|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО**  **ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ** | | |
|  | **НАЦИОНАЛЬНЫЙ**  **СТАНДАРТ**  **РОССИЙСКОЙ**  **ФЕДЕРАЦИИ** | **ГОСТ Р**  (*проект, 1-ая редакция*) |

**Проектирование аддитивного производства.**

**Лазерное селективное сплавление**

**металлических порошков**

**Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения**

**Москва**

**Стандартинформ**

**201\_**

**Предисловие**

1. РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Русатом – Аддитивные Технологии».
2. ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 182 «Аддитивные технологии»
3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 201\_\_ г. № \_\_\_\_\_\_\_\_
4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru).*

©Стандартинформ, 20\_\_

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

**Содержание**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | Область применения ………………………………….................................... |  |
| 2 | Нормативные ссылки ………………………….………………….................... |  |
| 3 | Термины и определения……………….....................………………………... |  |
| 4 | Общие положения ……………………………………………………………… |  |
| 5 | Обращение с сырьевыми материалами…….…….………...…………….… |  |
| 6 | Подготовка 3D модели………………………..……...….……………...….….. |  |
| 7 | Подбор технологии селективного лазерного сплавления……..……........ |  |
| 8 | 3D печать изделий…………………………..…….…..................................... |  |
| 9 | Постобработка………………………………………….…………………….….. |  |
| 10 | Компетентность персонала……………………………………………………. |  |
| 11 | Обеспечение безопасности……………………………………………………. |  |
| 12 | Контроль качества………………………………………………………………. |  |
| 13 | Документирование и управление данными ………................................... |  |
|  | Приложение А (справочное). Перечень оборудования ………………….. |  |
|  | Библиография……………………………………………………………………. |  |

|  |
| --- |
| **НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ** |
| **Проектирование аддитивного производства**  **ЛАЗЕРНОЕ СЕЛЕКТИВНОЕ СПЛАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ.**  Design of additive manufacturing. Laser selective melting of metal powders |

**Дата введения — 201 — —**

**1 Область применения**

1.1 Настоящий стандарт определяет общие положения проектирования (формирования, организации, создания) аддитивного производства (АП) с использованием технологии селективного лазерного сплавления/спекания (СЛС) металлических порошков (МП), определяет основные процессы и операции характерные для АП и общие требования к ним.

Примечание – по ГОСТ Р 57558 термин «аддитивное производство» соответствует термину «аддитивный технологический процесс». В настоящем стандарте термин «аддитивное производство» используется в более широком смысле, для обозначения всей совокупности технологических операций получения изделия, основной из которых является процесс СЛС МП.

1.2 Положения настоящего стандарта могут быть применены для других технологий и материалов АП.

1.3 Стандарт предназначен для технологов, специалистов, связанных с производством изделий с применением аддитивных технологий (АТ).

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация

ГОСТ 23120-2016 Лестницы маршевые, площадки и ограждения стальные. Технические условия

ГОСТ 24297-2013 Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля

ГОСТ 25866-83 Эксплуатация техники. Термины и определения

ГОСТ 30333-95 Паспорт безопасности вещества (материала). Основные положения. Информация по обеспечению безопасности при производстве, применении, хранении, транспортировании, утилизации

ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь

ГОСТ Р ИСО 10018-2014 Менеджмент качества. Руководящие указания по вовлечению работников и их компетентности

ГОСТ Р 57700.1-2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Требования

ГОСТ Р 57700.2-2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Общие положения

ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы – часть 1. Термины и определения

ГОСТ Р 57911-2017 Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Термины и определения

ГОСТ Р 1.0.182-1.016.19 (стандарт в разработке) Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Конструирование металлических изделий. Руководящие принципы

ГОСТ Р 1.0.182-1.017.19 (стандарт в разработке) Аддитивные технологии. Подтверждение качества и свойств металлических изделий

ГОСТ Р 1.0.182-1.012.19 (стандарт в разработке) Аддитивные технологии. Металлопорошковые композиции. Общие требования

ГОСТ Р 1.0.182- 1.013.19 (стандарт в разработке) Аддитивные технологии. Общие технологические рекомендации и руководящие принципы

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

**3 Термины и определения**

В настоящем стандарте используются термины и определения в соответствии с ГОСТ 25866, ГОСТ Р ИСО 9000, ГОСТ Р 57558, ГОСТ Р 57911.

**4 Общие положения**

4.1 Принципом проектирования АП является максимальное использование преимуществ АТ с компенсации ограничений (недостатков), свойственных для АТ в соответствии с ГОСТ Р 1.0.182-1.016.19.

4.2 Ключевым аспектом проектирования АП являются показатели используемых АТ, определяющих возможности 3D печати при изготовлении изделий и последующий объём технологических операций постобработки для получения требуемых свойств (показателей) изделий.

4.3 Основными процессами, рассматриваемыми при проектировании АП являются:

- обращение с сырьевыми материалами - МП;

- подготовка 3D модели изделия;

- подбор АТ СЛС;

- 3D печать изделий;

- постобработка;

- управление компетентностью персонала;

- обеспечение безопасности производства;

- контроль качества;

- документирование и управление данными.

4.4 Исходя из требований к документированию основных процессов АП, степени ответственности, назначению изделий, условий эксплуатации изделий, применяемых видов термообработки производится классификации и обозначения изделий.

4.5 По степени ответственности, назначению изделий и условиям их эксплуатации устанавливается 4 класса изделий.

4.5.1 К изделиям IV класса относятся опытные образцы, модели, прототипы изделий не имеющие требований по контролю свойств (показателей) и прослеживаемости при документировании, предназначенные для подконтрольной эксплуатации (эксплуатации с целью получения дополнительной информации).

4.5.2 К изделиям III класса относятся изделия, имеющие контролируемые свойства (показатели) и прослеживаемость при документировании, в том числе изделия, предназначены для нормальной эксплуатации (эксплуатация изделий в соответствии с действующей эксплуатационной документацией).

Для изделий III класса, в том числе, контролируются свойства (показатели) материала изделий:

- химический состав;

- твёрдость (при необходимости);

- временное сопротивление (предел прочности), предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение.

Для изделий III класса документируются (прослеживаются):

- марка и реквизиты партии сырьевого материала (перечень информации по партии сырьевого материала определяется по ГОСТ Р 1.0.182-1.012.19);

- контролируемые свойства (показатели) материала изделий.

4.5.3 К изделиям II класса относятся изделия ответственного назначения, имеющие большее (по отношение к классу III) количество контролируемых свойств (показателей) и степень прослеживаемости при документировании, в том числе изделия, предназначены для реальной эксплуатации (эксплуатация в сложившихся в эксплуатирующей организации условиях).

Для изделий II класса, дополнительно к требованиям для изделий III класса контролируется:

- ударная вязкость (KCU);

- показатели (свойства) сырьевого материала.

Для изделий II класса, дополнительно к требованиям для изделий III класса документируются (прослеживаются) технологические параметры при изготовлении (по п. 8.4 настоящего стандарта), в том числе параметры защитной атмосферы.

4.5.4 К изделиям класса I относятся изделия наиболее ответственного назначения, имеющие максимальные количество контролируемых свойств (показателей) и степень прослеживаемости при документировании, в том числе изделия, предназначены для лидерной эксплуатации (нормальной эксплуатации) заданного количества изделий, выделенных для более интенсивного расходования ресурса по сравнению с остальным парком изделий).

Для изделий I класса, дополнительно к требованиям для изделий II класса контролируются иные свойства (показатели) изделий, документируются (прослеживаются) сведения о работниках участвующих в изготовлении изделий.

4.6 Применяемые виды термической обработки изделий обозначаются следующим образом:

- А – гомогенизация (обработка, производимая с двух- или многофазной системой, в ходе которой уменьшается степень неоднородности распределения химических веществ и фаз по объёму);

- Б – отжиг (обработка, которая заключается в нагревании до определенной температуры, выдерживании при этой температуре и последующем медленном охлаждении, применяется для получения в металлах равновесной структуры, улучшения обрабатываемости, повышения пластичности, уменьшения остаточных напряжений);

- В – закалка (обработка, заключающаяся в нагреве стали до температуры выше критической и последующем быстром охлаждении, со скоростью подавляющей распад аустенита по диффузионному механизму и обеспечивающей структуру бейнита и/или мартенсита);

- Г – нормализация (обработки, состоящая в нагреве стали на 30–50 оС выше критической точки, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении на спокойном воздухе, применяется для нормализации – измельчения зерна, улучшения механических свойств, подготовка структуры для окончательной обработки (закалки и отпуска);

- Д – отпуск (обработка, проводимая после закалки или после другой термической обработки, чтобы обеспечить необходимые показатели определенных свойств изделия, при отпуске нагрев осуществляется до температур, лежащих ниже критической точки, отпуск также применяется для снятия (снижения) уровня остаточных напряжений и предотвращения коробления);

- Е – старение (обработка, при которой главным процессом является распад пересыщенного твердого раствора, в результате старения происходит изменение свойств закаленных сталей и сплавов);

- Ж – горячее изостатическое прессование (обработка, при котором изделие/заготовка подвергается воздействию инертного газа под большим давлением при высокой температуре);

- И – любая термическая обработка не относящаяся к видам А…Ж;

- К – термическая обработка не применяется (без термической обработки).

При применении нескольких видов термической обработки указывается несколько обозначений.

4.7 При обозначении в технической документации изделий полученных АП (по настоящему стандарту) последовательно указывается:

- наименование изделия;

- указание на способ изготовления – «АП СЛС»;

- класс изделия;

- режим термообработки;

- марка материала (с указанием документа по стандартизации), из которого изготовлено сырьё АП – «МП …»

Примечания.

Пример 1. Обозначение кронштейна изготовленного из МП алюминиевого сплава Ак9 по ГОСТ 1583 изделия III класса не подлежащего термообработке – «кронштейн АП СЛС III Е МП АК9 по ГОСТ 1583».

Пример 2. Обозначение лопатки изготовленной из МП коррозионностойкого жаропрочного никелевого сплава ВЖЛ738 по ТУ 1-595-3-1660-2017 изделия I класса подлежащего горячему изостатическому прессованию – «лопатка АП СЛС I Г МП ВЖЛ738 по ТУ 1-595-3-1660-2017».

**5. Обращение с сырьевыми материалами**

5.1 Процесс обращения с МП в АП цикличен и включает в себя следующие операции (рис.1):

- контроля:

- хранения;

- подготовки;

- загрузки;

- сбора;

- обработки;

- утилизации.



Рис. 1. Последовательности операции обращения с сырьевыми материалами

5.2 Все операции обращение с МП должны проводиться с учётом постоянного обеспечения защитной атмосферы, если условия изготовителей (поставщиков) МП не допускают иного и при условии исключения попадания МП в окружающую среду (воздух рабочей зоны). Оборудование, непосредственно контактирующее с пожароопасными МП вне зон обеспечения защитной атмосферы должно иметь взрывозащищённое исполнение. При операциях обращения с МП должен быть исключён непосредственный (кожный) контакт работников с сырьевыми материалами. Все участки АП, на которых возможно появления частиц МП, должны быть оборудованы вентиляцией с системой фильтров для улавливания частиц МП и системами контроля загрязнения воздуха. Одежда работающих с МП должна быть изготовлена из антистатического материала, не должна иметь конструктивных элементов, способствующих накоплению пыли, в том числе карманов, должна подвергаться ежедневному обеспылеванию.

5.3 МП должны поставляться с документами, подтверждающими соответствие установленным требованиям (качество) – паспортом и (или) сертификатом качества с обязательным указанием реквизитов партии поставки (производства), а также паспортом безопасности МП, оформленными в соответствии с требованиями ГОСТ 30333 и ГОСТ Р 1.0.182-1.012.19. Поставка и использование импортных материалов разрешается только в случае наличии указанной технической документации на русском языке. Все действия по обращению с МП проводятся с учётом прослеживаемости по партиям поставки (производства), с учётом свойств (показателей) МП в конкретных партиях.

5.4 При контроле МП определяется соответствие установленным требованиям. Операции контроля проводятся при поставке (входной контроль), длительном хранении, после обработки, в том числе для использованного МП. Процедуры контроля, объём проб, перечень определяемых свойств (показателей), перечень используемых правил и методов исследований, перечень используемого оборудования, требования к свойствам (показателям), определяются исходя из требований к конкретному МП, АТ изготовления и изготовляемому изделию с учётом требований ГОСТ 1.0.182-1.012.19, ГОСТ 24297.

5.5 Хранение сырьевых материалов осуществляется в соответствии с условиями изготовителей (поставщиков) МП, при обеспечении надлежащего состояния (целостности) упаковки МП.

5.6 Операции подготовки МП осуществляются перед загрузкой МП в 3D принтер и заключаются в получении необходимой смеси МП заданного состава, в том числе с добавлением использованного МП – металлопорошковой композиции (МК). При проведении подготовки МК, для верификации процесса подготовки, могут проводиться операции по контролю подготовленной МК. Для проведения операций используются специализированные станции смешивания (миксеры, смесители). Передача МП со склада для приготовления МК должна осуществляться в заводской, либо герметичной таре.

5.7 Загрузка МК осуществляется в соответствии с указаниями технической документацией 3D принтера, исходя из массы загружаемой партии МК. При загрузке МК массой более 15 кг необходимо применение средств механизации, при проведении операций загрузки на высоте над уровнем пола необходимо обустройство обслуживающих площадок по ГОСТ 23120.

5.8 Операции сбора МК осуществляются:

в 3D принтере:

- при удалении излишков при формировании слоя;

- при извлечении изделия и заготовок из порошкового массива;

при постобработке изделий и заготовок:

- в специализированном оборудовании очистки;

- при удалении МК из замкнутых труднодоступных полостей.

5.8.1 Конструкция оборудования АП, работающего с использованием МП под избыточным давлением, должна исключать возможность доступа внутрь оборудования без предварительного стравливания избыточного давления. Стравливание избыточного давления должно проводиться через систему фильтрации, предотвращающую поступление частиц МП в окружающую среду.

5.8.2 Операции сбора МК должны предусматривать специализированные средства механизации, для очистки изделий и заготовок от частиц МП, промышленные пылесосы и иные системы удаления среды с частицами МК и её последующей фильтрации. Требования к обеспечению защитной атмосферы и герметичности ёмкостей хранения при операциях сбора МП определяются в соответствии с требованиями к хранению изготовителя (поставщика) МП.

5.8.3 Извлечение изделий и заготовок из оборудования без очистки от МК не допускается, следует использовать все возможности (способы, приспособления, специальные устройства) для удаления частиц МК, предотвращения поступления частиц МП от изделий и внутреннего пространства оборудования в окружающую среду.

5.9 Операции обработки подразумевают модификацию (оптимизацию) свойств собранной МК, разделение (фильтрацию и просеивание) фракций МК, сушку (прокаливание, отжиг). В качестве оборудования используются вибросита, ультразвуковые сита, термо-шкафы, вакуумные шкафы, печи.

5.10 Существенным аспектом процесса обращения с МП является организация применения использованного МП. При применении использованного МП следует:

- для каждой загрузочной партии МК фиксировать соотношение использованного и первичного МП и соответствующие реквизиты партий МП;

- устанавливать максимально допустимую концентрацию использованного МП в МК, при этом вся МК имеющая в своём составе любую часть использованного МП при последующих операциях считается состоящей из использованного МП;

- допускать применение использованного МП только в случае документального подтверждения свойств (показателей) такого МП установленным требованиям.

5.11 Операции утилизации сводятся к сбору, накоплению и исключению из операций АП МП не пригодного для нужд АП, отправки данного МП на переработку и/или захоронение. К операциям утилизации также относится возврат МП с несоответствующими свойствами (показателями), выявленными при входном контроле. Сбор и накопление не пригодного МП осуществляются в герметичную тару.

5.12 При обращении с МП также проводятся вспомогательные операции:

- транспортирование;

- генерация (восстановления) защитной среды в ёмкостях хранения (упаковках);

- упаковка.

**6. Подготовка 3D модели**

6.1 В рамках подготовки 3D модели в общем случае с учётом требований ГОСТ 1.0.182- 1.013.19 выполняются следующие операции:

- проверка целостности исходной 3D модели;

- виртуальное размещение 3D модели на платформе построения и, при необходимости, генерация системы поддержек (опор);

- разбиение 3D модели и поддержек (опор) на слои с заданием технологических параметров;

- генерация управляющего машинного кода.

6.2 Операции подготовки 3D модели проводятся автоматизировано, при помощи специализированного программного обеспечения, поставляемого комплектно с 3D принтером, либо определяемого изготовителем (поставщиком) принтера. Требования к программному обеспечению, его валидации и верификации определяются с учётом требований ГОСТ Р 57700.1, ГОСТ Р 57700.2. Требования к оборудованию, персональным компьютерам, рабочим станциям, организации передачи данных определяются исходя из требований программного обеспечения с учётом характера решаемых задач.

6.3 При проведении операций подготовки 3D модели к 3D печати также следует учитывать:

- возможность одновременной печати серии изделий с учётом их компоновки;

- изготовление дополнительного количества изделий для проведения необходимых исследований, в том числе разрушающих испытаний;

- необходимость печати образцов сплавленного металла для проведения исследований его свойств (показателей).

6.4 По завершению операций подготовки 3D модели должны быть предусмотрены мероприятия, предотвращающие возможность произвольных, не согласованных надлежащим образом изменений.

**7. Подбор технологии селективного лазерного сплавления**

7.1 Подбор АТ СЛС осуществляется исходя из свойств (показателей) применяемого МП и изготовляемого изделия. Подбор может проводиться по базе данных 3D принтера или экспериментально.

7.2 При изготовлении изделий допускается использовать АТ, имеющие повторяемость (воспроизводимые результаты оценки геометрических возможностей и свойств сплавленного материала). Повторяемость оценивается не менее чем при трёхкратной 3D печати образцов, при этом расхождение между результатами испытаний и измерений образцов разных партий не должно превышать установленные значения (показатели точности). Оценка повторяемости АТ должна проводиться по следующим свойствам (показателям):

- габаритные размеры;

- чистота (шероховатости) поверхности;

- минимальные размеры полостей (отверстий, пазов, проточек);

- минимальные интервалы (зазоры) между конструктивными элементами;

- квалитет точности по ГОСТ 25346;

- химический состав сплавленного материала (возможно выборочно, по ряду элементов, газам, примесям);

- плотность сплавленного материала;

- характеристики при растяжении с учётом возможной анизотропии материала: предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение;

- ударная вязкость.

7.3 При подборе АТ фиксируются и могут варьироваться следующие технологические параметры:

- скорость печати;

- свойства (показатели) МП (МК):

- гранулометрический состав;

- химический состав;

- характеристики плотности;

- морфологические характеристики (форма частиц);

- характеристики текучести (сыпучести);

- чистота (загрязнение);

- свойства (показатели) лазерно-оптической системы:

- мощность лазера;

- режим работы лазера (непрерывный, дискретный с заданными параметрами);

- характеристики пятна лазерного пучка (размер, профиль, симметрия);

- скорость перемещения лазерного пучка;

- стратегия (алгоритм) штриховки (перемещения лазерного пучка в плоскости построения);

- алгоритмы и технологические параметры одновременной работы нескольких лазеров;

- толщина слоя МП (МК);

- температура платформы построения;

- химический состав защитной атмосферы;

- допустимые отклонения (или регламентируемые диапазоны) всех контролируемых технологических параметров.

7.4 Подбор АТ СЛС, определение технологических параметров СЛС рекомендуется проводить в 2 этапа.

7.4.1 На первом этапе, на основании имеющихся в базе данных 3D принтера АТ СЛС для аналогичных групп материалов выбираются базовые технологические параметры для отработки. Выделяются следующие группы материалов:

- ферритные стали нелегированные, низколегированные, высоколегированные;

- стали аустенитные и мартенситные;

- титан, ниобий, цирконий и их сплавы;

- алюминий, магний и их сплавы;

- никель, кобальт и их сплавы;

- молибден, вольфрам и их сплавы;

- медь, бронзы и другие медные сплавы.

Далее, при варьировании базовых технологических параметров, производится 3D печать серии малых образцов прямоугольной формы, параллелепипедов размером не менее 10х10х10 мм. При этом, каждому образцу соответствует определенный набор технологических параметров, не изменяемых (не варьируемых) при печати этого образца. Основным назначением данных образцов является определение технологических параметров, обеспечивающих конечную плотность сплавленного материала. Также целесообразно определение химического состава сплавленного материала (возможно выборочно, по элементам, газам, примесям).

7.4.2 На втором этапе, для технологических параметров, обеспечивающих конечную плотность сплавленного материала при условии обеспечения требуемого химического состава, изготовляются и исследуются образцы и пробы для оценки геометрических возможностей АТ СЛС и свойств сплавленного материала.

Для сокращения издержек, при рассмотрении нескольких вариантов технологических параметров, изготовление образцов может осуществляться поэтапно, от меньшего количества к большему, от простых (с низкой стоимостью последующих исследований) к сложным (дорогостоящим).

7.5 Подбор АТ СЛС, определение оптимальных технологических параметров СЛС следует вести с учётом следующих положений.

7.5.1 Показатели работы лазерно-оптической системы и соответствующая толщина слоя сплавляемого МП определяются из условия необходимой теплоёмкости процесса сплавления/спекания МП.

7.5.2 Соотношение между мощностью теплового источника (лазерного излучения) и скоростью его перемещения является ключевым технологическим параметром, определяющим показатели плотности (пористости) и свойства (показатели) микроструктуры.

7.5.3 Технологические параметры лазерно-оптической системы могут меняться при формировании слоя изделия, например при сплавлении контура и при сплавлении массива изделия.

7.5.4 Существенная пористость (технологическая пористость), как правило, обуславливается недостаточной мощностью сплавления (недостатком энергии для полного сплавления), характерным признаком такого несоответствия процесса является наличие в образцах, в порах или рядом с порами, не сплавленных частиц МП.

7.5.5 Использование лазера большей мощности (увеличение мощности) может привести к выбросу из плоскости (ванны) сплавления брызг расплавленного метала. Данное несоответствие может быть устранено изменением формы пятна (шейпинг) лазерного пучка, а также дискретностью режима работы лазера (в этом случае, по сравнению с непрерывным режимом работы нагрев осуществляется более плавно, снижается отражательная способность поверхности слоя МП).

7.5.6 Геометрическая точность печати, минимальный размер геометрических элементов определяется преимущественно размерами пятна лазерного пучка (размер, профиль, симметрия) и размерами частиц МП.

7.5.7 Минимальные размеры элементов и меньшая толщина слоя сплавления достигаются посредством косвенного (опосредованного) варьирования скорости застывания (охлаждения/осаждения) металла, за счёт управления подводом тепла посредством лазерного пучка. Получение протяжённых элементов конструкции изделия минимальной толщины возможно сплавлением одним проходом лазерного пучка, получение одиночных выступов – точечным касанием лазерного пучка.

7.5.8 Шероховатость поверхности по контуру изделия (боковым поверхностям), обуславливаемая послойным изготовлением изделия, может быть снижена посредством уменьшения толщины слоя.

7.5.9 Следует соотносить размер частиц и размер (высоту) формируемого слоя МП, частицы МП с диаметром более толщины формируемого слоя могут являться причинами возникновения дефектов.

7.5.10 Формирование системы поддержек (опор) должно вестись исходя из минимизации времени постобработки (для её последующего удаления) с минимально необходимым запасом прочности, с учётом предотвращения возможного коробления изделий (образцов) при 3D печати.

7.5.11 Коробление изделия и уровень остаточных напряжений в изделии могут быть снижены за счёт подогрева платформы построения.

7.6 Отработку (улучшение) АТ в части обеспечения геометрических возможностей и свойств сплавленного материала следует вести руководствуясь принципом экономической целесообразности, оценивая суммарные затраты на создание более точной АТ СЛС относительно стоимости операций постобработки изделий.

В частности, использованием более мелких частиц МП и меньшей толщины слоя приводит к существенному увеличению срока и стоимости изготовления изделия. При этом может сохраниться необходимость постобработки изделия. Проведение операций постобработки без улучшения поверхности за счет АТ 3D печати, может быть экономически более выгодно.

7.7 По завершению подбора АТ, определение технологических параметров СЛС, верификации повторяемости результатов 3D печати, соответствующего документирования результатов, должны быть приняты меры предосторожности и ограничения для предотвращения изменения установленных технологических параметров, а также контроля соответствия фактических технологических параметров, определённым при их подборе (с учётом допустимых отклонений).

**8. 3D печать изделий**

8.1 Операции 3D печати изделий осуществляются в соответствии с технической документацией 3D принтеров (руководством по эксплуатации, руководством оператора и т.д.).

8.2 Перед началом 3D печати изделий необходимо провести очистку рабочей камеры 3D принтера, проверить его работоспособность, убедиться в безопасности его функционирования, удостовериться в достаточности необходимых ресурсов, в том числе МК, газов защитной атмосферы, фактических параметров электрических коммуникаций, охлаждающей жидкости, смазки.

При изменении МК должны быть очищены от остатков предыдущего материала все накопительные ёмкости и системы подачи и сбора МК.

8.2.1 Для обеспечения работы системы охлаждения лазеров (чиллеров) необходима организация системы подготовки теплоносителя (водоподготовки).

8.2.2 Для обеспечения работоспособности системы защитной атмосферы 3D принтера необходима организация систем генерации и (или) хранения, подачи, охлаждения защитных газов (азота, аргона), соответствующей системы коммуникаций.

8.2.3 При операциях по подготовке к 3D печати требуется комплект оборудования для проведения проверок и настройки 3D принтера в соответствии с его технической документацией.

8.3 Для предотвращения сбоев при 3D печати, вызванных сбоями электропитания, следует оснащать АП резервными источниками электроснабжения. В случае отсутствия резервных источников электроснабжение в технической документации на изготовление изделий должны быть предусмотрены указания по действиям персонала при отключении электропитания в процессе 3D печати: условия возможности продолжения процесса, условия отбраковки изделий, действия персонала и требования к их документированию.

8.4 3D печать изделия должна сопровождаться записью (фиксацией) технологических параметров. Перечень параметров и частота их записи должны определяться в технической документации. Отклонение технологических параметров от установленных значений должно фиксироваться, допустимость подобных отклонений должна оцениваться.

8.5 При обслуживании систем обеспечения защитной атмосферы, при смене фильтрующих элементов при работе с пожароопасными МП должны выполняться мероприятия по минимизации пожарной опасности. В частности, рекомендуется применение модульных конструкций фильтров, сохраняющих (обеспечивающих) наличие защитной атмосферы с последующим демонтажем фильтрующих элементов в специально отведённом месте. Также возможно заполнение модульных конструкций фильтров водой или иными не горючими средами с последующей очисткой и сушкой. МП извлекаемый из фильтрующих элементов, должен утилизироваться.

**9. Постобработка**

9.1 Перечень и объём операций постобработки определяются возможностями 3D принтера, реализуемой АТ СЛС (точностью и т.д.), характером конкретного производства и выпускаемой продукции, требуемыми свойствами (показателями) изделий. Операциями постобработки могут являться:

- термическая обработка;

- отделение платформы построение;

- шлифовка платформы построения;

- удаление системы поддержек (опор);

- удаление остатков МП;

- дополнительная обработка субтрактивными технологиями.

9.2 Термическая обработка изделий и заготовок проводится с целью минимизации остаточных напряжений, стабилизации геометрии, предотвращения возможного коробления, получение требуемых свойств материалов. Виды и режимы определяются исходя из свойств (показателей) используемых материалов, в качестве оборудования, в том числе, используются печи различных конструкций, в том числе вакуумные, с защитной атмосферой, при этом максимальная температура нагрева (рабочий диапазон) печей также определяется исходя из используемых материалов. Термическая обработка изделий и заготовок, как правило, проводится совместно с платформой построения.

Горячее изостатическое прессование является одним из видов термической обработки и применяется для минимизации пористости изделий и заготовок, повышения показателей длительной прочности, трещиностойкости и ударной вязкости. Операция горячего изостатического прессования также снижает уровень остаточных напряжений и может выполняться совместно с плитой построения, до удаления системы поддержек (опор).

9.3 Отделение платформы построения производится посредством резки. Используются, в том числе, электроэрозионные станки, ленточные пилы, ручной электроинструмент, ручной слесарный инструмент.

9.4 Шлифовка платформы построения выполняется для удаления остатков системы поддержек (опор) и подготовки поверхности платформы построения к повторному использованию. Используется, в том числе, шлифовальное оборудование.

9.5 Удаление системы поддержек изделий (опор) и заготовок должно осуществляться по возможности ручным инструментом.

9.6 Удаление остатков МП с поверхности изделий и заготовок осуществляется, в том числе, посредством обдува воздухом в специальном боксе, в ультразвуковой ванне с последующей сушкой, посредством вытрясных машин (обеспечивающих вращение в двух плоскостях).

9.7 В качестве операций дополнительной обработки субтрактивными технологиями могут применяться все методы обработки металла. Целью такой обработки в первую очередь является получение необходимой геометрии изделия и заготовки, не обеспечиваемой АТ СЛС: шероховатости поверхности, квалитета точности, мелких конструктивных элементов изделия. Используются, в том числе, операции механической обработки резанием (сверление, фрезерование, нарезка резьбы и т.д.), а также операции обработки поверхности (механическая шлифовка и полировка, дробеструйная и пескоструйная обработка, галтовка и т.д.).

**10. Компетентность персонала**

10.1 Управление компетентностью персонала определяется руководящими документами системы менеджмента, формирование соответствующих процедур целесообразно осуществлять с учётом требований ГОСТ Р ИСО 10018.

10.2 При организации АП требования к обеспечению компетентности персонала сводятся к требованиям технической компетентности и требований обеспечения безопасности.

10.3 Техническая компетентность персонала определяется по направлениям:

- инжиниринг;

- 3D печать, в том числе обращение с МП;

- операции постобработки;

- контроль, исследования (измерения и испытания).

10.3.1 Квалификация персонала в части инжиниринга подразумевает под собой навыки:

- конструирования, в том числе знания особенностей АТ, иных процессов металлообработки;

- моделирования процессов механики твёрдого тела, гидро- и аэродинамики;

- прочностных расчётов;

- применения АТ:

- оптимизации изделий;

- подготовки 3D модели.

10.3.1.1 Навыки применения АТ обуславливаются опытом работы с конкретными оборудованием АТ, специализированными программными продуктами, прохождением обучений и стажировок у производителей и разработчиков соответствующих продуктов, а также в организациях использующих (внедривших) АТ.

10.3.1.2 Прочие навыки инжиниринга обуславливаются высшим техническим или специальным образованием соответствующей специальности (направления) и соответствующим опытом работ. Наличие соответствующего образования является обязательным условием для инжинирингового персонала.

10.3.2 Квалификация персонала по 3D печати, в том числе обращения с МП, также обуславливаются опытом работы с конкретным оборудованием, его программным обеспечением, прохождению обучения и стажировок у производителей и разработчиков соответствующих продуктов, в организациях использующих (внедривших) АТ. Требования к образованию специалистов в данном случае не существенны, рекомендуется техническая направленность образования.

10.3.3 При изготовлении ответственных изделий класса I – III (п. 4.5 настоящего стандарта) целесообразно установление процедуры оценки компетентности операторов 3D принтеров. Должны быть установлены и проконтролированы теоретические и практические знания операторов.

10.3.3.1 При проверке теоретических знаний, в том числе, должны оцениваться знания:

- устройства оборудования, его органов управления, защит, блокировок;

- состава и периодичности работ по техническому обслуживанию 3D принтеров;

- перечня контрольных проверок и настроек (юстировки) перед началом 3D печати;

- технологических параметров 3D печати, диапазонов их значений, их влияния на свойства получаемого изделия;

- внешних факторов, влияние которых может привести к изменениям (сбоям) 3D печати, изменению свойств изделия;

- контрольных показателей 3D печати, критериев приёмки и браковки изделий;

- дальнейшей обработки (постобработки) изделия.

10.3.3.2 При проверке практических знаний, в том числе, должно быть выполнено тестовое задание по 3D печати, в ходе которого должны быть оценены следующие действия:

- подготовка (очистка, настройка и проверка) 3D принтеров;

- загрузка МК;

- загрузка управляющего машинного кода;

- 3D печать изделия (образца);

- извлечение изделия из массива порошка;

- оценка качества 3D печати;

- операции завершения работ на 3D принтере;

- заполнение технической документации.

10.3.3.2 Оценка компетентности операторов при изготовлении ответственных изделий производится для конкретного оборудования по каждой группе материалов в соответствии с п. 7.4.1, если материал не относится к указанным группам, то для него проводится отдельная оценка компетентности.

10.3.3.3 Оценка компетентности операторов должна проводиться с установленной периодичностью, внеплановая оценка компетентности проводится при:

- неоднократном получение брака;

- перерыве в работе более 6 месяцев;

10.3.3.4 Для оценки квалификации операторов также могут проводиться тесты (обследования) на остроту зрения и цветовое восприятие.

10.3.4 Квалификация персонала в части постобработки определяется соответствующим применяемым оборудованием, требованиями к качеству (сложности) постобработки.

10.3.5 Квалификацию работников проводящих работы по контролю, исследованиям и испытаниям следует определять в соответствии с требованиями ГОСТР Р ИСО/МЭК 17025, специалисты неразрушающего контроля изделий для опасных производственных объектов должны быть аттестованы в соответствии с действующими нормативными и правовыми актами, [1].

10.4 Компетентность персонала в части обеспечения безопасности АП обеспечивается в соответствии с требованиями действующих нормативных и правовых документов, путём внутреннего и внешнего обучений, аттестаций, инструктажей, проверок знаний по возможным вредоносным факторам и потенциальным опасностям всего комплекса применяемого оборудования и процессов в соответствии с разделом 11 настоящего стандарта.

10.5 Персонал, участвующий в производственных процессах АП, должен знать:

- назначение и содержание выполняемой операции (операций) и ее связь с другими операциями АП;

- устройство и назначение обслуживаемого оборудования, ограждений и предохранительных приспособлений, обеспечивающих безопасность его эксплуатации;

- возможные опасные и вредные производственные факторы, характерные для выполняемой работы;

- способы и приемы безопасного выполнения операций;

- правила пожарной безопасности;

- правила электробезопасности (иметь квалификационную группу электробезопасности по [2]);

- способы оказания первой помощи пострадавшим при несчастных случаях.

**11. Обеспечение безопасности**

11.1 Требования к обеспечению комплексной безопасности АП сводятся к выполнению требований нормативных и правовых документов, документов по стандартизации в областях:

- охраны труда, в том числе электробезопасности;

- промышленной безопасности;

- пожарной безопасности;

- экологической безопасности.

11.2 Перечень конкретных требований к обеспечению безопасности АП определяется исходя из оснащения АП оборудованием и применяемых производственных процессов и операций, в том числе в части требований к производственным помещениям, размещению оборудования и организации рабочих мест, организации системы контроля выполнения требований безопасности.

11.3 Требования по обеспечению безопасности труда определяются в соответствии с неблагоприятными (потенциально-опасными) производственными факторами по ГОСТ 12.0.003:

- факторами механического движения:

- движущихся машин и механизмов;

- подвижных частей оборудования;

- падения, в том числе с высоты;

- ручного перемещения изделий, заготовок и материалов (тяжестей);

- температуры поверхностей оборудования, изделий, заготовок и материалов;

- температуры воздуха производственных помещений;

- запылённости и загазованности воздуха производственных помещений, включая оценку токсичности, фиброгенности, пироморфности;

- вибрации;

- акустическими факторами:

- шума;

- ультразвука;

- электрического тока, напряжения;

- электромагнитного поля;

- освещённости;

- лазерного излучения;

- ионизирующего (рентгеновского) излучения.

11.4 Требования к нормированию неблагоприятных (потенциально-опасных) производственных факторов, организации безопасных условий работ определяются действующими соответствующими:

- санитарными (санитарно-эпидемиологическими) правилами (СП), нормами (СН), правилами и нормами (СанПиН), гигиеническими нормативами (ГН);

- межгосударственными и национальными стандартами системы стандартов безопасности труда (ССБТ);

- правилами охраны труда, в том числе межотраслевыми (ПОТ), в том числе электроустановок [2].

11.5 Работники АП должны быть обеспечены средствами защиты по ГОСТ 12.4.011, соответствующими выделяющимся на рабочих местах вредным веществам.

11.5 Требования к промышленной безопасности определяются в соответствии с [3]. Опасными факторами для АП в соответствии с требованиями [3] являются:

- оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 Мпа (в составе систем обеспечения защитной атмосферы, для обеспечения операций постобработки);

- стационарно установленные грузоподъемные механизмы (вспомогательное оборудование транспортировки).

Соответствующие требования определяются [4], [5].

11.6 Требования к безопасности используемого оборудования АП определяются [6].

11.7 Требования к безопасности при получении и использовании продуктов разделения воздуха (защитных газов), проведению операций постобработки определяются [7], [8]

11.8 Требования к пожарной безопасности определяются в соответствии с [9], [10]. Определяющим требованием пожарной безопасности является определение и декларирование пожарного риска - меры возможности реализации пожарной опасности объекта и ее последствий для людей и материальных ценностей. Значение пожарного риска не должно превышать допустимых значений. Ключевым фактором, характерным для аддитивного производства, определяющим значение пожарного риска являются операции с МП, оценка возможности воспламенения пожароопасных МП исходя из их характеристик, количества (используемого объёма), способов хранения, транспортировки, иных операций обращения, производственных помещений, противопожарных мероприятий, применяемых систем и оборудования.

11.9 Требования по экологической безопасности определяются для процесса утилизации отходов АП в соответствии с [11].

11.10 Требования к системе контроля безопасности сводятся к установлению в руководящей и технической документации АП:

- перечня опасных и вредных производственных факторов;

- предельных допустимых уровней опасных и вредных производственных факторов;

- методологии контроля опасных и вредных производственных факторов, методов (методик) контроля (исследований), периодичности проведения контроля, способа документирования результатов контроля;

- необходимости проведения работ по анализу и внеочередному контролю опасных и вредных производственных факторов при изменениях в процессах АП (смены оборудования, изменения режимов работы оборудования, применения новых материалов, компонентов и т.п.).

- необходимости незамедлительного принятия мер по защите работников при превышении предельно допустимых уровней опасных и вредных производственных факторов, проведении соответствующих коррекций и корректирующих мероприятий по выявлению и предотвращению причин такого превышения;

- необходимости поверки средств измерений и аттестации методик выполнения измерений, используемых для контроля опасных и вредных производных факторов.

11.11 Требования безопасности должны распространяться на все участки АП, в том числе участки вспомогательных процессов, инфраструктуры обеспечения (IT-оборудования, энергоснабжение, газоснабжение, управление климатом производственных помещений, вентиляции, пожарной сигнализации, системы пожаротушения, охранной сигнализации и контроля доступа).

**12. Контроль качества**

12.1 Требования к контролю качества изделий АП определяются в соответствии с ГОСТ Р 1.0.182-1.017.9.

**13. Документирование и управление данными**

13.1 Требования к документированию и управлению данными, организации системы записей АП определяются в соответствии с документированной системой менеджмента эксплуатирующей организации АП в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9000.

13.2 Техническая документация АП, в том числе изделий, должна оформляться в соответствии с требованиями международных и национальных стандартов ЕСТД, ЕСКД, ЕСПД.

13.3 При документировании и управлении данными должны учитываться:

- необходимость обязательной оценки конструкции изделия для оптимизации процессов её изготовления, при этом особенностью оценки является учёт возможностей 3 D принтеров и применяемых АТ СЛС;

- целесообразность оптимизации конструкции изделий с учётом возможностей 3 D принтеров и применяемых АТ СЛС, организации предоставления соответствующих инжиниринговых услуг со стороны АП;

- возможность задания геометрии изделий посредством 3D сканирования (обратного инжиниринга), посредством оцифровки комплекта конструкторской документации.

13.4 При организации процессов документирования и управления данными АП для обеспечения верификационной базы и прослеживаемости изделий необходима организация локальной вычислительной сети с сервером (серверами) обработки и хранения данных – центра данных АП. При реализации центра данных АП должно быть обеспечено:

- проведение оптимизации (моделирования) конструкции изделий;

- подготовки цифровой модели изделия (изделий, контрольных образцов) для 3D печати;

- моделирования (оптимальный выбор) технологий изготовления изделий, выбор (определение) оптимальных технологических режимов, прогнозирование свойств (показателей) изделий в зависимости от показателей технологических режимов, управление свойствами (показателями) изделий;

- обеспечение системы хранения и управления данными АП: партий и свойств сырьевых материалов (МП, МК), параметров показателей используемых технологий изготовления, фактических показателей технологических параметров используемых технологий (3D печати, постобработки), фактических (по результатам испытаний) свойств сплавленных материалов и изделий;

- целостность данных, защита от несанкционированных изменений, дополнительные меры предосторожности для предотвращения изменений 3D моделей изделий, установленных технологических параметров, данных верификационной базы, в том числе обязательная идентификация пользователей (операторов) вносящих такие изменения.

**Приложение А (справочное). Перечень оборудования**

Таблица А.1. Базовый перечень оборудования

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  п.п. | Процесс | Операции | Возможное оборудование (наименования) |
|  | Обращение с сырьевыми материала-ми - МП | Отбор проб | Пробоотборники |
| Контроль гранулометрического состава | Системы контроля гранулометрического состава, анализаторы размера частиц, микроскопы (оптические и электронные), просеивающие машины и устройства (рассевы, грохота, сита, разделители) |
| Контроль химического состава | Р[ентгенофлуоресцентные cпектрометр](http://ndtpro.ru/product_category/analiz-himicheskogo-sostava/portativnye-rentgenovskie-analizatory/)ы, искровые оптико-эмиссионный анализаторы |
| Контроль характеристик плотности | Универсальные анализаторы порошков, воронки с мерными ёмкостями, волюмометры, газовые (гелиевые) пикнометры, весы с комплектом мер для измерения плотности, реометры, тестеры насыпной плотности |
| Контроль формы частиц (морфологии) | Микроскопы (оптические и электронные) |
| Контроль характеристик текучести | Универсальные анализаторы порошков, воронки с мерными ёмкостями, волюмометры, тестеры текучести |
| Контроль чистоты (загрязнение) | Микроскопы (оптические и электронные) |
| Рентгенофлуоресцентные cпектрометры, искровые оптико-эмиссионный анализаторы |
| Контроль влажности | Весы, печи для сушки, реактивы |
| Р[ентгенофлуоресцентные cпектрометр](http://ndtpro.ru/product_category/analiz-himicheskogo-sostava/portativnye-rentgenovskie-analizatory/)ы, искровые оптико-эмиссионные анализаторы |
| Хранение | Системы местной вентиляции с фильтрацией |
| Ёмкости для хранения и транспортировки |
| Подготовка,  обработка | Машины пересыпки, миксеры, смесители |
| Аэродинамические классификаторы, просеивающие машины (рассевы, грохота, сита, разделители), установки просеивания порошка |
| Установка чистки сит |
| Сушильный шкафы, печи |
| Ёмкости для хранения и транспортировки |
| Загрузка,  транспортировка, утилизация | Средства механизации, грузоподъёмные механизмы |
| Ёмкости для хранения и транспортировки |
| Сбор (использованного МП) | Установки 3D печати (3D принтеры), специальное оборудование комплектной поставки |
| Промышленные взрывозащищённые пылесосы |
| Герметичные системы обдува и фильтрации |
| Генерация защитной атмосферы  (в том числе для 3D печати) | Установка, генератор, станция получения защитных газов (азота, аргона, гелия) |
| Баллоны, сосуды под давлением для газов |
| Баллоны, сосуды под давлением для сжиженных газов |
| Компрессор, компрессорная станция |
| Буферная ёмкость накопитель, сосуд под давлением |
| Модули фильтрации, фильтры |
| Трубопроводы, шланги, рукава транспортировки |
| Запорно-регулирующая арматура |
| Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации |
| Упаковка (МП) | Оборудование упаковки в защитной атмосфере, тара |

Таблица А.1. Базовый перечень оборудования (продолжение)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  п.п. | Процесс | Операции | Возможное оборудование (наименования) |
|  | Подготовка модели изделия (3D модели) | - | Рабочая станция, специализированное программное обеспечение |
|  | Подбор АТ СЛС | Подбор по базе данных | База данных АТ СЛС комплектной поставки установок 3D печати (3D принтера) |
| Экспериментальный подбор технологии | Оборудование процессов 3D печати, постобработки и контроля качества по пунктам 4, 5 и 8 настоящей таблицы |
|  | 3D печать | Очистка оборудования, очистка и извлечение изделия | 3D принтер |
| Пылесос промышленный взрывозащищённый |
| Система продува и фильтрации |
| Ручной инструмент |
| Юстировка, настройка системы, контроль работоспособности | Комплект средств измерений и настроечного оборудования в соответствии с технической документацией 3D принтеры, программный комплекс управления |
| Контроль ресурсов:  - система охлаждения;  - система защитной атмосферы;  - электропитание. | Системы подготовки теплоносителя |
| Системы охлаждения, чиллеры (стабилизаторы температуры рефрижераторного типа), градирни (система замкнутого контура водооборота) |
| Система аварийного электропитания, источники бесперебойного питания, генераторы |
|  | Постобра-ботка | Термическая обработка | Печи муфельные, электропечи, с защитной средой, вакуумные |
| Отделение платформы построение | Установка электро-эррозионной резки (станок электроэррозионный), ленточный отрезной станок, ручной инструмент |
| Шлифовка платформы построения | Гриндер ленточный, фрезеровальный станок, плоско-шлифовальный станок |
| Удаление системы поддержек изделия | Монтажные столы, верстаки |
| Ручной инструмент |
| Промышленная бормашина |
| Угловая шлифовальная машина |
| Удаление остатков МП | Ультразвуковые ванны |
| Вытрясные машины |
| Система продува и фильтрации |
| Горячее изостатическое прессование | Система горячего изостатического прессования комплексной поставки в составе: аппаратно-программного комплекса управления, сосуда высокого давления, системы охлаждения, вакуумного насоса и высокотемпературной печи |
| Дополнительная обработка субтрактивными технологиями | Пескоструйная, дробеструйная установка, системы местной вентиляции с фильтрацией |
| Галтовочные машины (роторные, виброударные) |
| Резьбонарезной инструмент (оборудование) |
| Сверлильный станок |
| … |
| Нанесение покрытий | Лакокрасочное и специализированное оборудование |
| Маркировка продукции | 3D принтер |
| Гравёр, ручной инструмент, клейма |
| Маркеры, лакокрасочные материалы, инструмент |
| Хранение продукции | Стеллажи, шкафы металлические |

Таблица А.1. Базовый перечень оборудования (окончание)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  п.п. | Процесс | Операции | Возможное оборудование (наименования) |
|  | Управление компетен-тностью персонала | - | Система видеонаблюдения |
| Оборудование процессов 3D печати, постобработки и контроля качества по пунктам 4, 5 и 8 настоящей таблицы |
|  | Обеспече-ние безопа-сности производ-ства | - | Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации: датчики и аппаратно-программные комплексы контроля запылённости, температуры, химического состава воздуха |
| Предупреждающие знаки, разметка, ограждения |
| Средства индивидуальной защиты |
|  | Контроль качества | - | Ручной измерительный инструмент (штангенциркули, микрометры) |
| 3D-сканер |
| Оборудование неразрушающего контроля, в том числе рентгенографии (томограф) |
| Газовые (гелиевые) пикнометры |
| Весы, набор средств измерений для определения объёма |
| Профилометр |
| Микроскопы (оптические и электронные) |
| Р[ентгенофлуоресцентные cпектрометр](http://ndtpro.ru/product_category/analiz-himicheskogo-sostava/portativnye-rentgenovskie-analizatory/)ы, искровые оптико-эмиссионный анализаторы |
| Машина испытательная универсальная (растяжение, сжатие, кручение) |
| Машина испытательная для испытаний на удар (маятниковый копер) |
| Средство измерения теплопроводности |
| Установки для измерения твёрдости |
| Установки для измерения микротвёрдости |
| Оборудование (печь, средства нагружения и измерений) для определения ползучести |
| Установки циклических испытаний |
| Оборудование (печи, реагенты) для испытаний на жаростойкость и коррозионную стойкость |
| Установки индентирования |
|  | Документи-рование и управление данными | - | Рабочие станции (персональные компьютеры) |
| Локальная вычислительная сеть |
| Специализированное программное обеспечение |

**Библиография**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | ПБ 03-440-02. Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля |
| [2] | Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок |
| [3] | Федеральный закон № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" |
| [4] | Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» |
| [5] | Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения" |
| [6] | Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011 "О безопасности машин и оборудования" |
| [7] | Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при получении, транспортировании, использовании расплавов черных и цветных металлов и сплавов на основе этих расплавов |
| [8] | Технический регламент "О безопасности сетей газораспределения и газопотребления» |
| [9] | Федеральный закон № 69-ФЗ "О пожарной безопасности» |
| [10] | Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» |
| [11] | Федеральный закон N 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления" |

УДК: ОКС: ОКПД:

Ключевые слова: производство, проектирование, технология, сплавление, спекание, порошок, метал

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Руководитель разработки:  Генеральный директор |  | А.В. Дуб |
|  |  |  |
| Исполнитель: |  |  |
|  |  |  |
| Руководитель проекта |  | Д.В. Заболотский |