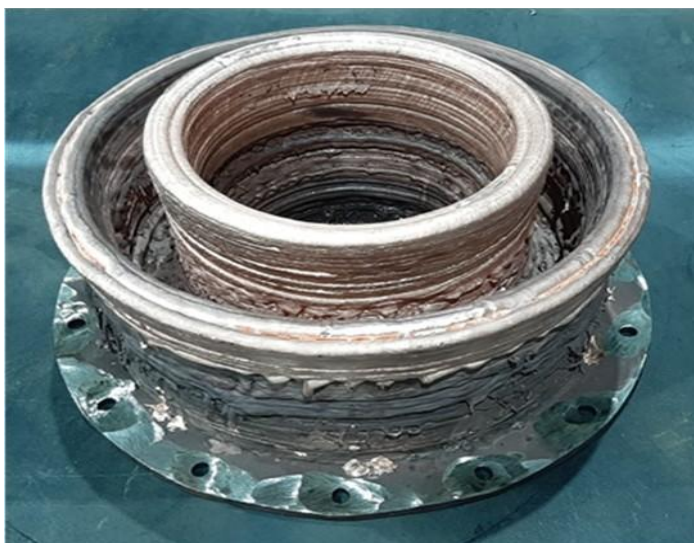


Рисунок 21 – Вид образца-прототипа после окончания печати

Визуальный осмотр поверхности образца-прототипа показал, что на внутренних и наружных поверхностях стаканов имеются квазипериодические трещины под наклоном к вертикальной оси. Трещины являются межкристаллитными, о чем свидетельствует совпадение их угла наклона с углом наклона столбчатых зерен (рисунок 22)

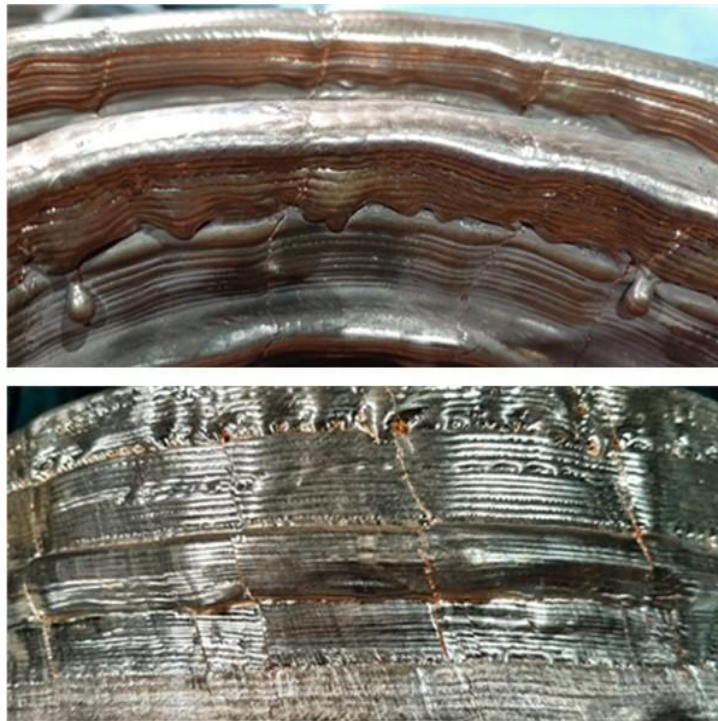


Рисунок 22 – Наклонные трещины на поверхности образца-прототипа после окончания печати

Разрезка образца показала, что внутри имеются дефекты в виде несплошностей и наплавлений между слоями (рисунок 23).

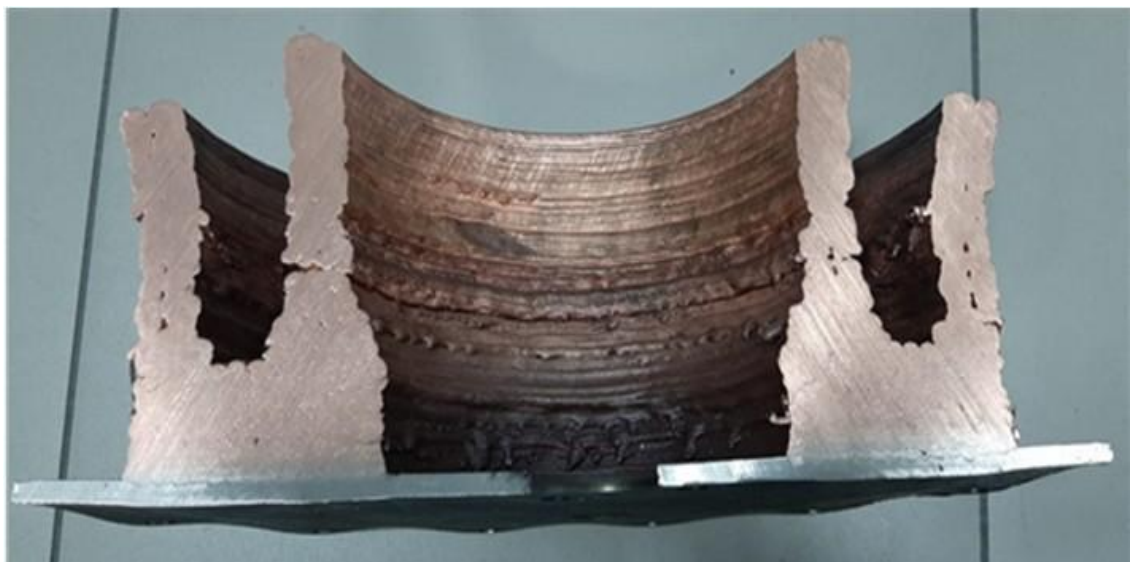


Рисунок 23 – Внутренние дефекты

В связи с этим был сделан вывод о необходимости коррекции режима печати в сторону увеличения тепловложения.

Изготовление образца-прототипа по варианту 1 показало, что скорость печати плоского основания более чем в 2 раза ниже скорости печати стаканов, а также необходим его более длительный прогрев после остановок по сравнению со стенками стаканов. Кроме того, ввиду перемешивания с материалом подложки высота основания печатается с припуском до 20 мм. Ввиду этого, на изготовление плоского основания, по массе составляющего приблизительно 50 % от печатаемого изделия, затрачивается до 75 % времени.

Для ускорения времени изготовления рыльной части фурмы был предложен гибридный способ получения изделия (вариант 2), при котором заготовка основания рыльной части фурмы изготавливается из плиты марки М1 толщиной 30 мм (рисунок 24) до начала печати.

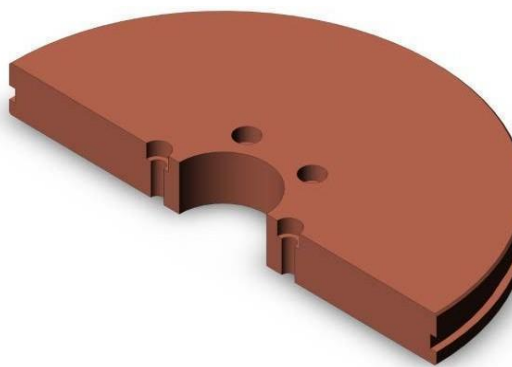


Рисунок 24 – Модель заготовки основания для печати рыльной части фурмы по варианту

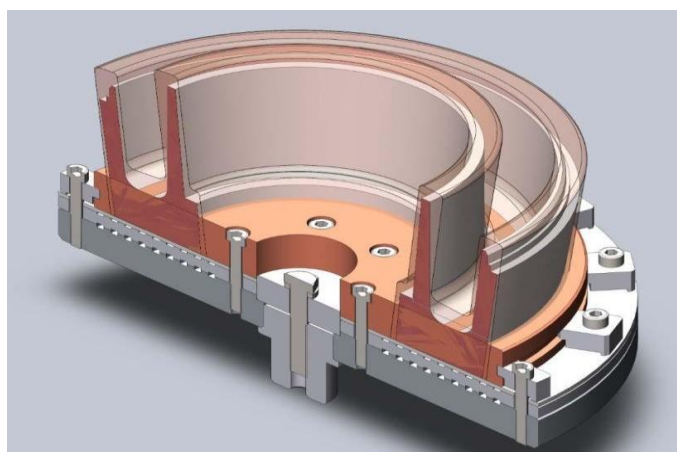


Рисунок 25 – Заготовка основания для печати рыльной части фурмы по варианту 2, установленная на оснастке

Изготовленное основание используется в качестве подложки для печати на нем остальной части изделия – внутреннего и внешнего стаканов. Жесткая фиксация основания на оснастке по наружному периметру осуществляется с использованием дополнительно изготовленных прижимов.

На рисунке 26 приведено фото рыльной части фурмы, напечатанной по варианту 2 на основании из медной литы толщиной 30 мм.



Рисунок 26 – Заготовка рыльной части фурмы изготавливаемая по варианту 2: а) – в процессе печати; б) – после окончания печати

При изготовлении фурмы по варианту 2 также проводился подбор и коррекция технологических режимов печати. В процессе печати было выявлено, что при первоначальном прогреве основания и печати на нем первых 10 – 15 слоев наблюдается спорадическое закипание металла в ванне расплава и выбросы части металла из ванны. По-видимому, это связано с наличием мелкой пористости и загрязнений в поверхностном слое основания. При попадании таких объектов в зону воздействия электронного пучка происходит их быстрый нагрев, что приводит к интенсивному газообразованию и расширению газа, находившегося в порах и выбросу газом расплавленного металла из ванны. Протекание таких процессов может приводить к образованию в данной зоне дефектов в виде несплошностей.

На поверхности рыльной части фурмы также обнаружены множественные квазипериодические наклонные трещины (рисунок 27), проходящие от заготовки основания до верхней части стакана (поз. 3 на рисунке 26).

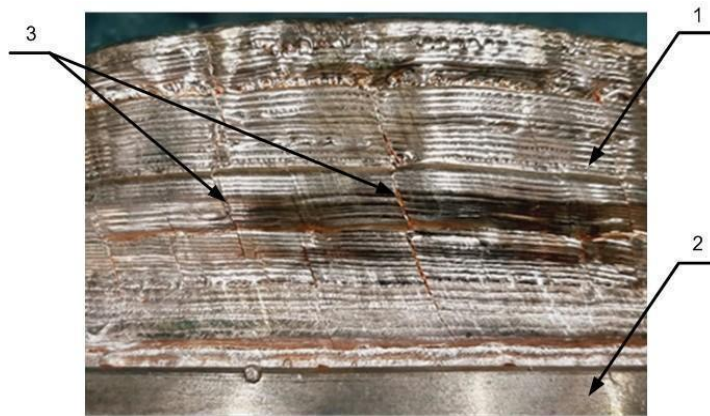


Рисунок 27 – Стенка наружного стакана с трещинами: 1 – заготовка основания;
2 – снование; 3 – трещины

Образование трещин происходит при остывании изделия при остановках в процессе печати из-за несовместности деформаций плиты основания и стаканов, приводящих к возникновению термических растягивающих напряжений в стенках стаканов.

Для снижения термических напряжений при печати экспериментального образца №1 были уменьшено количество наружных прижимов основания, увеличен прогрев основания/уже напечатанной части изделия перед началом/возобновлением печати после остановки. На рисунке 28 приведены изображения экспериментального образца №1 рыльной части фурмы, напечатанной по варианту 2 на основании из медной плиты толщиной 30 мм.



Рисунок 28 – Заготовка экспериментального образца №1 рыльной части фурмы, изготавливаемая по варианту 2: а) – в процессе печати; б) – после окончания печати

Визуальный осмотр поверхности изделия показал, что на стенках стаканов имеются отдельные трещины длиной до 40 мм. При этом наблюдается искажение геометрической формы изделия. В процессе печати произошло коробление основания, что привело к образованию зазора между оснасткой и основанием по его периметру.

Далее была проведена механическая обработка заготовки рыльной части фурмы в соответствии с чертежом, предоставленным Заказчиком (рисунок 1).

На рисунке 29 приведен общий вид экспериментального образца №1 рыльной части фурмы после механической обработки. Нижняя часть основания не обрабатывалась.

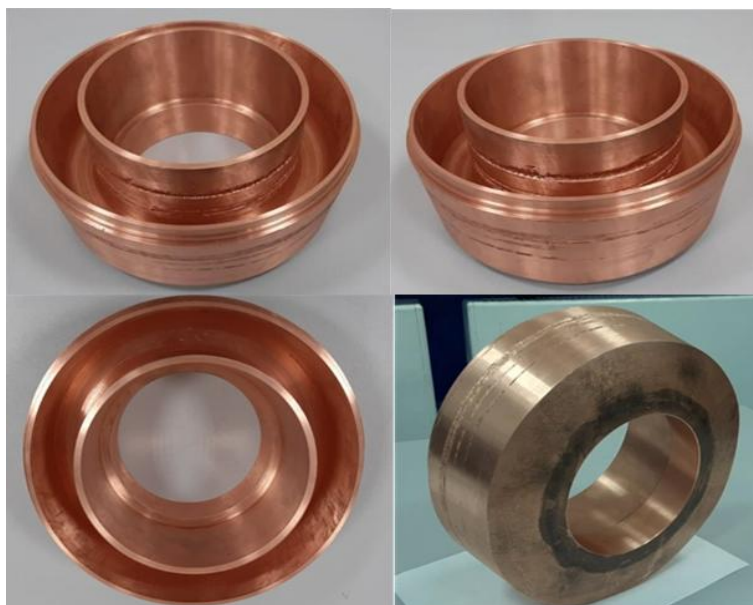


Рисунок 29 – Экспериментальный образец №1 рыльной части фурмы после механической обработки

Как видно из рисунка 29 после механической обработки в размер в соответствии с чертежом на внешних частях стаканов изделия имеются кольцевые борозды. Это связано с большой усадкой рыльной части фурмы после остывания и недостаточным припуском на механическую обработку по наружному диаметру, заложенному в модель для печати.

Визуальный осмотр изделия показал, что на внутренней поверхности внутреннего стакана имеется трещина, проходящая практически вертикально почти по всей высоте стенки стакана (рисунок 30).



Рисунок 30 – Трещина на внутренней поверхности внутреннего стакана

Трещина не является сквозной, ее размер и направление не соответствуют характеристикам трещин, имевшимся на заготовке после печати. Причиной появления трещины является термические напряжения, вызванные несовместностью деформаций основания и стакана при остывании изделия.

При изготовлении экспериментального образца №2 рыльной части фурмы было принято решение проводить печать по варианту 1, т.е. печатать изделие полностью с основанием для того чтобы избежать его коробления.

В модель для печати были внесены корректировки для обеспечения необходимого припуска на механическую обработку с учетом усадки.

Чтобы предотвратить появление трещин при печати во время технологических остановок температура заготовки поддерживалась в районе 250 – 300 град. С.

Для этого после остановки печати заготовка вместе с оснасткой перемещалась в печь с воздушной атмосферой с температурой 300 град. С. Перед извлечением заготовки из вакуумной камеры и напуском воздуха делалась пауза длительностью около 20 минут, необходимая для остывания катодного узла электронной пушки и сохранения его целостности. Перед

началом печати заготовка на оснастке перемещалась из печи в вакуумную камеру установки для продолжения процесса печати.

Предполагалось, что предложенный подход, позволит снизить риск возникновения трещин за счет уменьшения остаточных внутренних напряжений вследствие процесса рекристаллизации, который протекает в меди при температурах выше 280 – 300 град. С.

Кроме того, при изготовлении экспериментального образца №2 рыльной части фурмы была изменена стратегия печати. В данном случае стаканы печатались не одновременно как во всех предыдущих вариантах, а последовательно – сначала на напечатанном основании полностью печатался внутренний стакан, затем полностью изготавливался внешний стакан. Предположительно, выбранный порядок печати также должен был позволить снизить вероятность возникновения трещин, за счет последовательной релаксации напряжений на границе основание-стакан сначала для внутреннего, а затем для внешних стаканов.



Рисунок 31 – Заготовка экспериментального образца №2 рыльной части фурмы после окончания печати

Осмотр поверхности образца №2 показал, что несмотря на изменения технологии печати, не удалось избежать отдельных наклонных трещин на поверхностях стаканов, аналогичных наблюдавшимся ранее.

На рисунке 32 приведен общий вид экспериментального образца №2 рыльной части фурмы после механической обработки.



Рисунок 32 – Экспериментальный образец №2 рыльной части фурмы после механической обработки

Припуски на напечатанной заготовке позволили при проведении механической обработки соблюсти размеры посадочных мест наружного и внутреннего стаканов. При этом, несмотря на сделанную перед печатью коррекцию, припуск по наружному диаметру внешнего стакана оказался на 2 - 2,5 мм меньше требуемого. Вследствие этого на наружной поверхности рыльной части фурмы имеются кольцевые борозды.

Также на обеих сторонах внутреннего стакана имеется несколько межкристаллитных трещин (рисунок 33), угол наклона которых соответствует углу наклона столбчатых зерен, формирующихся в процессе печати.

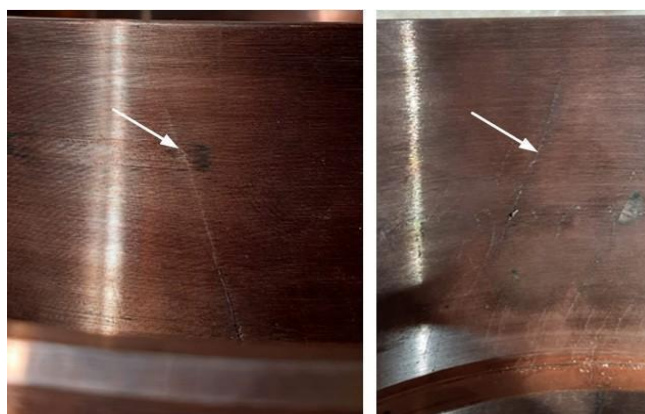
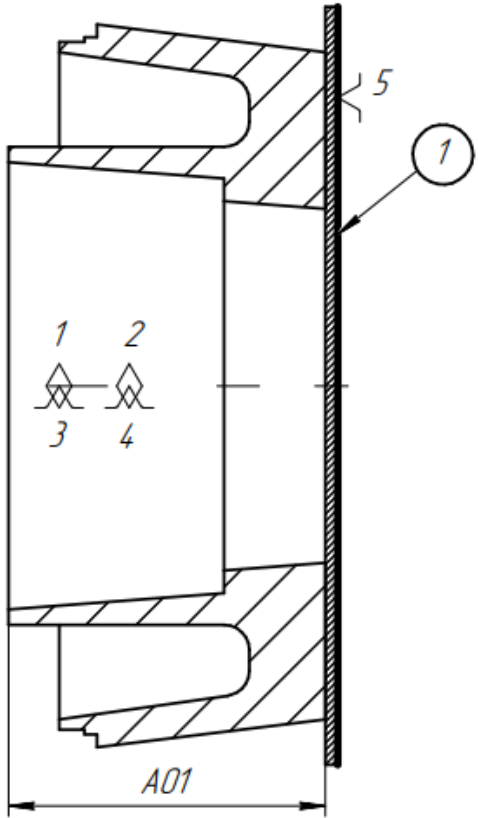


Рисунок 33 – Трещина на внутреннем стакане экспериментального образца №2 рыльной части фурмы: слева – на наружной поверхности стенки; справа – на внутренней поверхности стенки

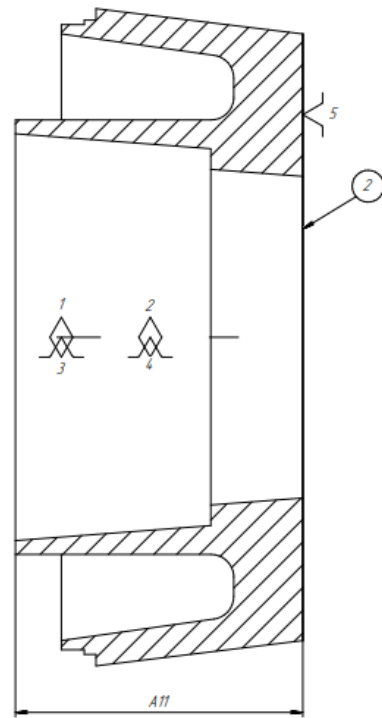
1.12 Механическая обработка рыльной части фурмы

Обработка заготовки производилась на токарном станке с ЧПУ за 2 установка. Базирование заготовки осуществлялось в трех кулачковом патроне. На втором установе базирование и зажим заготовки произведен с использованием специальных кулачков.

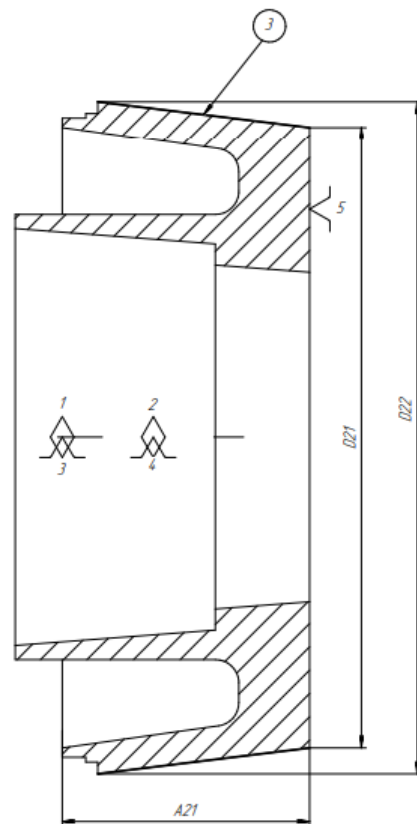
Заготовка фурмы, полученная электронно-лучевой аддитивной технологией, имеет неравномерную поверхность, с глубиной впадин, достигающих нескольких миллиметров, в связи с этим обработка проводилась при оборотах $n=600$ об/мин с подачей $s=0,05-0,1$ мм/об. Материал резца ВК6.

<p>Операция заготовительная, отрезать подложку 1, на ленточнопильном станке выдержав размер A01.</p>	
--	---

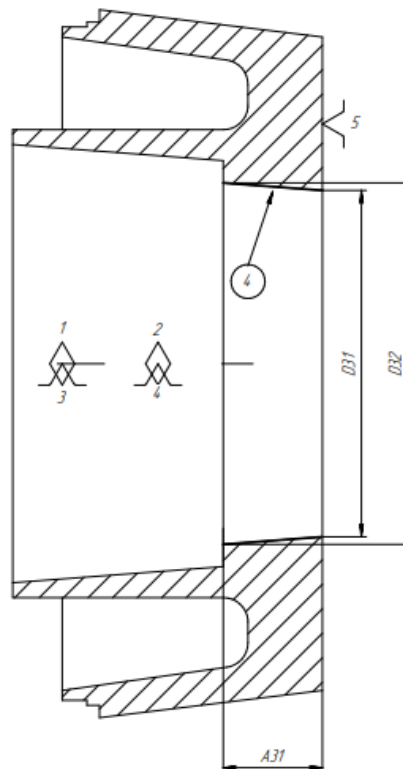
Операция 1. Токарная,
подрезать торец плоскости 2,
выдержав размер A11.



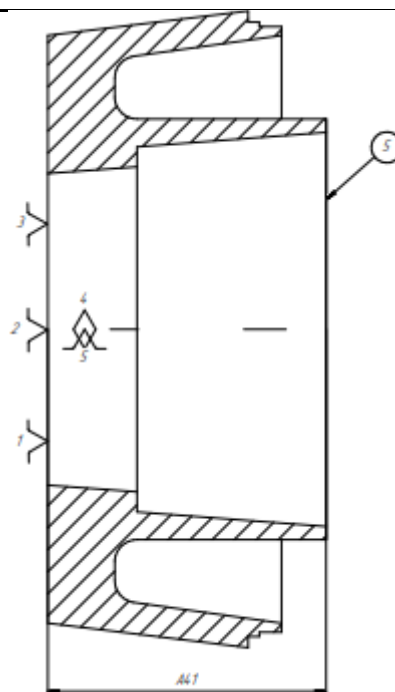
Проточить поверхность 3,
выдержав размеры D21, D22, A21.



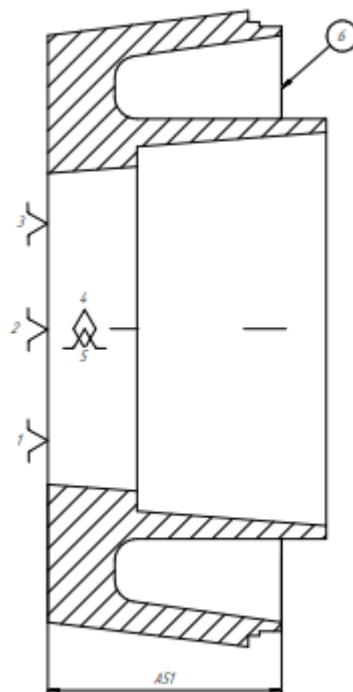
Расточить поверхность 4,
выдержав размеры D31, D32, A31.



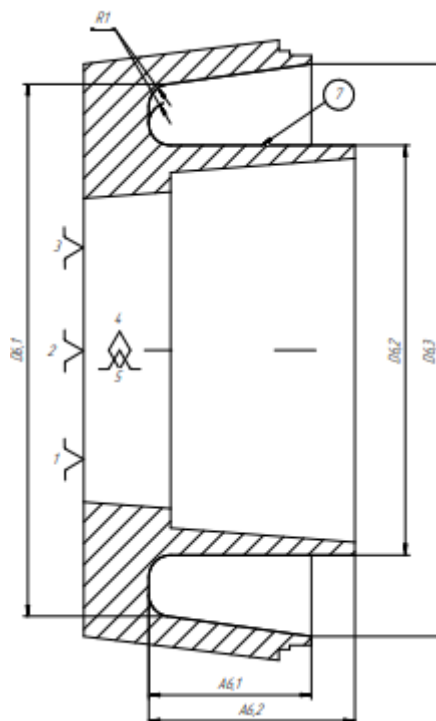
Подрезать торец
поверхность 5 выдерживая размер
A41.



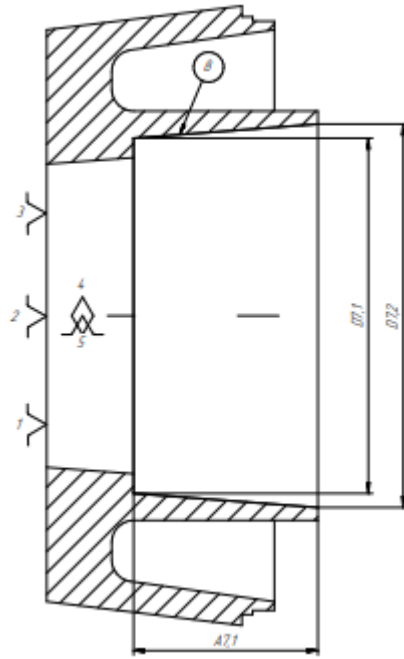
Подрезать торец поверхность 6, выдержав размер A51.



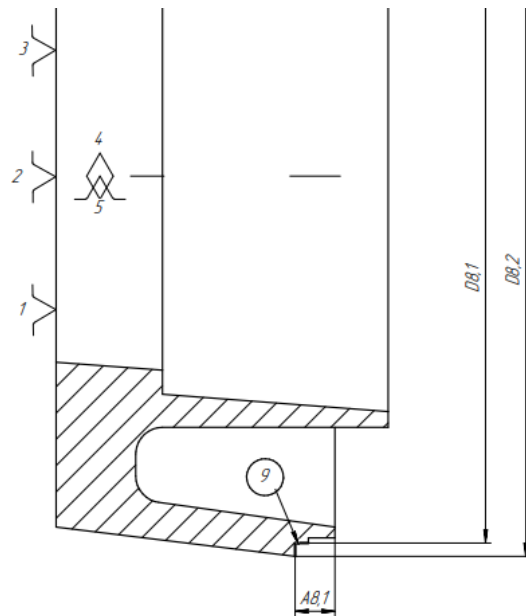
Проточить поверхность 7, выдерживая размеры D6.1, D6.2, D6.3, A6.1, A6.2, и радиус скругления R1.



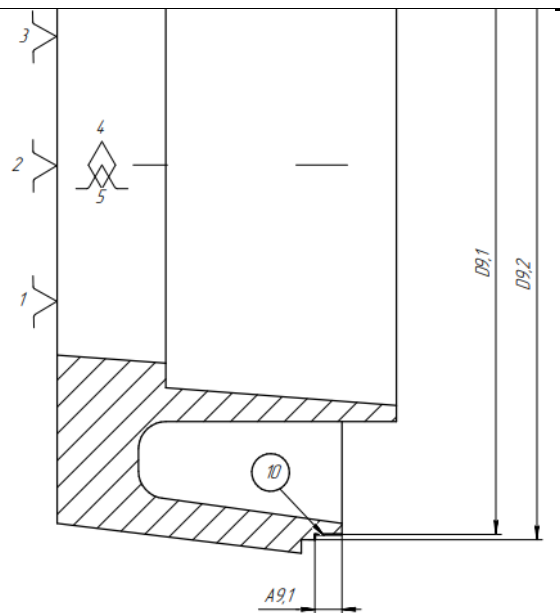
Проточить поверхность 8,
соблюдая размеры D7.1, D7.2, A7.1.



Точить поверхность 9,
соблюдая размеры D8.1, D8.2, A8.1.



Точить поверхность 10,
соблюдая размеры D9.1, D9.2, A9.1.



ВЫВОДЫ

В ходе выполнения работы установлено:

1. Процесс изготовления заготовки рыльной части фурмы методом электронно-лучевой проволочной аддитивной технологии из меди позволяет получить изделие с градиентной структурой материала, что повышает теплостойкость детали в этой зоне при работе в заданных условиях.

2. Стратегия сканирования периметра заготовки с последующим заполнением основного объема показала наименьшее количество пор и дефектов у образцов изделия. Отклонение геометрии образцов полученных по данной стратегии сканирования получились минимальными.

3. В первых слоях, наплавленных на подложку происходит изменение структуры материала изделия вследствие перемешивания компонентов медной проволоки и стальной подложки. Предел прочности на растяжение в этой зоне детали составляет 420МПа, по мере удаления от подложки предел прочности уменьшается и в остальном объеме детали находится на уровне предела прочности литой меди.

4. Заготовка, полученная методом электронно-лучевой аддитивной технологии, удовлетворяет заявленным требованиям заказчика, но качество конечного изделия может быть улучшено.

5. После механической обработки обнаружены незначительные межкристаллитные трещины, угол наклона которых соответствует углу наклона столбчатых зерен, формирующихся в процессе печати. Необходимо провести дальнейшее исследование параметров печати влияющих на трещинообразование в получаемых по данной технологии образцах изделий.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4АМ01		Захаревич Иван Васильевич	
Школа	ИШ НПТ	Отделение (НОЦ)	ОМШ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Совершенствование способа изготовления рыльной части фурмы	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <p>-Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>-Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Объектом исследования является разработка крупногабаритных изделий из меди, Область применения – металлургическое производство.</p> <p>Рабочая зона: лаборатория.</p> <p>В лаборатории площадью 40м².</p> <p>Перечень оборудования: компьютер, компьютерный стол, стул, микроскоп.</p> <p>Рабочий процесс связан с исследованием структуры получаемых образцов с помощью микроскопа.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</p> <p>-специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>-организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>По данной теме рассматриваются следующие документы:</p> <p>1) - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).</p> <p>2) СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение</p> <p>3) СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания</p> <p>4) СП 2.4.3648-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения,отдыха и оздоровления детей и молодежи".</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <p>-Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>При проведении исследования возможны проявления следующих вредных факторов.</p> <p>- Отклонение показателей микроклимата</p> <p>- Превышение уровня шума;</p>

-Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора	- Недостаточная освещенность рабочей зоны; - Монотонность работы При проведении исследования возможны проявления следующих опасных факторов: - электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	Воздействие на литосферу: утилизация люминесцентных ламп
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	Возможные ЧС. При проведении исследований существует вероятность появления пожара. Наиболее типичная ЧС. Пожар.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.2022

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		14.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Захаревич Иван Васильевич		14.03.2022

2 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности в России считается одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала, что неразрывно связано с решением задач по улучшению условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности.

Исследование проводилось в Институте Физики Прочности и Материаловедения ИФПМ со РАН. Образцы полученные из меди марки М1 методом электронно-лучевой проволочной аддитивной технологией.

Суть процесса электронно-лучевой проволочной технологии состоит в нанесении на подложку расплавленного металла, получаемого плавлением электронным лучом подаваемого в зону печати филамента в виде металлической проволоки/прутка диаметром 1.6мм из меди марки М1. Изделие изготавливается послойно путем последовательного нанесения на нижележащий слой материала необходимого количества слоев определенной толщины.

Фурмы доменных печей работают в тяжелых условиях сложного напряженно- деформированного состояния. Это обусловлено существенной разницей температур горячего воздуха и охлаждающей воды, влиянием температурных напряжений и разницей давлений, прокачиваемых через фурмы воды и воздуха. Вследствие этого, возникает необходимость оптимизации конструкций фурм с целью повышения надежности их работы и увеличения срока службы.

Макроструктура образцов исследовалась на оптическом электронном микроскопе Альтами МЕТ-1С, на основе полученных изображений с микроскопа составлялось панорамное изображение градиентной макроструктуры образца с помощью персонального компьютера.

В результате экспериментов была выбрана стратегия сканирования для получения экспериментальных блоков из меди. В дальнейшем была изучена макроструктура экспериментальных блоков, и выявлено наличие градиентной структуры. По результатам данных исследований производилась отработка и совершенствование метода получения рыльной части фурмы.

2.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

2.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно трудовому законодательству, в РФ регламентируется 8-ми часовой рабочий день. Во время рабочего дня отводится специальные промежутки времени для перерывов на отдых и питание. Продолжительность перерывов на отдых и питание составляет от 30 до 60 мин.

К самостоятельной работе с оборудованием допускаются сотрудники ИФПМ СО РАН и других научно-исследовательских организаций сибирского региона РФ, а также аспиранты, студенты, работающие в этих организациях. Для получения допуска к самостоятельной работе работник должен ознакомиться с правилами работы на оборудовании сдать экзамен.

В соответствии с инструкцией по охране труда при работе с лабораторным комплексом в ИФПМ СО РАН к работе с электронным оборудованием допускаются лица (сотрудники Института, аспиранты, студенты и прикомандированные лица) не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний и прошедшие инструктаж (не реже 1 раза в год).

2.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Нет в

задании Рабочее место с дисплеем обеспечивает оператору возможность удобного выполнения работ в положении сидя и не создаст перегрузки костно-мышечной нет в задании

Основные требования к размерам и конструкции рабочего стула в зависимости от вида выполняемых работ установлены в ГОСТ 12.2.032—78 и ГОСТ 21889-76. Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т. д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Компоновка рабочих столов, стеллажей и другой мебели подобрана таким образом, чтобы не создавать заторов и препятствий при эвакуации людей из помещения во время возникновения чрезвычайных ситуаций.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 рабочее место должно быть по высоте таким, чтобы при выполнении исследований и проведении расчетов, и обработке данных не было необходимости сгибать корпус или приседать.

2.2 Производственная безопасность

В данном разделе был проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований в лаборатории. Для идентификации потенциальных факторов был использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [21].

2.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Недостаточная освещенность рабочего места	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение
2. Повышенная или пониженная температура рабочей зоны	Требования к микроклимату устанавливаются согласно СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
3. Перенапряжение анализаторов, вызванное информационной нагрузкой	СП 2.4.3648-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи".
4. Монотонность работы	ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы
5. Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

2.2.2 Недостаточная освещенность рабочего места

Недостаточное освещение низкого качества способствует утомляемости зрения, что способствует его снижению. Источниками вредного фактора

воздействия могут служить недостаточное количество естественного освещения; слишком интенсивное или недостаточное искусственное освещение. На рабочей поверхности необходимо отсутствие резких теней, наличие которых создаёт неравномерно освещённые рабочие поверхности и способствует искажению размеров и форм объектов различия.

Согласно нормам освещённости, на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении в лаборатории требуется создать освещённость $E=200$ лк. [22].

Недавно побеленные стены с окнами обладают коэффициентом отражения, без штор $\rho_c=50\%$, для недавно побеленного потолка $\rho =70\%$. K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и прочее, т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли, $K_3=1,6$ (помещения с малым выделением пыли); Z – коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Рабочая зона находится в лаборатории с размерами: длина помещения $A=8$ м, ширина $B = 5$ м, высота $H=3$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_{pn}=0,65$ м. В данной рабочей зоне размещены лампы белого света ЛБ, со световым потоком $\Phi_{ЛБ}=2800$ Лм. Светильники длиной 1227 мм, шириной – 265 мм и высотой 155 мм имеют две люминесцентные лампы типа ОДОР-2-40, мощностью 40 Вт.

Расстояние светильников от перекрытия $h_c=0,3$ м. Высота подвеса

$$h_n = H - h_c = 3 - 0,3 = 2,7 \text{ м.}$$

Высота рабочей поверхности над полом $h_{pn}=0,65$ м. Расчетная высота

$$h = h_n - h_{pn} = 2,05 \text{ м.}$$

Площадь помещения: $S = A \times B = 40 \text{ м}^2$.

Расстояние между соседними светильниками определяют по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,05 = 2,255 \text{ м} \quad (1)$$

Оптимальное расстояние l от крайнего ряда светильников до стены рассчитывается по формуле. В данном случае светильники расположены по сторонам квадрата.

$$l = \frac{L}{4} = \frac{2,255}{4} = 0,563 \text{ м} \quad (2)$$

Количество рядов светильников с люминесцентными лампами определяется по формуле:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{\left(\frac{B-3L}{4}\right)}{L} + 1 = \frac{\left(\frac{5-3 \cdot 2,255}{4}\right)}{2,255} + 1 \approx 2 \quad (3)$$

где $n_{\text{ряд}}$ – количество рядов; B – ширина помещения, м; L – расстояние между рядами светильников, м. Количество светильников в ряду определяется по формуле:

$$n_{\text{св}} = \frac{\left(\frac{A-3L}{4}\right)}{l_{\text{св}}+0,5} + 1 = \frac{\left(\frac{8-3 \cdot 2,255}{4}\right)}{1,277+0,5} + 1 \approx 4 \quad (4)$$

где $n_{\text{св}}$ – количество светильников в ряду; A – длина помещения, м; $l_{\text{св}}$ – длина светильника, м.

Общее количество светильников с люминесцентными лампами в помещении определяется по формуле:

$$N = n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 8 \quad (5)$$

где N – общее количество светильников; $n_{\text{ряд}}$ – количество рядов;

$n_{\text{св}}$ – количество светильников в ряду.

Размещаем светильники в 3 ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильников типа ОДОР мощностью 40 Вт (с длиной 1,227 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 0,655 м. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рисунок 34).

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 16$.

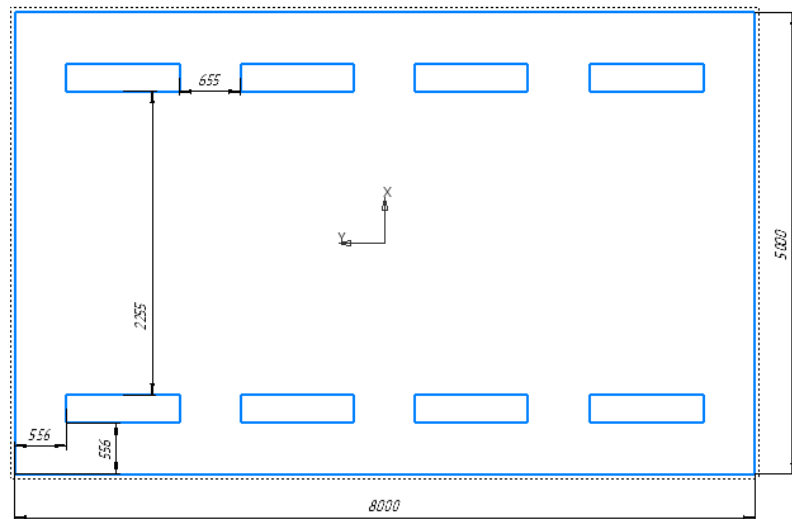


Рисунок 34 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Находим индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{40}{2,05 \cdot (8+5)} = 1,5 \quad (6)$$

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность.

Для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при индексе помещения $i=1,5$ коэффициент использования светового потока равен:

$$\eta = 0,37\%.$$

Потребный световой поток ламп в каждом из рядов рассчитывается по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n S K_3 Z}{N_l \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 40 \cdot 1,6 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,37} = 2400 \text{ Лм} \quad (7)$$

где E_n – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95 (наименьший размер объекта 1 мм); S – площадь освещаемого помещения, м^2 ;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника; Z – коэффициент неравномерности освещения.; N – число ламп в помещении, η – коэффициент использования светового потока.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$\frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% = \frac{2800 - 2400}{2800} \cdot 100\% = 14,3\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 14,3\% \leq +20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Определяем электрическую мощность осветительной установки.

$$P = 16 \cdot 40 = 640 \text{Вт.}$$

2.2.3 Пониженная или повышенная температура воздуха рабочей зоны

Неблагоприятное сочетание параметров микроклимата может вызвать перенапряжение механизмов терморегуляции, перегрев или переохлаждение организма. Санитарными нормами микроклимата производственных помещений СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» установлены оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха с учетом тяжести выполняемой работы и периодов года для категории 1а легких работ (таблица 2). К таковым относятся работы, которые выполняются сидя и не требующие высокого физического напряжения.

Таблица 2 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочем месте производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	22–24	40-60	0,1
Теплый	23–25		0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений [23]. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – от 20 до 25 °С, зимой – от 13 до 15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери.

2.2.4 Перенапряжение анализаторов, вызванное информационной нагрузкой

Работа на ПК сопровождается постоянным и значительным напряжением функций зрительного анализатора. Т. о. длительное пребывание за компьютером может привести к перенапряжению зрительной системы: пелена перед глазами, воспаление и покраснение глаз, а также повышенная слезоточивость и чувствительность к яркому свету и т. д [24].

Чтобы не допустить возникновения подобных симптомов необходимо правильно организовать свое рабочее место. Оно должно быть хорошо и

равномерно освещено, лучше сидеть к окну боком. Также на окне должны быть жалюзи, чтобы контролировать интенсивность освещения, т. к. при слишком ярком свете глаза устают быстрее [25].

Рекомендуется работать за качественным плазменным монитором с большой диагональю с частотой мерцания от 60 до 100 Гц. Необходимо настроить под себя яркость и контрастность изображения ПК, отрегулировать монитор под рабочую позу: цент монитора должен быть на (10–20) см ниже глаз работника. Расстояние до экрана от глаз должно составлять не менее 60 см. Необходимо делать паузы во время работы каждые 20 минут. Рекомендуется использовать специальные очки для работы за компьютером, они блокируют синий спектр излучения, источником которого является монитор, и позволяют снизить нагрузку на глаза.

2.2.5 Монотонность работы

При подготовке шлифов рабочий выполняет монотонную работу, связанную с однообразным набором последовательных действий, которые могут вызвать возникновение пере утомляемости. Монотонный труд – это свойство некоторых видов труда, требующих от человека длительного выполнения однообразных действий. Монотония – особый вид функционального состояния организма человека, развивающегося в процессе монотонной работы. Основными показателями монотонного труда являются:

- структурное однообразие, простота рабочих операций;
- высокая степень повторяемости;
- строго определенный регламент действий;
- ограниченное пространство рабочих действий;

Монотонность труда сопровождается у многих людей рядом неприятных субъективных ощущений. Субъективные ощущения проявляются в падении интереса к выполняемой работе, невнимательности, сонливости, чувстве усталости и т.п.

При разработке мер профилактики развития состояния монотонии необходимо учитывать основные психофизиологические явления, возникающие в организме работающих в условиях монотонного труда и во многом определяющие его отрицательные последствия [26].

Поэтому разрабатываемые мероприятия должны быть направлены на:

- совершенствование технологических процессов с целью уменьшения влияния монотонности труда;
- обеспечение оптимальной информационной и двигательной нагрузок;
- увеличение эмоционального тонуса и мотивации.

Все это достигается как оптимизацией содержания и условий трудовой деятельности, так и непосредственным воздействием на функциональное состояние организма человека.

2.2.6 Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Источниками поражения электрическим током являются неисправное электрооборудование в лаборатории и несоблюдение правил техники безопасности при работе с электрооборудованием. Степень воздействия электрического тока на организм человека определяется напряжением и силой тока, способом прохождения тока по телу, общим состоянием здоровья пострадавшего и тем насколько своевременно была оказана первая помощь.

Безопасной для человека является величина переменного тока – 10мА, постоянного – 50мА, безопасное напряжение 12В [27]. Электротравма опасна прежде всего воздействием тока на сердечно-сосудистую систему. Напряжение от 36 вольт и выше вполне способно вызвать остановку сердца или дыхания, однако убивает не напряжение, а сила тока. Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. без повышенной опасности (сухое, хорошо

отапливаемое, помещение с ток непроводящими полами, с температурой от 18 до 20 °С, с влажностью от 40 до 50%).

Категория персонала – I (не электротехнический персонал), т.е. это люди, прошедшие только первичный инструктаж. Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены.

2.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды представляет собой комплекс мер, направленный на ограничение негативного воздействия человеческой деятельности на природу. Одним из таких факторов является неподобающая утилизация люминесцентных ламп, используемых в системе освещения рабочего помещения. Люминесцентные лампы содержат от 3 до 5 мг ртути и относятся к 1 классу токсичных отходов [28]. Следовательно, такого типа лампы требуют особые условия хранения, эксплуатации и утилизации. ООО Научно-производственное предприятие «ЭКОТОМ» осуществляет бесплатные сборы, обезвреживание и транспортировку опасных отходов отработанных люминесцентных ламп.

В лаборатории в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Пыль – это вид аэрозоля, дисперсная система, состоящая из мелких твердых частиц, находящихся во взвешенном состоянии в газовой среде. Особенную опасность представляет медная пыль предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязнителя в воздухе рабочей зоны варьируется в пределах от 0,5 до 1 мг/м³.

Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяются фильтры.

Вследствие использования работниками душевых, туалетов, специальных веществ для обработки материалов, а также средств хозяйственного назначения, образуются жидкие отходы для удаления которых

применяют канализационную систему. Система канализации подсоединена к городской канализационной сети, поэтому полная очистка сточных вод на нем не проводится.

2.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

2.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Одним из наиболее распространенных и опасных видов техногенных ЧС является пожар. Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага. Пожары причиняют значительный материальный ущерб, в ряде случаев вызывают тяжелые травмы и гибель людей. основополагающими законодательными актами в области пожарной безопасности являются Федеральные законы "О пожарной безопасности" и "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности", определяющие общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации.

Технический регламент о требованиях пожарной безопасности регламентирует классификацию зданий по степени огнестойкости, конструктивной и функциональной пожарной опасности. По пожарной опасности помещение и здание относится к классу Д, т.е. к помещениям, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

2.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера. Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и т. д. Для

устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия [29]:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Основными видами защиты различных объектов от пожаров, являются средства сигнализации и пожаротушения. В рассматриваемом здании предусмотрена электрическая пожарная сигнализация, позволяющая быстро и точно указать место возникновения пожара. Сигнализация обеспечивает автоматический ввод в действие предусмотренных на объекте средств пожаротушения и дымоудаления.

В здании существуют пожарные краны. В качестве первичных средств пожаротушения используются углекислотные огнетушители ОУ-5. Преимущества углекислотных огнетушителей: эффективность тушения жидких и газообразных веществ и электроустановок под напряжением до 1000 В; отсутствие следов тушения; диапазон рабочих температур от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, отключить электрооборудование, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

Заключение по разделу социальная ответственность

Значение всех производственных факторов на изучаемом месте соответствует нормам, которые были продемонстрированы в данном разделе.

Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токопроводящими полами, с температурой от 18 до 20 °С, с влажностью от 40 до 50%).

Категория персонала – I (не электротехнический персонал), т.е. это люди, прошедшие только первичный инструктаж. Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены.

Технический регламент о требованиях пожарной безопасности регламентирует классификацию зданий по степени огнестойкости, конструктивной и функциональной пожарной опасности. По пожарной опасности помещение и здание относится к классу Д, т.е. к помещениям, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Особенную экологическую опасность представляет медная пыль. Предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязнителя в воздухе рабочей зоны варьируется в пределах от 0,5 до 1 мг/м. Согласно ГН 2.2.5.3532-18 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".

Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяются фильтры.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ01	Захаревич Иван Васильевич

Школа	ИШНПТ	Отделение	Машиностроение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	05.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ конкретных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности ИП 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта	

4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.22
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н		14.03.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Захаревич Иван Васильевич		14.03.22

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

3.1 Анализ конкурентных решений

В данной выпускной квалификационной работе производится отработка получения рывальной части фурмы методом электронно лучевой проволоочной аддитивной технологии из меди. У данной технологии много конкурентов. В данном случае возьмём электронно – лучевую плавку порошка.

Таблица 3 - Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентно-способность	
		Б _ф	Б _к	К _ф	К _к
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда	0,20	5	5	1	0,4
Удобство эксплуатации	0,13	4	5	0,52	0,39
Простота эксплуатации	0,05	3	4	0,15	0,05
Энергоэкономичность	0,03	3	2	0,09	0,06
Надежность	0,07	4	2	0,28	0,14
Уровень шума	0,11	2	2	0,22	0,11
Безопасность	0,15	4	3	0,6	0,45
Экономические критерии оценки					
Конкурентоспособность	0,07	5	4	0,35	0,28
Уровень проникновения на рынок	0,1	4	4	0,4	0,2
Цена	0,05	3	2	0,15	0,1
Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	5	0,16	0,08
Итого:	1	45	24	3,92	3,48

Расчет конкурентоспособности, на примере актуальности исследования, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i + B_i \quad (8)$$

$$K = (0,2 \cdot 5) + (0,13 \cdot 4) + (0,05 \cdot 3) + (0,03 \cdot 3) + (0,07 \cdot 4) + (0,11 \cdot 2) + (0,15 \cdot 4) + (0,07 \cdot 4) + (0,1 \cdot 1) + (0,05 \cdot 3) + (0,04 \cdot 4) = 3,92$$

где, K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

3.2 SWOT - анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 2

SWOT-анализ – это выявление сильных (S – strenght) и слабых (W – weakness) сторон исследуемого объекта, что описывает внутреннюю среду, а также возможностей (O – opportunities) и угроз (T – troubles) внешней среды.

Таблица 4 - Матрица SWOT

Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
С1. Имеет преимущества, когда необходимо получить деталь минуя стадию разработки техпроцесса	Сл1. Очень дорогостоящее оборудование
С2. Минимальное количество используемого оборудования	Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
С3. Может использоваться для улучшения микроструктурных свойств изделий полученных с помощью аддитивных технологий	Сл3. Вероятность получения брака;
С4. Низкие потери при работе.	
С5. Экологичность технологии.	

<p>Opportunities (возможности) В1. Появление потенциального спроса на новые разработки. В2. Технология получения градиентной структуры получаемого изделия за счет материала подложки. В3. Быстрое внедрение в производство</p>	<p>Threats (угрозы) У1. Отсутствие прототипа научной разработки; У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p>
---	--

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 5-8.

Таблица 5 - Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	-	-	-
	B2	-	-	-	+	+
	B3	+	+	+	-	-

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	-
	B2	-	-	+
	B3	-	+	-

Таблица 7 - Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	+
	У3	-	+	+	-	-

Таблица 8 - Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-
	У2	+	-	+
	У3	-	+	-

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 9.

Таблица 9 - Итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны</p> <p>С1. Имеет преимущества, когда необходимо получить деталь минуя стадию разработки техпроцесса</p> <p>С2. Минимальное количество используемого оборудования</p> <p>С3. Может использоваться для улучшения микроструктурных свойств изделий</p> <p>С4. Низкие потери при работе.</p> <p>С5. Экологичность технологии.</p>	<p>Слабые стороны</p> <p>Сл1. Очень дорогостоящее оборудование</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3. Вероятность получения брака;</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p> <p>В2. Технология получения градиентной структуры получаемого изделия за счет материала подложки.</p> <p>В3. Быстрое внедрение в производство</p>	<p>В1С1 Появление потенциального спроса на новые разработки, которые можно получить, минуя стадию разработки тех процесса</p> <p>В2С4С5 Получение градиентной структуру при низких потерях и экологичности технологии</p>	<p>В1Сл1 Получение спроса на новые разработки, при дорогостоящем оборудовании</p> <p>В2Сл3 Получение градиентной структуры сопровождается вероятностью получения брака</p> <p>В3Сл2. Хотя и внедрение в производство весьма коротко во времени, существует</p>

	V3C1C2C3 Быстрое внедрение в производство, минуя стадию разработки техпроцесса, используя при этом минимальное количество оборудования, с возможностью улучшения структуры материала	проблема в отсутствии квалифицированных кадров
Угрозы: У1. Отсутствие прототипа научной разработки; У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований	У1С1. Отсутствие прототипа, можно упустить; У2С2С4С5 При развитой конкуренции, плюсом является, минимальное количество оборудования, низкие потери экологичность технологии; У3С2С3 Вероятность появления более выгодных предложений, но плюсы технологии остаются неизменными	У1Сл2 Отсутствие прототипа научной разработки, и дороговизна оборудования; У2Сл1Сл3 Развивая конкуренция технологий, дорогостоящее оборудование с вероятностью брака; У3Сл2 Вероятность появления выгодных предложений, с более квалифицированными кадрами.

В результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками.

Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения.

Основные направления повышения конкурентоспособности проекта: проведение дополнительных научных исследований, использование новейшего оборудования и дальнейшее совершенствование отдельных узлов. Основные преимущества данного проекта – универсальность. Получаемая градиентная структура имеет перспективное направление, недостижимое в традиционных методах получения изделий.

Но не смотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе существует вероятность получения брака, так как процесс изготовления требует проведения опытов в целях совершенствования метода получения готовых изделий.

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно - исследовательской работы, приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка материалов	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (9)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i} \quad (10)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k \quad (11)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях.

k – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (12)$$

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году;

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представляются в таблице 11:

Таблица 11 – Расчет временных показателей проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни			
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения НИР	2	3	3	4	2,4	3,4	2,9	3

Продолжение таблицы 11.

3. Обзор научной литературы	-	6	-	9	-	7,2	7,2	11
4. Выбор методов исследования	-	1	-	4	-	2,2	2,2	4
5. Планирование эксперимента	1	5	3	6	1,8	5,4	7,2	11
6. Подготовка материалов	-	4	-	7	-	5,2	5,2	8
7. Проведение эксперимента	-	11	-	16	-	13	13	20
8. Обработка полученных данных	-	7	-	10	-	8,2	8,2	13
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	3	4	2,4	3,4	2,9	5
10. Составление пояснительной записки	-	9	-	12	-	10,2	10,2	15
Итого:	7	49	13	68	9,4	58,2	61,8	96

Примечание: Исп.1 – научный руководитель; Исп.2 – инженер;

Таблица 12 – Диаграмма Ганта.

№ оп.	Виды работы	Исполнитель	Т _к , день	Продолжительность выполнения работ			
				Февраль	Март	Апрель	Май
01	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп. 1	4				
02	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп.1	5				
		Исп.2					
03	Обзор научной литературы	Исп.2	11				
04	Выбор метода исследования	Исп.2	4				
05	Планирование эксперимента	Исп.1	11				
		Исп.2					
06	Подготовка материалов	Исп.2	8				

Продолжение таблицы 12.

07	Проведение эксперимента	Исп.2	20				
08	Обработка полученных данных	Исп.2	13				
09	Оценка правильности полученных результатов	Исп.1	5				
		Исп.2					
10	Составление пояснительной записки	Исп.2	15				



Примечание:  - Научный руководитель  - Инженер

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

3.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

3.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затраты на все материалы

Таблица 13 – Затраты на получение фурмы, путем аддитивной технологии.

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед. (кг), руб	Итого затраты, руб
Лист металла, диаметром 500мм, толщиной 5мм	шт.	4	120	480
Медная проволока диаметром 1.6мм	шт.	50	600	30000
Наушники шумоподавлением	шт.	1	500	500
Очки защитные ударопрочные	шт.	1	200	200
Итого:				31180

3.4.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом: Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (13)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет. Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (14)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 14 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	H_A , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Оборудование для проволочной электронно – лучевой аддитивной технологии	1	15	0,12	7	10 000 000	700 0
2	ПЭВМ	1	5	4	20	25000	1 667
Итого:							8 667

3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (15)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – средняя заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 13).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{52650 \cdot 10,3}{261} = 2077,8 \text{ руб}, \quad (16)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня - $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

- при отпуске в 56 раб. дня - $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{30322,5 \cdot 11,2}{243} = 1397,6 \text{ руб}, \quad (17)$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) k_p$$

$$Z_m = 27000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 52650 \text{ руб}. \quad (18)$$

- для инженера:

$$Z_m = 15500 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 30322,5 \text{ руб}. \quad (19)$$

где Z_m – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).\

Таблица 15 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	52/5	18/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	261	243

Таблица 16 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$	$K_{пр}$	K_d	K_p	Z_m	$Z_{дн}$	$T_{раб}$	$Z_{осн}$
Руководитель	27000	1,2	1,1	1,3	52 650	2077,8	9,4	1531,3
Инженер	15550	1,2	1,1	1,3	30 322,5	1 397,6	58,2	81 340,3
Итого:								100871,6

3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

- для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 19531,3 = 2929,7 \text{ руб.} \quad (20)$$

- для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 81340,3 = 12201,1 \text{ руб.} \quad (21)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Таблица 17 - Расчет дополнительной заработной платы

	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$
Руководитель	19 531,3	2 929,7
Инженер	81 340,3	12 201,1
Итого		15 130,8

3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (22)$$

где, $K_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (100871,6 + 15130,8) = 34800,7 \text{ руб}$$

3.4.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{пр}}, \quad (23)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 163085,1 = 26093,6 \text{ руб}$$

3.4.7 Бюджетная стоимость НИР

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости проведения исследований. Все данные сведены в таблицу 18.

Таблица 18 - Группировка затрат по статьям

Наименование статей затрат	Сумма, руб	
	Текущий проект	Аналог
Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	31180	26035
Затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ	8667	23450,1
Основная заработная плата	100871,6	100871,6
Дополнительная заработная плата	15130,8	15130,8
Отчисления на социальные нужды	34800,7	34800,7
Накладные расходы	26093,6	28142,1
Итоговая плановая себестоимость	216743,7	228430,8

3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения

интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

3.5.1 Интегральный показатель финансовой эффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Определим значение показателя для разрабатываемой технологии и аналогов, приведенных в пункте 2.1 данной работы.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{Pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (24)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{Pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 216743,7 \text{ руб.}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 228430,8 \text{ руб.}$$

$$\Phi_{\text{max}} = 319400,8 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{тех.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тех.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{216743,7}{319400,8} = 0,68$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{тех.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тех.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{228430,8}{319400,8} = 0,72$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки проектируемый вариант считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Рыночная цена данного метода упрочнения на рынке 319 400,8 руб.

Разрабатываемая технология подразумевает уменьшение количества отходов и количества комплектующих.

3.5.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pt}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 19)

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования	Весовой коэффициент	Текущий проект	Исп.2
Критерии	параметра		
1. Безопасность при использовании установки	0,25	4	4
2. Стабильность работы	0,25	5	4
3. Удобство в эксплуатации	0,3	5	3
4. Энергосбережение	0,1	4	5
5. Материалоёмкость	0,1	5	3
ИТОГО	1	4,65	3,7

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,65$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 = 3,7$$

3.5.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр.}i}} \quad (25)$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{4,65}{0,68} = 6,8, I_{\text{исп.2}} = \frac{3,7}{0,72} = 5,1$$

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_i}{I_1} \quad (26)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{6,8}{6,8} = 1, \mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{5,1}{6,8} = 0,75$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 20).

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,68	0,72
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	6,8	5,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,75

Выводы по разделу финансовый менеджмент

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. По результатам проведенного анализа конкурентных технических решений можно отметить, что является наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и студента, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 96 день, общее количество рабочих дней, в течение которых работал студент – 61.8 дня и общее количество рабочих дней/

3. Составлен бюджет исследования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляет 216743,7 руб.;

4. По интегральным финансовым показателям можно отметить, что данное научное исследование является эффективным, и в этой связи поддержка научного исследования может являться грантом на выполнение проектов фундаментальных научных исследований. Данный способ является самым быстрым и простым для реализации данного научного исследования.

Все, вышеперечисленные технико-экономические показатели проекта, позволяют сделать вывод о том, что данное исследование, Совершенствование способа получения рыльной части фурмы выгодно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении : пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
2. И.Ю. Бакеев, Ю.А. Бурачевский, В.А. Бурдовицин, И.В.Осипов, А.Г. Рау, Г.В. Семенов. Установка электронно-лучевого выращивания металлических изделий. «ТУСУРy – 55 лет: Некоторые итоги».2017, 76с.
3. Д.Н. Трушников, Ю.Д. Щицын, Д.С. Белинин. Послойный синтез материалов в вакууме на основе плавления присадочной проволоки электрической дугой: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, журнал «Аддитивные технологии».2018, 24с.
4. Григорьев, С. Н. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом / С. Н. Григорьев, И. Ю. Смуров // Инновации : журн. — 2013. — Т. 10, № 180. — С. 76— 82. — ISSN 2071–3010
5. Методы производства // URL: <https://3dmf.ru/wiki/metodyi-proizvodstva.html> (дата обращения: 23.12.2020).
6. Аддитивные технологии: что это, плюсы и минусы // URL: <https://plusimiusi.ru/additivnye-tehnologii-chto-eto-plyusy-i-minusy/> (дата обращения: 23.12.2020).
7. Технологии аддитивного производства // URL: <https://www.qbed.space/knowledge/blog/additive-manufacturing-technologies> (дата обращения: 23.12.2020).
8. Herzog D. Additive manufacturing of metals / D. Herzog, V. Seyda, E. Wycisk, C. Emmelmann // Acta Materialia. – 2016. – V.117. – P. 371-392.
9. Металлические материалы для аддитивных технологий // URL: <https://extxe.com/3715/metallicheskie-materialy-dlja-additivnyh-tehnologij/> (дата обращения: 23.12.2020).

10. DebRoy T. Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties / T. DebRoy H.L. Wei, J.S. Zuback, T. Mukherjee, J.W. Elmer, J.O. Milewski, A.M. Beese, A. Wilson-Heid, A. De , W. Zhang // Progress in Materials Science. – 2017. – V.92. – P. 112-224.
11. Эффективная 3D-печать медью требует перехода на зеленые лазеры // URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/effective-3d-printing-copper-requires-green-lasers/?commentId=280821> (дата обращения: 23.12.2020).
12. Медь // URL: <https://yandex.ru/turbo/mineralpro.ru/s/minerals/copper/> (дата обращения: 23.12.2020).
13. Akerfeld P. Influence of microstructure on mechanical properties of laser metal wire-deposited Ti-6Al-4V / P. Akerfeld, M-L. Antii, R. Pederson // Material Science and Engineering: A. – 2016. – V.674. – P. 428-437.
14. Osipovich K. S. Peculiarities of Structure Formation in Copper/Steel Bimetal Fabricated by Electron-Beam Additive Technology / K. S. Osipovich, A.V. Chumaevskii, A.A. Eliseev, K.N. Kalashnikov, E.A. Kolubaev, V.E. Rubtsov, E.G. Astafurova // Russian Physics Journal. – 2019. – 62. – P. 1486-1494.
15. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди / С.В. Шухардин. под ред. С.В. Шухардиню –Москва. : Изд-во «Наука», 1979. – 247с.
16. Tang Y. Direct laser sintering of a copper-based alloy for creating three-dimensional metal parts / Y. Tang, H.T. Loh, Y.S. Wong, J.Y.H. Fuh, L. Lu, X. Wang // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – V.140. – P. 368-372.
17. Bhattacharya S. Microstructural evolution and mechanical, and corrosion property evaluation of Cu-30Ni alloy formed by Direct Metal Deposition process / S. Bhattacharya, G.P. Dinda, A.K. Dasgupta, H. Natu, B. Dutta, J. Mazumder // Journal of Alloys and Compounds. – 2011. – V.509. – P. 6364-6373.
18. Wei H.L. Origin of grain orientation during solidification of an aluminum alloy / H.L. Wei, J.W. Elmer, T. Debroy // Acta Materialia. – 2016. – V.115. – P. 123-131.
19. Khairallah S.A. Laser powder-bed fusion additive manufacturing: Physics of complex melt flow and formation mechanisms of pores, spatter, and

denudation zones. / S.A. Khairallah, A.T. Anderson, A. Rubenchik, W.E. King // Acta Materialia – 2016. – V.108. – P. 36-45.

20. Copper and copper alloys / edited J. R. Davis; prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee. p. cm. — (ASM specialty handbook) 1. Copper—Handbooks, manuals, etc. 2. Copper alloys—Handbooks, manuals, etc. I. Davis, J.R. (Joseph R.) II. ASM International. Handbook Committee. III. Series. TA480.C7 C714 2001 620.1'82—dc21 2001022956.

21. СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи».

22. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*».

23. Томакова И. А., Томаков М. В. Организационный микроклимат как фактор, влияющий на безопасность труда // Актуальные проблемы социально-гуманитарного и научно-технического знания. – 2016. – No. 1. – С. 18–22.

24. Куклев В. А., Герасимова Э. Б. Программно-информационное обеспечение оценки условий труда в дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» // Электронное обучение в непрерывном образовании. – 2016. – No. 1. – С. 1120–1125.

25. Кучеренко С. В., Кучеренко Н. В. Оценка безопасности и экологичности при работе с пэвм в условиях типового офиса // Наука, 99 образование, производство в решении экологических проблем. – 2020. – С. 32–37.

26. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы

27. Алексеева М. А., Донцов С. А., Козлов А. С. Современные способы обеспечения безопасности и сохранения здоровья работникам // Проблемы безопасности российского общества. – 2017. – No. 2. – С. 9–11.

28. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

29. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Приложение 1

(справочное)

Improvement of the manufacturing method of the tuyere's snout part

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Захаревич Иван Васильевич		01.06.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В.С.	к.т.н.		01.06.2022

Консультант – лингвист кафедры

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сыскина А.А.	к.ф.н		01.06.2022

Introduction

Additive manufacturing (AM) covers an increasing range of tasks in industry. Currently, common additive manufacturing technologies are electron beam melting (EBM), selective laser melting (SLM), direct energy deposition (DED), wire and arc additive manufacturing (WAAM) and electron beam additive manufacturing (EBAM). The first two technologies refer to the powder types of AM, and they have advantages related to the production of multicomponent systems, such as high-entropy alloys. Therefore, the most productive AM technologies are considered to be DED, WAAM and EBAM. EBAM is based on melting a metal wire with an electron beam in a vacuum. The product is printed layer by layer until it is fully formed. EBAM technology is effective for the production of metal parts with complex geometries and low material costs. The positive aspects of the technology include printing directly in a vacuum chamber, which makes it possible to work with materials that are sensitive to oxidation. Electron beam printing is suitable for most materials, including the laser radiation of highly reflective alloys, such as Al and Cu.

Cu is one of the most widely used constructional materials due to its excellent electrical conductivity, thermal conductivity, ductility, machinability and formability. Due to this, Cu has a wide range of practical applications, and it is used in various engineering industries, such as in the automotive, aerospace, electrical power, electronics and defense industries, etc. The high thermal conductivity of copper and copper alloys allows for the manufacture of various components, such as heat exchangers (combustion chambers for liquid rocket engines), power units, springs and bearings and electronic connectors in the above sectors. These high heat flux environments require a high-strength, high-conductivity alloy to properly cool the thrust chamber walls with high-pressure rocket fuel or an oxidizer. The higher thermal conductivity of pure copper leads to faster heat dissipation and a higher localized temperature gradient, which causes the twisting and delamination of the deposited layer. The high thermal conductivity of copper quickly dissipates heat away from the molten pool, causing temperature gradients and distortions. This is complicated by a significant difference in the thermophysical properties of the

compacted material and the surrounding powder layer. Superior electrical conductivity means that copper alloys are widely used in the manufacture of thermal transformers, radiators, combustion chambers and other components because of their superior electrical and thermal conductivity. The higher reflectivity of pure copper reduces the amount of energy available for melting, and makes it detrimental to laser optics. The tendency of Cu to form oxides during processing leads to the agglomeration and reduced fluidity of molten copper, resulting in the reduced wettability of pure Cu due to copper oxide formation. Copper is used in many applications due to its high thermal conductivity ($401 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{grad})$) and electrical conductivity ($58 \text{ MSm}/\text{m}$). In addition, copper has high corrosion resistance, good machinability and a low enough price, which makes it widely used in electrical and mechanical engineering industries. Air tuyeres are one of the most important elements of blast furnace design that determine the efficiency of its operation. The tuyere is designed for blast furnace blowing with gas (air, oxygen or other) to ensure fuel combustion. In this case, additive technologies are effective in terms of material and energy consumption for tuyere production. In addition, high cooling rates can lead to small grain sizes in the structural parts, resulting in improved mechanical properties.

The microstructure during solidification in manufacturing is determined by the temperature gradient, solidification rate, cooling and other material-related parameters. The small size of the melt pool, the strong recirculation motion of the liquid alloy caused mainly by Marangoni convection, heat source movement and rapid temperature changes make it difficult to accurately measure the temperature gradient and other important variables. Consequently, many AM processes lead to the formation of metastable microstructures and non-equilibrium compositions of the resulting phases, which may even vary for each layer of the deposited material. This makes the modeling of microstructures and compositions in fabricated AM parts difficult and complicated. Obviously, the temperature gradient depends on a number of process parameters, such as energy density, layer thickness and preheating

temperature. In this regard, solidification occurs with the formation of a cellular dendritic structure. Each new layer to be deposited partially remelts already solidified layers, which act as substrates. Consequently, the new layer is formed according to the same crystalline orientation as the underlying, already solidified layers, although the growth direction may change. This principle is used to form the crystallographic texture or, in other words, epitaxial growth.

The grain structure and crystallographic texture of the component depend on the melting and crystallization of the melt pool. The shape of the melt pool in this case varies depending on the printing parameters, and can be oval or curved on the top surface and semicircular or keyhole-shaped in cross-section, depending on the intensity of the heat source and the rate of movement. Growth occurs during solidification because of previously deposited layers, and this determines the crystallographic essence of the structure through the partial or complete melt feedback of the previously formed layer. In addition, crystallographic texture is also determined by the scanning strategies used during sample fabrication. In the case of IN718, it was observed that the texture was designed with a unidirectional scanning strategy, whereas the rotated cube texture was designed with bidirectional scanning. These textures are a consequence of the compromise between the directions of easy grain growth and the directions of maximum heat flux near the boundaries of the melt pool. Growth is preferable only when the direction of growth coincides with the direction of maximum heat flux. Such features of crystallization can be caused by the parameters of technological processes of manufacturing, and the heterogeneity of heat removal from the billet during additive growth. Typically, columnar grains normally grow along the boundary of the melt pool, where there is no significant supercooling. Columnar grains grow as the bottom of the melt pool and move upward during the subsequent cooling process. These grains grow continuously by shifting the direction of their growth according to the temperature gradient. Thus, macroscopically, it appears that the curved columnar grains "stretch" behind the curvature of the trailing edge of the melt pool.

However, little is known about the use of crystallographic texture and grain size as a tool for designing a functional microstructure, and even less is known about the relationship between the preferred anisotropy, microstructure and mechanical properties. Therefore, the goal of this work was to obtain large-sized workpieces to investigate texture formation and its effect on the anisotropy of mechanical properties under tension in different directions relative to growth.

Manufacturing copper blocks by additive electron-beam technology

Large-sized samples of C11000 copper were obtained through electron beam wire-feed additive manufacturing with experimental equipment at the Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia) (Figure 1)

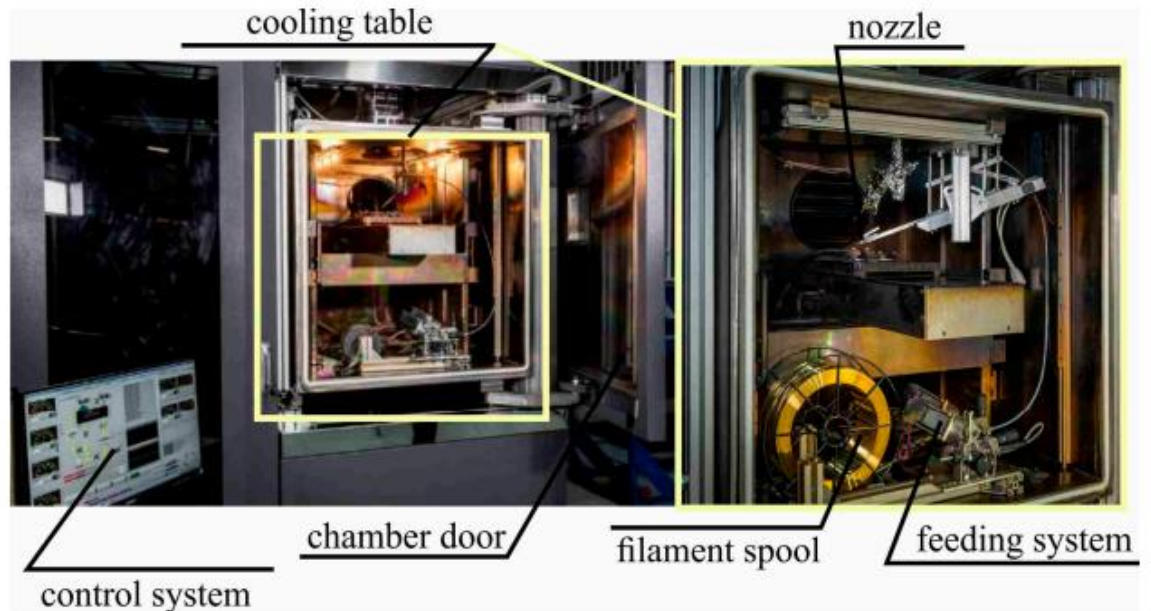


Figure 1. Additive electron beam printing setup with wire filament.

An AISI 304 stainless steel substrate and technical grade C11000 copper wire were used to obtain the samples (Table 1). The diameter of the copper wire was 1.6 mm.

Table 1. Chemical composition of the substrate and filaments used in wire-feed electron beam additive manufacturing (wt. %).

	Material	Fe	Cu	Ni	Cr	Mn	Si	C
Substrate	AISI 304	Bal.	to 0.3	9–11	17–19	to 0.2	to 0.8	to 0.8
Filaments	C11000	to 0.005	Bal.	to 0.002	–	–	–	–

The steel substrate was fixed on a three-axis water-cooled table. An electron beam was used to form a melt pool. The wire was fed through a nozzle into the melt pool. The voltage during printing was constant at $U = 30$ kV. For the first layers of the large-sized copper samples, the current and printing speed were $I = 90$ A and $v_I = 300$ mm/min, respectively. Further, as the height of the large samples increased, the current and printing speed were changed to $I = 60$ A and $v_{II} = 400$ mm/min, respectively. The wire feed rate was 1.5–2.0 mm/min, depending on the printing speed. The width of the melt pool was 6 mm and the distance between passes was 5 mm. The formation of the melt pool was performed by sweeping an electron beam, in the form of a circle with a diameter of 5 mm, at a frequency of 1 kHz. The thickness of the deposited layer was 1 mm. Large copper blocks were obtained according to three types (A, B and C) of scanning strategy (Figure 2). Blocks of type A were obtained by printing with the same scanning direction for any layer along the Z axis, i.e., along the direction of large-sized sample growth. The OX and OY axes are related to scanning directions 1 and 2, respectively. Strategy 1 (type A) involves a line being interrupted by alternating forward and backward passes without changing the printing direction on each layer along the OX and OY axes. When printing blocks of type B, scanning strategy 2 was used, which involved keeping the pattern along the OY axis, as in strategy 1. However, on each even-numbered layer, a 90° clockwise rotation was performed along the growing direction. In type C blocks, perimeter formation was performed first, followed by filling the inner volume of the layer.

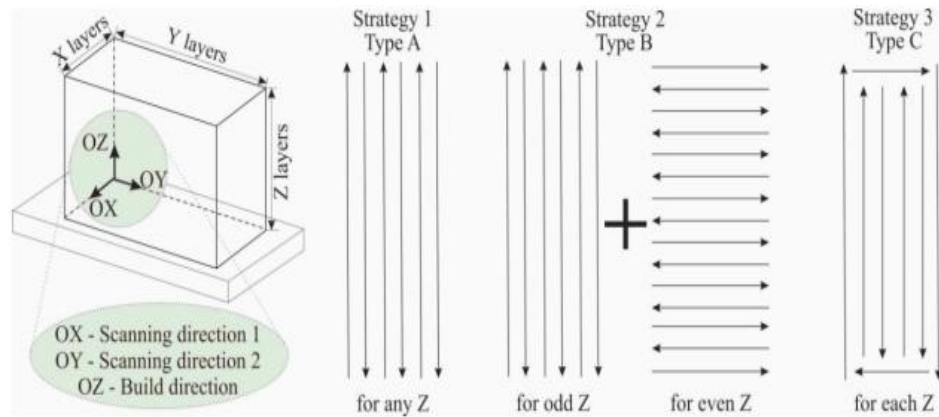


Figure 2. Schematics of scanning strategies for obtaining large-sized copper samples via electron beam wire-feed additive technology

Thus, three main types of copper blocks of types A, B and C, differing according to the technological features of production, were achieved. The obtained volumetric samples had the form of parallelepipeds. Type A blocks were 150 mm long, 40 mm wide and 40 mm high. Type B blocks were 150 mm long and 40 mm wide. The final maximum height of the sample was not achieved due to the unsuitability of strategy 2, which led to the formation of defects in the work piece. Type C blocks had a length of 150 mm, a width of 40 mm and a height of 80 mm.

From the thus-grown large-sized copper blocks, samples were cut using a DK7750 electrical discharge machine to study the macro- and microstructure. In order to study the structure and mechanical tensile tests, the samples were cut according to the scheme shown in Figure 3

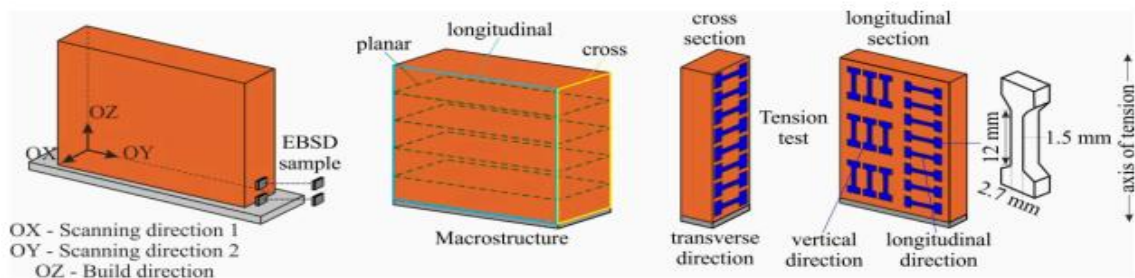


Figure 3. Scheme of cutting samples into metallographic sections and samples for mechanical testing

Before the structural studies, the samples were ground and polished with diamond paste followed by the etching of the polished surfaces of the samples in a

solution of 10 mL HCl + 1 g FeCl₃ + 20 mL H₂O. Macrostructural studies were performed using an OLYMPUSLEXT confocal microscope (Olympus NDT, Inc., Waltham, MA, USA). To determine the elemental composition of the specimens, a Zeiss LEO EVO 50 (Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) scanning electron microscope (SEM) was used. Microhardness was measured using a Duramin5 (Struers A/S, Ballerup, Denmark) machine. Microhardness measurements were carried out via the Vickers method at a load of 50 g for 10 s. The tensile specimens were in the shape of a double-sided blade. The working part of the double-sided blade was 12 mm (width: 2.7 mm, thickness: 1.5 mm). Tests were performed on a universal testing machine, UTS 110M (Testsystems, Ivanovo, Russia). The strain rate was $1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Macroscopic images of the specimens were taken with a Pentax K-3 camera with a lens focal length of 100 mm. Microstructural studies were performed using a scanning electron microscope, Tescan MIRA 3 LMU (TESCAN ORSAY HOLDING, Brno, Czech Republic), equipped with a system of registration of back-reflected electrons, Oxford Instruments Nordlys, and an energy dispersive X-ray spectrometer, Oxford Instruments Ultim Max 40 (Oxford Instruments, High Wycombe, UK). The scans were performed at an accelerating voltage (HV) of 20 kV and a beam current of 10 nA. Electron backscattered diffraction (EBSD) samples were prepared using the standard technique: sandpaper grinding to #2000, diamond polishing from 9 to 1 μm and 50 nm col-K suspension fine polishing. The final stage of sample preparation was ion polishing for 10 min at 10 kV by using a Technoorg Linda SEMPRep2 ion mill (Technoorg Linda Co. Ltd., Budapest, Hungary) with a wide plane-parallel argon ion beam.

Choosing a Scanning Strategy for Large-Sized C11000 Blocks

The general view of the large-sized copper blocks grown through electron beam wirefeed additive technology is shown in Figures 4–8. For type A blocks grown using scanning strategy 1 (Figure 2), macro geometric disruption is observed in the last layers. At the same time, a number of defects in the form of droplets, leaks and a decrease in the height of the blocks in the upper part (Figure 4) occurred. As the

large-sized sample was grown, the substrate temperature increased locally near the melt pool. As a result, a temperature gradient occurred, which led to heat accumulation. After a number of thermal cycles, the deposited solidified layers were deformed under the influence of temperature stresses, which led to the formation of defects on the end part of the sample.

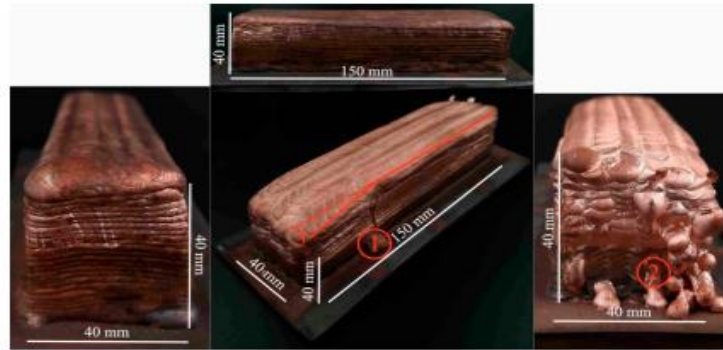


Figure 4. Macrostructure of A-type blocks fabricated using scanning strategy 2 with electron beam wire-feed additive technology. Noted defects by type: 1—droplets, 2—leaks and 3—decrease in the height.

Printing type B blocks using strategy 2 (Figure 2) involved alternating the direction of layer deposition according to the scheme. However, there was a violation of the continuity of material flow on the surface of the workpiece, which led to the formation of drops and leaks of material. Strategy 2 implied minimizing the temperature gradient in all directions, primarily opposite to the orientation of the assembly. However, as a result, a large number of defects were formed, and the geometry of the samples was disrupted (Figure 5)

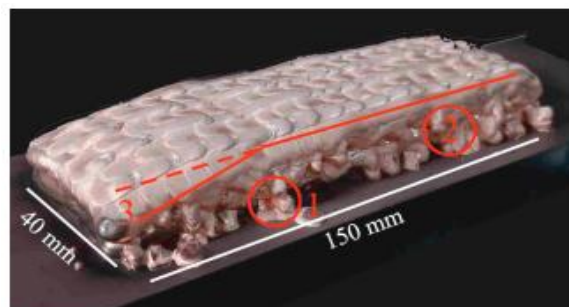


Figure 5. Macrostructure of B-type blocks fabricated using scanning strategy 2 with electron beam wire-feed additive technology. Noted defects by type: 1—droplets, 2—leaks and 3—decrease in the height.

The correction of such defects was achieved by changing the printing scheme. In type C blocks, the perimeter was formed first, followed by the filling of the inner layer volume. The blocks obtained using this printing scheme did not show the presence of geometric distortions, even when reaching a height of 80 mm (Figure 6). The surface of such samples is quite evenly distributed, with parallel layers without bends in the layers or stacking irregularities, and the proportions of the shape are maintained. The formation of the perimeter creates conditions for high heat dissipation, affecting the water-cooled table when carrying the first layers and creating a radiation effect when depositing the last layers. This leads to the differences in the structure and properties of the sample described below.

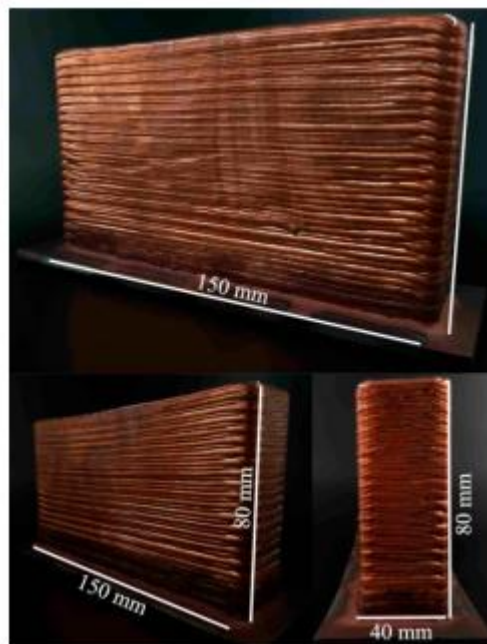


Figure 6. The macrostructure of C-type blocks fabricated using scanning strategy 3 with electron beam wire-feed additive technology.

Thus, for the production of blocks with correct geometry and compliance with the proportion of the shape of large-sized copper blocks using electron beam wire-feed additive technology, suitable scanning involves the initial formation of the perimeter and the subsequent filling of the inner layer volume (strategy 3, type C). Since the type C printing strategy proved to be preferable, in the following section,

we will consider the structure and mechanical properties of the blocks obtained through strategy 3 only.

Macrostructure and Microhardness of Large-Sized C11000 Blocks

In the structure of C-type copper blocks, a coarse grain structure is formed with preferential growth in the direction of heat removal (Figure 7). Typical structures can be observed for additively manufactured workpieces, in which overlapping semi-elliptical melt pools are formed (Figure 7a). The formation of semi-elliptical melt pools is characteristic of various additive manufacturing methods, both for ferrous, as well as for non-ferrous metals, which is associated with the features of the process. The boundaries of the melt pool in the sample are visible as “fish-scales”. The geometry of the melt pool is determined by the process parameters, material properties and cooling conditions. The cross-sectional structure of a large-sized copper sample is characterized by the evolution of the structure during sample fabrication. According to the macrostructure shown in Figure 7a, directional solidification occurs on the first layers near the substrate with fine grain sizes. Moreover, the grain on the first layers near the substrate is equiaxial. Directional solidification is accompanied by the growth of columnar grains that extend in the growing direction of the workpiece. Directional grain growth is facilitated by the slow heat dissipation and temperature gradient formed during additive growth of the workpiece. In the longitudinal section (Figure 7b), the macrostructural analysis reveals areas with banded copper grains. The gradual development of columnar grains may not always follow the normal path to the curvilinear surface, as defined by the liquidus isotherm. For the actual solidification, the surface deviates significantly from the liquidus isotherm due to the effects of supercooling. For example, one paper shows the effects of supercooling on grain growth directions, where there are noticeable discrepancies between the actual solidification surface and the liquidus isotherm in systems in which there is significant supercooling. It is possible to observe a noticeable deviation of the actual curing surface from the liquidus isotherm, which further increases with the printing speed. However, the degree of deviation,

determined by the degree of supercooling, must be considered for specific solidification conditions. “Zigzag” grains can form at high cooling rates when the heat trace moves behind the melt pool. When the heat gradient aligns across the specimen, flatter grains form. The direction of melt pool formation in one layer is opposite to the direction in the other layer, causing the grain to grow obliquely along one of the directions perpendicular to the surface. Growth will spread to the next layer if the scanning direction remains unchanged for the next layer, but if the scanning direction is reversed, growth will be aligned further away from the direction of maximum heating. The scanning strategy is crucial for changing the temperature gradient and, consequently, the texture of the material. In this work, large-sized samples were made of copper, which, having high thermal conductivity, effectively removes heat from the melt pool. These areas are located in the lower and upper parts of the workpiece (Figure 8). In the cross-section, the direction of grain growth is vertical, and in the longitudinal section, there is a 15° angle bend in the grains (Figure 7b). The tilt of the dendritic structure is related to the deviation of the direction of the temperature gradient during crystallization. The orientation of the grain structure depends on the shape and size of the melt pool. Grains growing at high printing speeds in this process are fairly straight. As a rule, during solidification, elongated grains grow from the edge to the center of the melt pool, depending on its location. The direction of heat flow in this case depends largely on the local positions at the melt pool boundary.

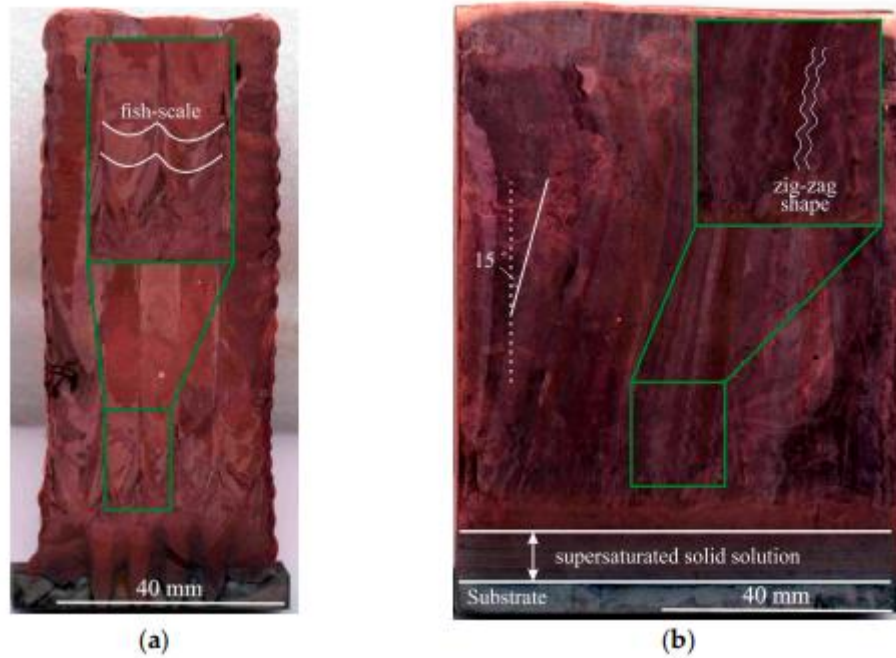


Figure 7. Macrostructure of the C-type copper block in cross- (a) and longitudinal sections (b). The green rectangle indicates the enlarged area showing the fish-scale and zig-zag shape of the structure

The analysis of the macrostructure in the longitudinal section (Figure 7b) shows that the sample has a clear interface. No crack-like defects are detected along the interface, indicating the complete deposition of the layers. There are no shrinkage pores, which are usually formed during the deposition of the first layers of the material, and during direct contact with the substrate. At the moment of wire-feed melting by the electron beam and the formation of the melt pool, there is a local increase in the substrate temperature near the melt pool. As a result, there is a temperature gradient, which leads to the presence of internal stresses. After a number of thermal cycles, the substrate deforms under the influence of the thermal stresses, and its significant intrusion occurs, but does not affect the quality of the large-sized copper blocks (Figure 7a). This is due to the peculiarity of sample fabrication, since AM implies a partial remelting of the previous layers. As a result of the mutual mixing of the Cu deposited in the first layers and the steel elements remelted from the substrate, the formation of the combined phases of the Cu-Fe system does not occur. A diffusion layer of supersaturated solid solution is formed at the concentration limit

of these components, and elements such as solid solutions of copper in iron, and iron in copper with the additional mutual dissolution of the alloying elements, as well as mechanical mixtures of the system components, are formed in this region (Figure 7b). In the fusion region of the copper sample with the steel substrate, the content of steel particles in the copper gradually decreases, which can be clearly seen in the longitudinal section in Figure 8, area 1.

The actual grain growth direction can differ significantly from the local maximum temperature gradient, depending on the scanning strategy. “Zigzag” patterns have major grain directions that are perpendicular to each other in successive layers, resulting in a 45° angle to the scanning direction. This results in epitaxial grain growth in the first layer shifting to grain formation in a different direction in the second layer, or vice versa, with a 15° deviation between the maximum heat flux temperatures. Thus, texture evolution is strongly influenced by the scanning strategies that correlate with the directions of easy growth and maximum heat flux. Full alignment results in a texture similar to the norm. The final solidification texture is determined by local heat flux directions and competitive grain growth.

The horizontal section is distinguished by the main structural components of the blocks (Figure 8). In the upper part of the large-sized sample, there are large, elongated grains, and in the lower part of the sample, there is an equiaxed fine-grained structure.

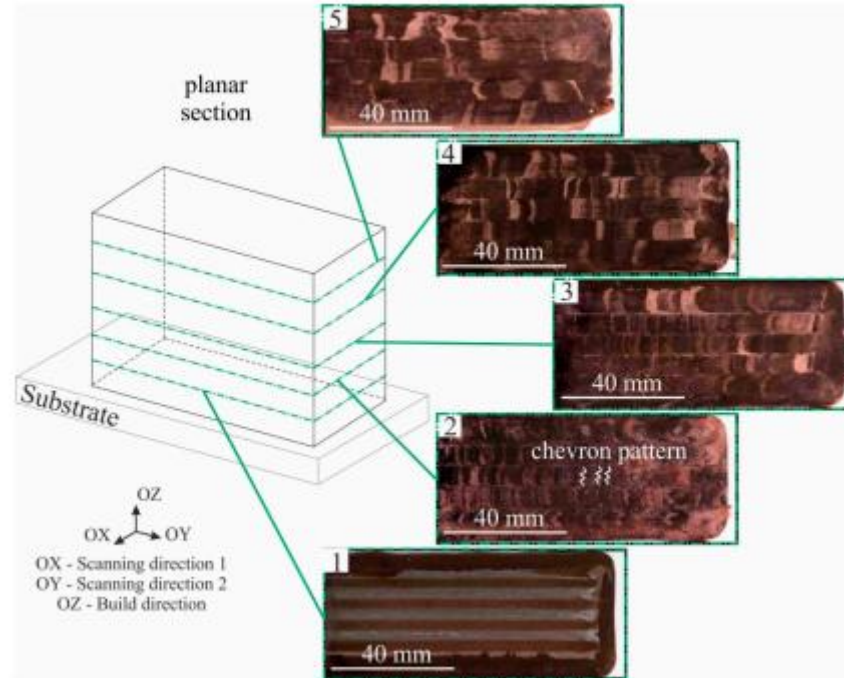


Figure 8. Macrostructure of the C-type copper block in planar section. The green dotted lines show areas of distance from the substrate—area 1: 1.5 mm, area 2: 3 mm, area 3: 4.5 mm, area 4: 6 mm, area 5: 7.5 mm. The white line shows the chevron pattern structure.

In general, the structure of the sample is a columnar grain crossing most of the layers. In the lower part of the blocks, i.e., part 1 (Figure 8, area 1), there is an area that is affected by the substrate due to the intense intrusion of steel into the first layers of printed copper. The greatest substrate intrusion was characteristic of the central part of the blocks. At the same time, the structure of the blocks at the macro level is represented by a constant alternation of the columns printed according to the scheme shown in Figure 2. The surface of the large-sized sample in the longitudinal section demonstrates the presence of a chevron like pattern due to grain growth towards the moving heat source from the partially melted wire filament. Since the local thermal conductivity is affected by the scanning strategy, it was found that the orientation of the dendrites also depends on the scanning strategy. A chevron-like pattern perpendicular to the growth direction of the sample and the longitudinal direction of the layer deposition was found for the zigzag scanning pattern (Figure 8, part 2). The grains grow towards the melt pool when the scanning orientation is

unidirectional. The structure at a higher height from the substrate (30 mm—area 3, 45 mm—area 4, 60 mm—area 5) presents a similar structure, but with a constant increase in the grain size (Figure 8, parts 3–5): at 30 mm from the substrate, the grain size is 2.7 mm, at 45 mm the grain size is 4.7 mm and at 60 mm the grain size is 7 mm. Besides, a gradual decrease in material etchability is observed, so that with the same etching conditions, the boundaries between the deposited layers on the background of the grain structure become clearly visible in the last layers. This is due to the transfer of material under the influence of the temperature gradient. Since the melt pool has an elliptical shape, the electron beam was concentrated in the central part of the beam sweep; therefore, the temperature in the central part of the melt pool was higher than at its edges. In the next part of the blocks, area 2, 15 mm above the substrate, the mixed steel was practically absent, but the structure was rather finely dispersed (Figure 8, part 2). The presence of impurity atoms (near the substrate) can be explained by the fact that the electron beam melts not only the previous layer, but also part of the underlying material, in this case, the substrate. Spherical copper inclusions are observed in this area (Figure 9), and it has increased etch ability compared to the austenitic steel substrate. The analysis of the data in Figure 9 suggests that the austenitic steel is being alloyed with copper atoms near the substrate to form a two-phase region of copper and copper-alloyed austenitic stainless steel. This does not contradict the known data on the Fe-Cu phase diagram, according to which intermetallic compounds on the basis of iron and copper are not formed. However, the dissolution of a limited amount of copper ($\approx 5.8\%$ at 1083 °C) in γ -Fe is possible. As the number of spherical copper inclusions decreases with distance from the interface, the concentration of copper also becomes lower.

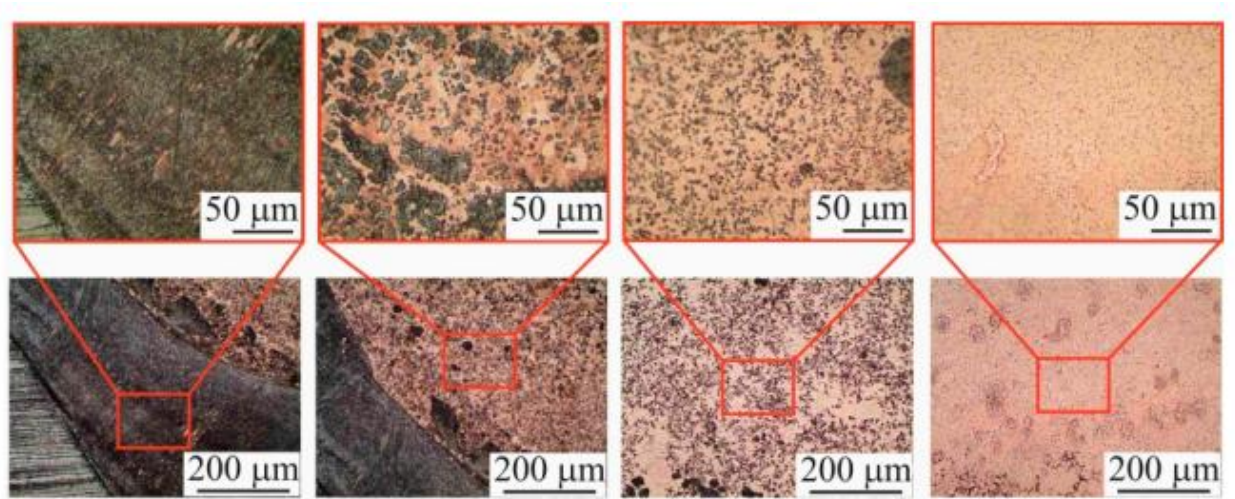


Figure 9. The microstructure of the C-type copper block in the transitional boundary.

Near the interface in the copper part of the bimetal, we also observed inclusions with weak etching, and a morphology close to the structure of austenitic steel below the interface “substrate-additive layers” (Figure 9). The presence of a small concentration of iron in the copper part of the bimetal sample near the interface can be caused by the formation of a solid solution of iron in copper, although the solubility of iron in copper is quite low ($\approx 2.8\%$ at $1083\text{ }^{\circ}\text{C}$)

At a distance of approximately 1.5 mm from the interface, the Cu content is 98.9 (wt. %), which is close to the grade composition of C11000 copper. A clear transition zone, indicating the formation of a solid solution of iron in copper, on the metallographic thin sections is not revealed.

Thus, the first layers have a high concentration of substrate chemical elements, such as Fe, Ni and Cr, whose concentration decreases as the C11000 blocks is printed (Figure 10a).

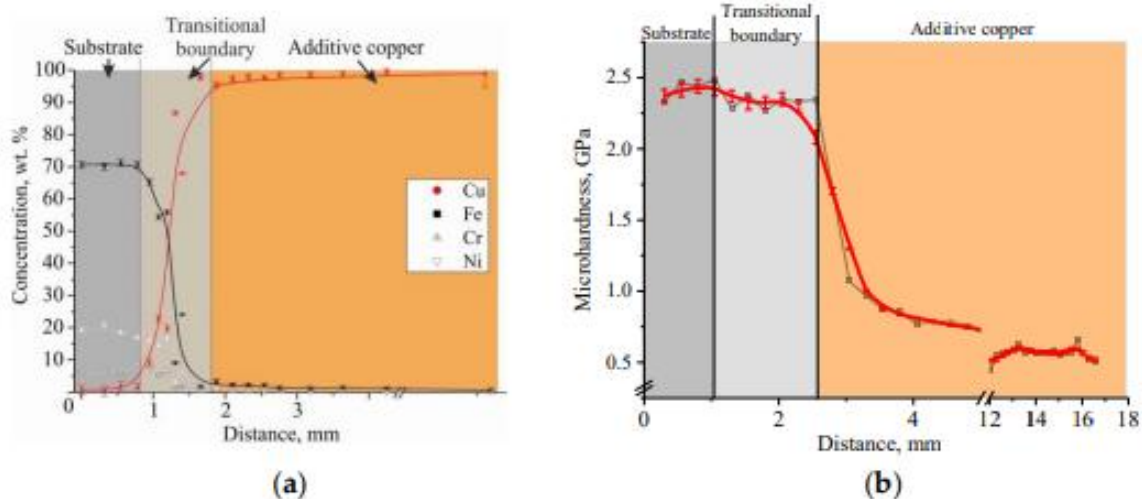


Figure 10. Changes in the elemental composition wt. % (SEM EDS analysis) (a) and dependence of the microhardness values (b) with the distance from the substrate of C-type copper block.

The analysis of the distribution of microhardness at transition through an interface of a bimetallic sample testifies to the sharp change in the strength properties in a material, which goes from 2.29 GPa, corresponding to austenitic steel, to 0.54 GPa in the copper part of a sample. The transition zones near the interface described above are characterized by scattered microhardness values (in the steel part of the bimetal) and elevated microhardness values (in the copper part of the bimetal) (Figure 10b). The variation in the steel part of the sample near the interface is due to the fact that, during the microhardness measurement, the indenter is partially caught by the “soft” copper inclusions in the transition zone. In the copper part of the workpiece near the interface, higher microhardness values in the transition zone compared to the main C11000 copper mass can be caused by several factors: steel inclusions were located in the measurement (indentation) area; solid solution hardening of copper with iron occurred; and there were finer grain sizes in the transition zone compared to the main copper part of the workpiece.

The increased concentration of Fe with Cu dilution in this region explains the presence of small globular inclusions due to its increased tendency to partition. This phenomenon, with the intrusion of the underlying layers, including the substrate, has

also been observed in the previous works of various additive products consisting of austenitic stainless steels, nickel-based heat resistant alloys and copper and bronze alloys.

Microstructure and Texture Features of Large Sized C11000 Blocks

The barrier effect (the effect of the grain size, which is described by the Hall–Petch relation) affects the copper part of the sample. According to the microstructure shown in Figure 11, after the transition zone with fine grain size is formed, directional solidification occurs in the copper part of the sample. It is accompanied by the growth of columnar grains that extend in the sample’s direction of growth. This is in accordance with the crystallization patterns of many materials that use AM, and can cause the anisotropy of mechanical properties in the samples made by the method of wire-feed 3D printing. Since the growth process was continuous, one would expect the homogeneous growth of large grains throughout the entire height of the wall. Nevertheless, microstructural analysis reveals quite extended areas with equiaxed copper grains. Such features of crystallization may be caused by non-uniform heat removal from the workpiece during additive growth, changes in chemical composition and the violation of the scanning strategy. Electron backscatter diffraction (EBSD) analysis was performed to determine the direction of texturing. In the inverse pole figure (IPF) maps, several regions can be clearly distinguished: small equiaxed grains (I), large equiaxed grains (II), medium elongated grains (III), and large elongated grains (IV).

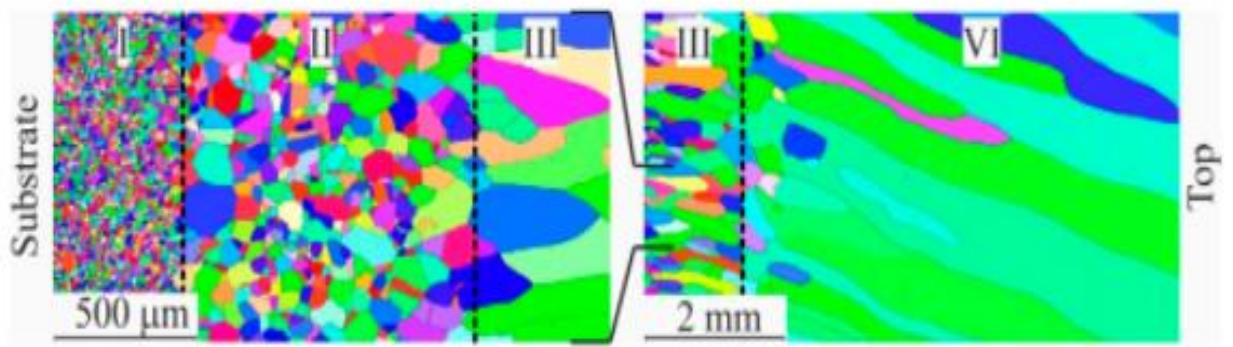


Figure 11. IPF maps in the Z direction of the C-type copper block. The following regions are distinguished—I: small equiaxed grains, II: large equiaxed grains, III: medium elongated grains and IV: large elongated grains.

In addition, the transition boundary from the substrate to the first layers, in which a supersaturated solid solution is formed, is considered separately (Figure 12). The deposition of the first layers of C11000 copper on AISI 304 stainless steel substrate results in the growth of some grains at the expense of the neighboring ones through the migration of high-angle boundaries; i.e., primary recrystallization takes place. The formation of crystallization centers and the growth of new equilibrium grains with undistorted crystal lattice takes place. New grains arise at the boundaries of old grains where the lattice was most distorted. The number of new grains gradually increases, and no old, deformed grains remain in the structure. The driving force of primary recrystallization is the energy stored in the metal. The system tends to move to a steady state with an undistorted crystal lattice. In this case, grain boundaries migrate, and an equilibrium structure with minimal surface energy and grains of equal size and shape is formed. The impurity atoms and second-phase inclusions (in the transition zone) are factors that promote the formation of a large number of recrystallization nuclei, but which prevent the migration of grain boundaries. Another factor is the rapid heat dissipation. Since the fine-grain structure is formed close to the substrate, there is rapid heat dissipation during 3D printing when the distance from the water-cooled table is insignificant. In this case, there is a high fraction of low-angle boundaries due to crystallization processes, and a small

fraction of twin boundaries are observed (Figure 12). The average size of the equiaxed grains in this range is $8.94 \pm 0.04 \mu\text{m}$.

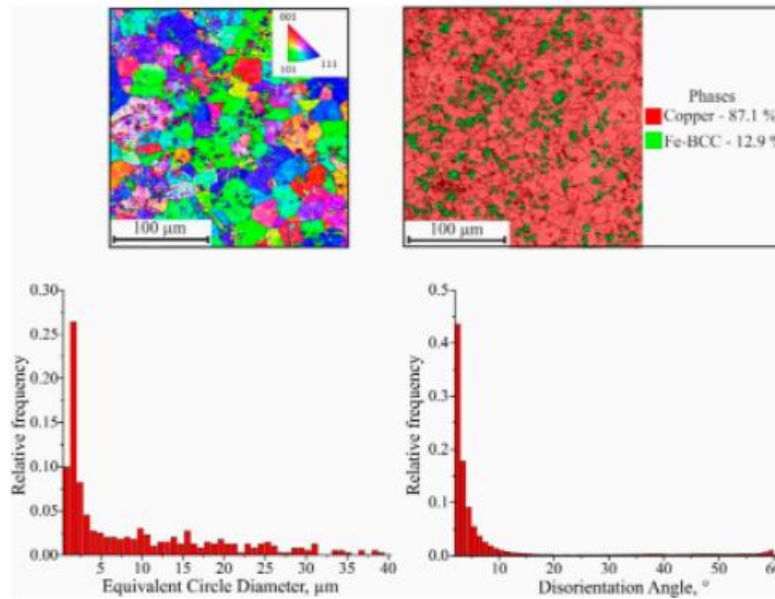


Figure 12. EBSD map fragment; grain size; disorientation; scattered and contoured IPFs; phase map (Cu: red color, Fe: green color).

Since the driving force of primary recrystallization decreases as it progresses, grain growth stops when a certain value is reached. In this case, as shown by scanning electron microscopy analysis, the presence of impurity atoms with an average size of $2.5 \mu\text{m}$ in the composition of stainless steel decreases. Consequently, this factor no longer interferes with grain migration. Thus, the deposition of the first layers of C11000 copper on AISI 304 stainless steel substrate forms rounded grains with a high proportion of twin boundaries, and the proportion of small-angle boundaries decreases to a low value: a change in the angle from 10 to $40\text{--}50$ increases the mobility by an order of three to five times. Since ATs are characterized by a fast printing process and the mobility of small-angle boundaries is low, the change in the volume fraction of boundaries is associated with a high temperature. Due to the large difference in the interval of angles and misorientation axes between the recrystallized grains, the mobility of the boundaries increases. This leads to an increase in the average grain size, which is $dI = (11.91 \pm 0.03) \mu\text{m}$ (Figure 13). At the same time, the observed grains are chaotically disoriented along all three axes, and

the multiple of uniform density (MUD) function at local maxima differs from the minimum only slightly.

A remarkable feature of the microstructure of many recrystallized metals and alloys with HCC is the presence of a large number of annealing (recrystallization) twins. The twin structure is equivalent to a packing defect. The coherent surfaces of the twins turn out to be little mobile when heated, but the incoherent surfaces often migrate, which can lead to the disappearance of small twins as a result of the development of this process. Since the latter always exist in the deformed matrix, a favorable situation for twin formation is created when the growing grain meets a packing defect. However, there are a number of other features of the grain growth process that can determine the formation of twins. Further, larger equiaxed grains, with an average size of $d_{II} = (27.76 \pm 0.04) \mu\text{m}$, are observed in the process of collective recrystallization (Figure 14). With small grains, the interface is large, so there is a large surface energy margin. As the grains enlarge, the total extent of the boundaries decreases and the system moves to a more equilibrium state. The ratio of large-angle, small-angle and twin grain boundaries remains the same.

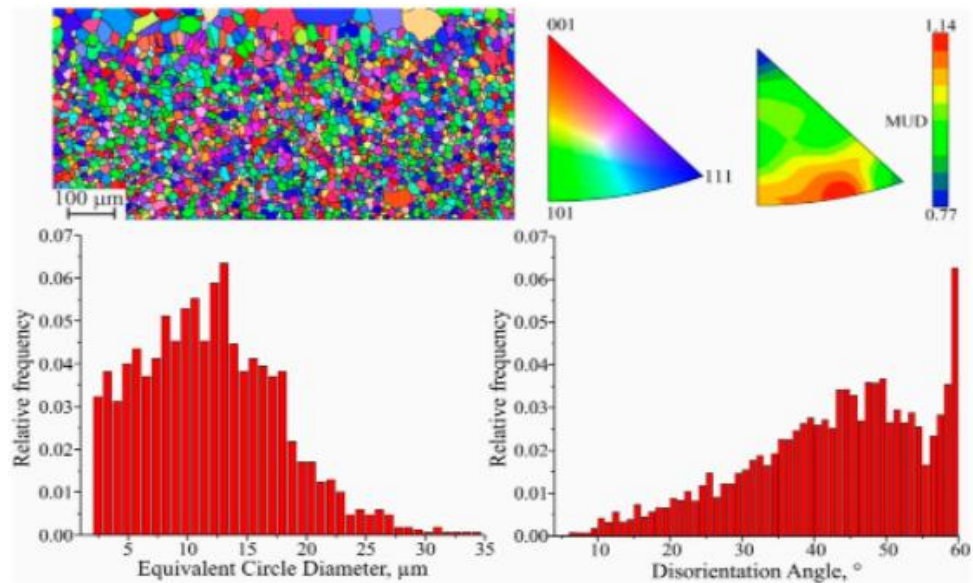


Figure 13. EBSD map fragment; grain size; disorientation; scattered and contoured IPFs for I area.

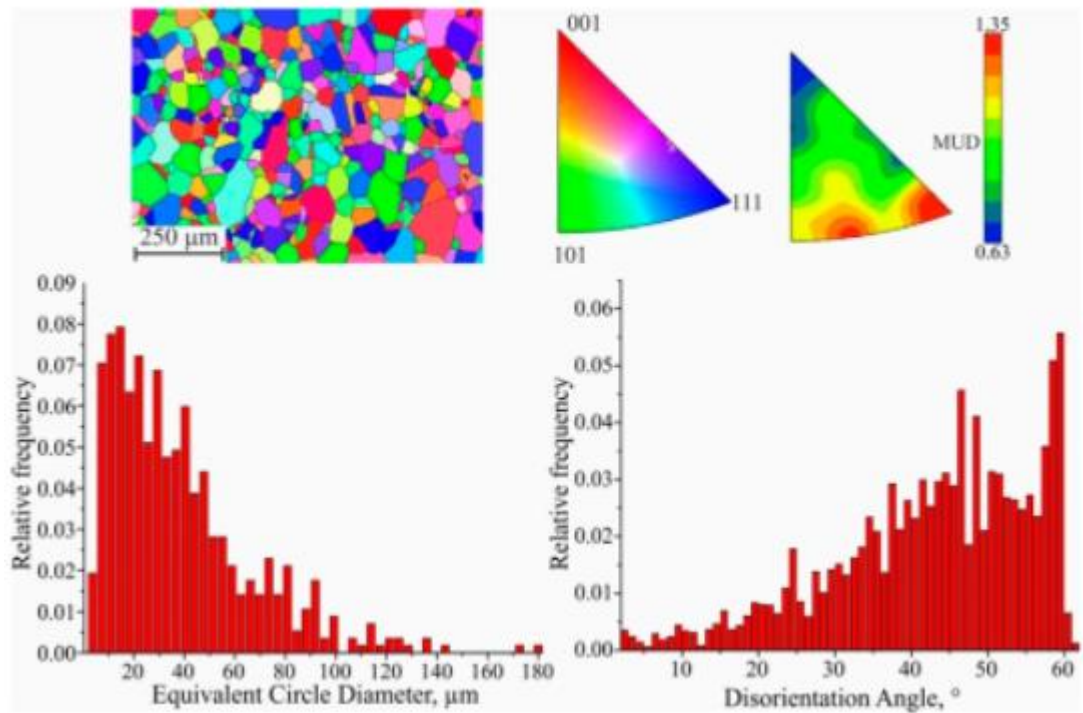


Figure 14. EBSD map fragment; grain size; disorientation; scattered and contoured IPFs for II area.

The formation of large grains is possible both at the expense of neighboring nuclei, where coalescence is observed, and of gradual growth. Additionally, it should be noted that the content of iron and alloying elements in the steel substrate decreases, which reduces the obstacle to the migration of grain boundaries. The predominance of chaotic grain orientation remains, but it is worth noting the formation of a predominant orientation along $\langle 101 \rangle$ and $\langle 111 \rangle$, as evidenced by the distribution of the MUD function (Figure 15).

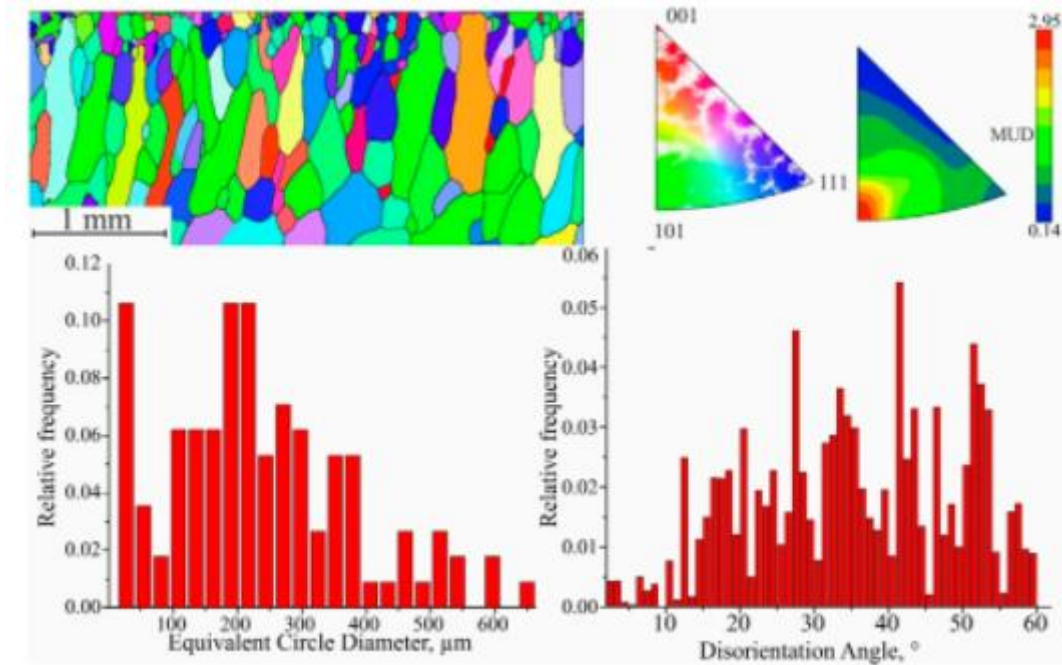


Figure 15. EBSD map fragment; grain size; disorientation; scattered and contoured IPFs for III area.

The size of the grains in this region is very close to each other, but the spatial distribution of the places where the new grains emerge is different. Consequently, for orientation $\langle 101 \rangle$, the distance traveled by the boundary to their collision is greater. After collective recrystallization, secondary recrystallization takes place. In this case favorably oriented grains grow, thus forming a crystallographic texture in the material. Grains of this range are characterized by an elongated shape, with an average size $d_{III} = (338.54 \pm 13.83) \mu\text{m}$. The fraction of low-angle boundaries is insignificant, and twin boundaries are practically absent. Based on the IPF analysis, it is clear that the fraction of preferential orientation increases significantly, and the MUD function value differs by a factor of 25. The direction of recrystallization does not coincide with the vertical direction of the cladding due to the temperature gradient during printing. After the completion of secondary recrystallization, abnormally large, elongated grains are formed, with average length and width values of $d_{IV} = (1086.45 \pm 57.13) \mu\text{m}$ at the beginning of formation; in the finished workpiece, they are up to 3.5 mm and 0.3 mm in length and thickness, respectively (Figure 16). The absence of twin boundaries is characteristic.

Grains in this range are characterized by a preferential orientation close to $\langle 101 \rangle$ (range between 414 and 134). The temperature gradient plays a key role in the morphology and size of the structure and determines the crystallization mode. During the deposition of the first layers of C11000 copper on stainless steel substrate AISI 304, rapid heat dissipation occurs, which, together with the alloying of copper with austenitic steel components (primarily Fe) and the formation of inclusions of the second phase, leads to the formation of a fine-grained structure. As the blocks grow, the influence of these factors decreases and directional grain growth occurs. Directed grain growth is facilitated by the slow heat dissipation and temperature gradient formed during additive blocks growth (Figure 17).

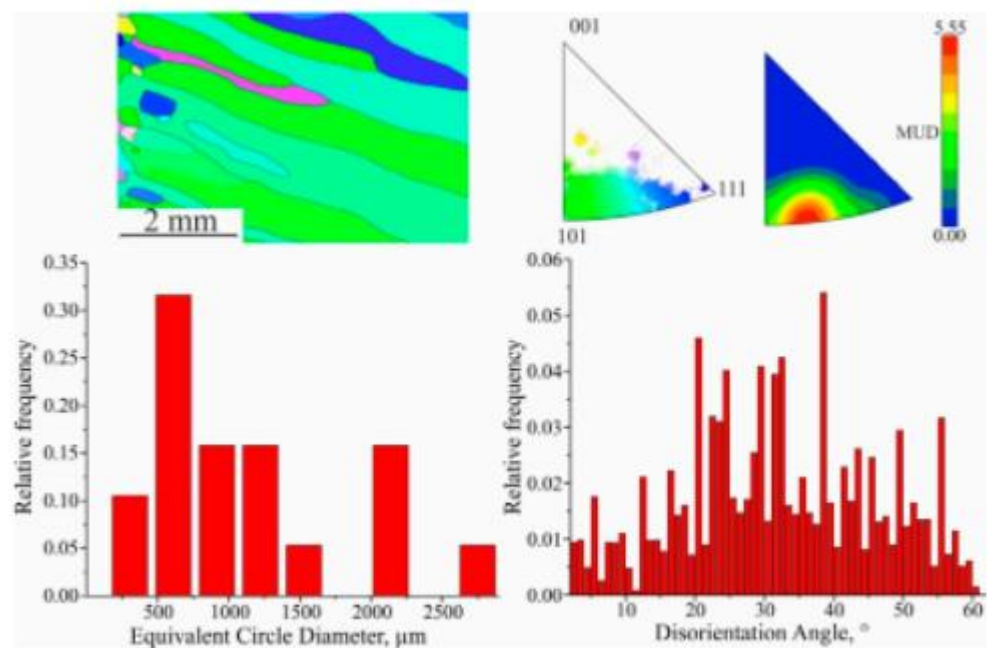


Figure 16. EBSD map fragment; grain size; disorientation; scattered and contoured IPFs for IV area.

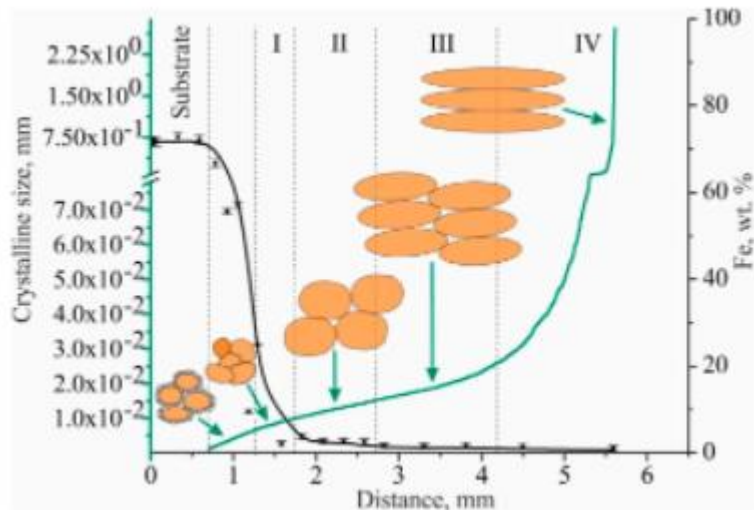


Figure 17. Schematic of the texture formation of C-type copper block based on the dependence of grain size on the Fe content with the distance from the substrate. Green line is crystalline size, black line is content of Fe.

Region II represents the orientations of those grains that can have moving boundaries, with all or most of the texture components of $\langle 101 \rangle$ and $\langle 111 \rangle$. In region III, grains with texture orientation $\langle 101 \rangle$ prevent the formation of grains with texture orientation $\langle 111 \rangle$. The choice of structure orientation is related to several factors. The relative volume of the texture component is related to the number of these grains, that is, the rate of their formation. In area IV, the predominant texture orientation is $\langle 101 \rangle$. In this case, the growth of grains of this orientation has a minimum energy of growth.

Mechanical Characteristics of Large-Sized C11000 Blocks

In top, the predominant texture orientation is 101. In this case, the growth of grains of this orientation has minimal growth energy. Since the additive growth in the copper part of the blocks forms a significantly heterogeneous grain structure, its mechanical properties may differ markedly from the properties of cast copper, and it may have anisotropy. The conducted studies of mechanical properties of samples (Figure 11), cut according to the scheme in Figure 2 from C-type blocks, show that there is a significant dependence on the material properties of copper blocks for the height of the samples from the steel substrate. In the specimens closest (transitional

boundary and bottom) to the substrate, as shown earlier, there is a mixing of the steel into the additively clad copper.

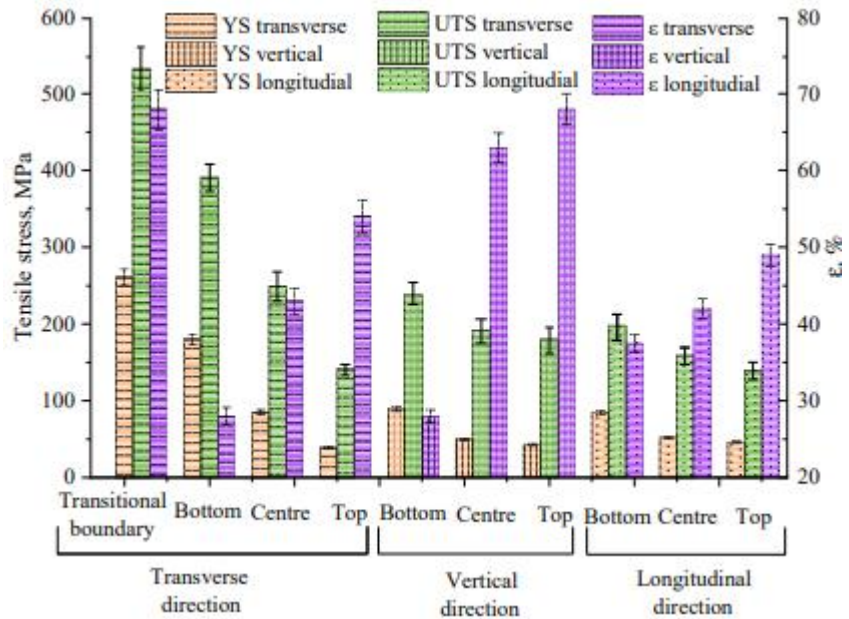


Figure 18. Histograms of the distribution of mechanical property characteristics of C-type cooper block samples cut in transverse, vertical and longitudinal directions relative to the growing direction.

Further, at a distance of 18–20 mm from the substrate, there is an increase in ductility and a decrease in the tensile strength $\sigma_{UTStrans}$ to 249 ± 10 MPa. Since the introduction of steel particles no longer leads to an increase in strength, there is a hardening due to the refinement of the grain structure of the copper near the substrate. The strength of $\sigma_{UTStrans}$ in further samples decreases gradually (to 145 ± 10 MPa) in the upper part of the blocks, with quite similar plasticity values. This situation is due to the fact that the block structure above 20–25 mm stabilizes, and becomes a set of large grains oriented almost parallel to the direction of heat removal. A large crystal structure, defect-free, with directional growth, has high parameters of plasticity, thermal and electrical conductivity, but has lower values of ultimate strength compared to the fine-grained structure formed near the substrate. At the same time, the tensile strength of 120 MPa or more is characteristic of cast copper. The mechanical test characteristics for vertical specimens cut in the build direct direction along the OZ axis differ by up to a factor of two. The mechanical test

characteristics for longitudinal specimens cut in the scanning direction 1 along the OX axis are close to the values for the vertical specimens. Hence, when tensile stresses are applied in a perpendicular direction to the direction of the elongated grains in specimens with a non-uniform structure, the plastic deformation of the specimens is determined by the beginning of a slip dislocation motion in both non-uniform and uniform grains almost simultaneously. The plastic deformation of specimens whose tensile axis is parallel to the elongated grains also develops in both types of grains, because the stresses of the beginning of plastic deformation for them are close, despite the apparent difference in grain size. The effective dislocation path length in elongated grains is not significantly longer than that in equiaxial grains that are close to the substrate. The observed difference in the deformation of the experimentally obtained data presented in the Figure 11 is probably due to the influence of interfaces (grain boundaries) on the patterns of macroscopic flow of the additively grown copper crystals and requires an independent study. Thus, in the material of the studied C-type blocks, there is a heterogeneity to the mechanical properties associated with the formed structure, leading to a smooth increase in plasticity and a decrease in the strength of the material when moving away from the substrate.

Conclusions

We presented the production of large-sized blocks of C11000 copper on stainless steel substrates using electron beam wire-feed AM with separate perimeter formation and separate filling of the inner volume, which avoids disturbances in the macrogeometry of the samples in the printing process. It was found that the strategy of sample scanning during printing determines the formation of the structure at the macro level, and the distribution of large grains in the horizontal and vertical sections of the sample. Separate filling of the perimeter does not lead to separate structure formation in the central and peripheral parts of the sample due to the smooth thermal gradient within the layer during printing. With the deposition of the first layers of C11000 copper on stainless steel substrate AISI 304, a rapid heat dissipation occurs

that, together with the alloying of copper with austenitic steel components (first of all with Fe) and the formation of inclusions of the second phase, leads to the formation of a fine-grained structure. As the blocks grow, the influence of these factors decreases and directional grain growth up to 3.5 mm occurs close to the orientation.