ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59930— 2021/ ИСО/АСТМ 52904: 2019

Аддитивные технологии

ПРОЦЕСС СИНТЕЗА ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА ПОДЛОЖКЕ ДЛЯ КРИТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Общие положения

(ISO/ASTM 52904:2019, Additive manufacturing — Process characteristics and performance: Practice for metal powder bed fusion process to meet critical applications, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Русатом — Аддитивные технологии» (ООО «РусАТ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

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 3 декабря 2021 г. № 1698-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО/АСТМ 52904:2019 «Аддитивное производство. Характеристики и производительность процесса. Практика синтеза на подложке с применением металлического порошка для выполнения соответствия требований критического применения» (ISO/ASTM 52904:2019 «Additive manufacturing — Process Characteristics and performance: Practice for metal powder bed fusion process to meet critical applications», IDT).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для увязки с наименованиями, принятыми в существующем комплексе национальных стандартов.

При применении национального стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов и стандартов АСТМ соответствующие им национальные и межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 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 ежемесячном 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 (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2019
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

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 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Идентификация материала 2
5 Сырье и партии порошка 3
6 Требования к персоналу 4
7 Требования к квалификации оборудования 4
8 Контроль программного обеспечения 8
9 Требования к содержанию вспомогательного оборудования 8
10 Требования к плану производства 8
11 Контроль условий окружающей среды 10
12 Контроль цифровых данных 10
Приложение А1 (справочное) Пример плана производства 12
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов и стандартов АСТМ национальным и межгосударственным стандартам 16

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аддитивные технологии

ПРОЦЕСС СИНТЕЗА ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА ПОДЛОЖКЕ ДЛЯ КРИТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Общие положения

Additive technologies. Powder bed fusion process to meet critical applications. General provisions

Дата введения — 2022—09—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на производственные операции и производственный контроль оборудования и процессов синтеза изделий из металлических порошков на подложке для соответствия требованиям к критически важным применениям, таким как конструкции авиационно-космической техники или медицинские имплантаты. Требования настоящего стандарта применимы к изделиям и образцам для исследования механических свойств, изготовляемым синтезом на подложке лазерным и электронным лучами.

1.2 Настоящий стандарт не предназначен для рассмотрения всех возможных аспектов безопасности (при наличии), связанных с его использованием. Пользователь настоящего стандарта несет ответственность за реализацию соответствующих мер безопасности, охрану здоровья и окружающей среды и за определение применимости нормативных ограничений перед использованием.

1.3 Настоящий стандарт был разработан в соответствии с признанными на международном уровне принципами стандартизации, принятыми согласно Решению о принципах разработки международных стандартов, руководств и рекомендаций, выпущенному Комитетом по устранению технических барьеров в торговле (ТВТ) при Всемирной торговой организации.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ASTM E8/E8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials (Методы испытаний на растяжение металлических материалов)

ASTM E11 Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves (Технические условия на проволочную ситоткань и испытательные сита)

ASTM E2910 Guide for Preferred Methods for Acceptance of Product (Руководство по предпочтительным методам приемки продукции)

ASTM F2924 Specification for Additive Manufacturing Titanium-6 Aluminum-4 Vanadium with Powder Bed Fusion (Технические условия на аддитивное производство титана, 6-алюминия и 4-ванадия методом синтеза на подложке)

ASTM F2971 Standard Practice for Reporting Data for Test Specimens Prepared by Additive Manufacturing (Стандартная практика представления данных об образцах для испытания, изготовленных методом аддитивного производства)

Издание официальное

ASTM F3049 Guide for Characterizing Properties of Metal Powders Used for Additive Manufacturing Processes (Руководство по характерным свойствам металлических порошков, используемых в процессах аддитивного производства)

ASTM F3122 Guide for Evaluating Mechanical Properties of Metal Materials Made via Additive Manufacturing Processes (Руководство по оценке механических свойств металлических материалов, произведенных с помощью процессов аддитивного производства)

ISO/ASTM 52900 Standard Terminology for Additive Manufacturing — General Principles — Terminology (Стандартная терминология для аддитивного производства. Базовые принципы. Основные принципы и терминология)

ISO/ASTM 52921 Terminology for Additive Manufacturing — Coordinate Systems and Test Methodologies (Стандартная терминология для аддитивного производства. Системы координат и методология проведения испытаний)

ISO 4497 Metallic powders — Determination of particle size by dry sieving (Порошки металлические. Определение размера частиц методом сухого просеивания)

ISO 6892-1 Metallic materials — Tensile testing at ambient temperature (Материалы металлические. Испытание на растяжение при комнатной температуре)

ISO 6892-2 Metallic materials — Tensile testing — Part 2: Method of test at elevated temperature (Материалы металлические. Испытание на растяжение. Часть 2. Метод испытания при повышенной температуре)

ISO 8573-1 Compressed air — Part 1: Contaminants and purity classes (Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты)

ISO 9001 Quality management systems — Requirements (Системы менеджмента качества. Требования)

ISO 9044 Industrial Woven Wire Cloth — Technical Requirements and Testing (Ткань проволочная промышленная. Технические требования и испытания)

ISO 13320 Particle size analysis — Laser diffraction methods (Гранулометрический анализ. Методы лазерной дифракции)

ISO 13485 Medical devices — Quality management systems — Requirements for regulatory purposes (Изделия медицинские. Системы менеджмента качества. Требования для целей регулирования)

ANSI/ASQC C1-1996 Specification of General Requirements for a Quality Program (Спецификации к общим требованиям программ качества)

AS 9100 Quality Management Systems — Requirements for Aviation, Space, and Defense Organizations (Системы менеджмента качества. Требования для организации авиационной, космической и оборонной отрасли)

3 Термины и определения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по АСТМ F2924, ИСО/АСТМ 52900 и ИСО/АСТМ 52921, руководству АСТМ Е2910, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **программист построения** (build programmer): Лицо, ответственное за программирование построения, включая выбор ориентации и расположения детали, компоновку деталей и применение технологических параметров, влияющих на построение.

3.1.2 **оператор установки** (machine operator): Лицо, ответственное за работу установки, в том числе, загрузку порошка, загрузку платформы построения, удаление готовых деталей, а также периодическую очистку установок и замену фильтров.

3.1.3 **ракель системы разравнивания порошка** (recoater blade): Часть установки, контактирующая с сырьем и распределяющая его по зоне построения.

Примечание — Ракель системы разравнивания порошка также называют гребенкой, рекоутером, роликом или щеткой.

4 Идентификация материала

4.1 Материал (порошок и сплавленный материал/вход и выход для процессов синтеза на подложке) идентифицируют в соответствии с технической документацией при помощи обозначений, включающих информацию, приведенную в 4.1.1—4.1.4.

4.1.1 Обозначение марки материала в соответствии с технической документацией. При отсутствии обозначения сплава должен быть указан химический состав.

4.1.2 Тип порошка — первичный, использованный, композиция или смесь.

Примечание — Под композицией порошков подразумевают смесь первичного и использованного порошка, под смесью — смесь металлических порошков различных марок.

4.1.3 Обработка поверхности: без обработки, струйная обработка, удаление поддерживающих элементов при помощи инструмента или ручной обработки, другая обработка в соответствии с технической документацией или любое сочетание видов обработки.

4.1.4 Отклонения геометрических размеров — в соответствии с требованиями технической документации или характеристиками установки синтеза на подложке.

Примечание — Пункты 4.1.3 и 4.1.4 применяют только по отношению к готовым изделиям.

5 Сырье и партии порошка

5.1 Поставщик материала должен упаковать порошок в контейнеры, обеспечивающие защиту от проникновения влаги. Необходимо исключить контакт порошка с другими материалами, например с влагопоглотителем, ярлыками или бирками.

5.2 При поставке должен быть приложен сертификат соответствия, подтверждающий, что сырье отвечает требованиям документации на поставку.

5.3 Закупка металлического порошка должна быть осуществлена в соответствии с системой менеджмента качества (СМК) у поставщика материала, присутствующего в списке утвержденных поставщиков, или у поставщика материала, указанного клиентом. Порошок должен быть проверен на предмет соответствия технической документации на материал. Допускается оценка соответствия порошка третьей стороной. Руководство по определению гранулометрического состава представлено в АСТМ F3049, ИСО 4497 и ИСО 13320.

5.4 Производитель изделий должен представить технические условия на используемое сырье, в соответствии с которыми он заказывает и проводит испытания сырья. Сырье, которое применяют при квалификации, может потребоваться повторно, при этом по мере возможности характеристики порошка, используемого для проведения квалификации, должны оставаться неизменными (например, при применении первичного сырья, когда целью квалификации является проверка стабильности работы установки в долгосрочной перспективе).

5.4.1 Технические условия на используемое сырье должны включать, в частности, требования к химическому составу, гранулометрическому составу и информацию о технологии производства.

5.5 Порошок следует хранить в защитной среде для предотвращения загрязнения и поглощения влаги.

5.6 Допускается применение использованного порошка (требования к использованному порошку при применении керамического ракеля системы разравнивания порошка приведены в 7.1.1.4.1). Соотношение первичного и использованного порошков должно быть задокументировано и заявлено для каждой серии деталей в плане производства (см. раздел 10). Автоматические системы подачи порошка могут не допускать точного измерения соотношения первичного и использованного порошков и его регистрации в плане производства. В таких системах сырье считается использованным порошком. Максимальное допустимое число применения использованного порошка, а также максимальное допустимое число обработки любой части партии порошка в рабочей камере должны быть утверждены в соответствии с 7.3.

После цикла построения любой оставшийся использованный порошок допускается смешивать с первичным порошком для обеспечения достаточного количества порошка для следующего цикла построения. Контроль основных свойств порошка, влияющих на квалификацию в соответствии с 7.3, следует проводить на регулярной основе. Весь использованный порошок подлежит просеиванию с помощью сита с подходящим размером ячеек для удаления любых агломераций. Все сита, применяемые при производстве деталей, должны иметь сертификат соответствия требованиям ИСО 9044 или АСТМ Е11.

Примечание — Реакционно-способные порошки требуют дополнительной обработки перед повторным использованием. Например, титановые сплавы рекомендуется вакуумировать для удаления остаточных кислорода, азота, водорода.

6 Требования к персоналу

6.1 Следует применять требования по квалификации персонала в соответствии с ИСО 13485, включая соответствующее образование, подготовку, навыки и опыт.

6.2 Менеджер по производству, оператор установки или программист построения (см. раздел 3) должны пройти подготовку по аппаратному и программному обеспечению установки синтеза на подложке у производителя установки или в специализированном учреждении, если это необходимо.

6.3 В отношении установок, прошедших квалификацию согласно 7.3, производитель оборудования должен обеспечить непрерывное обучение по мере приобретения и внедрения нового аппаратного и программного обеспечения. Информацию о такой подготовке следует хранить в базе данных подготовки сотрудников в соответствии с СМК предприятия (например, ИСО 9001, ИСО 13485, ASQC C1, AS 9100) для доведения, при необходимости, до сведения клиентов или внешних регулирующих органов.

6.4 Квалифицированным персоналом считаются только лица, прошедшие подготовку в соответствии с 6.1 и 6.2.

7 Требования к квалификации оборудования

7.1 Проверки перед построением

7.1.1 В этом пункте представлено описание проверок перед построением, применяемых в отношении всех построений вне зависимости от их назначения (например, планово-предупредительное техническое обслуживание, квалификация установки/процесса, построения масштабирование/калибровка работ и т. д.). Проверки перед построением должны включать пункты, приведенные в 7.1.1.1—7.1.1.13.

7.1.1.1 Ведомость технического обслуживания: проверка ведомости технического обслуживания (см. 7.2.2) и статус квалификации установки (см. 7.3).

7.1.1.2 Количество сырья: проверка наличия достаточного количество сырья, необходимого для построения.

7.1.1.3 Платформа построения (плита построения или пусковая плита): проверка соответствия серийного номера платформы построения номеру, указанному в плане производства (см. раздел 10). На поверхности платформы построения не должно быть загрязнений (включая грязь, масло или смазку) и любых дефектов, ведущих к неравномерности подложки. Платформы построения подлежат визуальной проверке и забраковке при наличии явных повреждений или несоответствий. Платформа построения должна быть размещена в установке синтеза на подложке в соответствии с инструкциями СМК.

7.1.1.4 Ракель системы разравнивания порошка: проверка совместимости материала ракеля с сырьем и сплавленным материалом, чистоты, отсутствия любых дефектов, приводящих к неравномерности наносимого слоя и равномерности зазора между ракелем системы разравнивания слоя и платформой построения во всех точках, а также дополнительная проверка требований, указанных в 10.1.2.2.

7.1.1.4.1 Перед началом построения необходимо проверить ракель системы разравнивания порошка. Оператор установки должен визуально проверить ракель системы разравнивания порошка и убедиться в том, что на ракеле отсутствуют посторонние частицы или какие-либо дефекты и что он установлен в соответствии с рекомендациями производителя установки. В установке синтеза на подложке для системы разравнивания порошка должны быть использованы только материалы, прошедшие квалификацию в соответствии с 7.3. Химический состав ракеля системы разравнивания порошка должен быть указан в плане производства. Для установок синтеза на подложке с полимерным ракелем системы разравнивания порошка необходимо подтвердить, что материал ракеля не загрязняет сырье, определив и сравнив химический состав сырьевого порошка и материала детали. Если место установки не позволяет выполнить осмотр, полимерные ракели подлежат замене на новые после завершения каждого построения. Использованное сырье, обработанное с помощью керамического ракеля, не подлежит дальнейшей обработке.

Настоящий пункт не применяется в отношении установок для синтеза на подложке, в которых для распределения порошка используют только ролики.

7.1.1.5 Вспомогательные системы (например, газовая защита, фильтры): проверка вспомогательных систем на предмет соответствия типа, надлежащей работы и чистоты (для защитного газа — класс не менее 4.8).

Примечание — Обозначение класса газа, используемое зарубежными производителями, состоит из двух цифр, разделенных точкой. Первая цифра соответствует количеству «девяток» в объемной доле газа в газовой смеси, а вторая цифра — последней значащей цифре. Таким образом, газ класса не менее 4.8 соответствует газу с объемной долей не менее 99,998 %.

7.1.1.6 Температура установки для охлаждения и расход теплоносителя: проверка температуры установки для охлаждения и расхода теплоносителя (если это применимо в соответствии с рекомендациями производителя установки). Перед каждым циклом построения записывают температуру установки для охлаждения в план производства.

7.1.1.7 Среда рабочей камеры: проверка установок, имеющих фильтры для защитного газа, на предмет отсутствия ограничений расхода во время работы установки.

7.1.1.8 Система подачи газа: проверка соответствия типа и расхода газа рекомендациям производителя для используемого сырья.

7.1.1.9 Сырье, основные параметры установки и технологические параметры: проверка корректности сырья и параметров (например, смещения луча, параметров излучения и потребляемой энергии) для данного построения.

7.1.1.10 Проверка мощности излучения: инструкции по проверке мощности лазерного излучения или мощности электронного пучка должны быть установлены производителем компонентов и включены в документацию СМК. Мощность лазерного излучения или электронного пучка должна быть измерена и записана в плане производства непосредственно перед началом построения и после завершения всех этапов построения.

7.1.1.11 Файлы электронных геометрических моделей, ориентация и расположение: проверка соответствия всех файлов электронных геометрических моделей (например, STL, AMF) версии, ориентации детали и расположению на платформе построения, указанным в плане производства.

7.1.1.12 Припуск на обработку: проверка того, что к размерам детали(ей) в соответствии с планом производства добавлен припуск на обработку.

7.1.1.13 Компоновка деталей: проверка наличия документального оформления отображения компоновки деталей на платформе построения в программном обеспечении процессора построения для синтеза на подложке должна быть задокументирована (например, посредством снимка экрана).

7.2 Планово-предупредительное техническое обслуживание (оценка сторонней организацией)

7.2.1 Установки синтеза на подложке должны проходить планово-предупредительное техническое обслуживание (ПТО) с привлечением квалифицированных технических специалистов с рекомендованной производителем установки частотой (например, каждые 6 мес или после определенного количества часов работы). Использование установок синтеза на подложке с истекшим сроком прохождения ПТО не допускается. Прохождение ПТО должно подтвердить эффективность работы установки и ее компонентов, влияющих на качество продукции. ПТО должно включать работы, описанные в 7.2.1.1—7.2.1.8.

7.2.1.1 Мощность лазерного излучения или электронного пучка: проверка нахождения характеристик излучения в пределах допусков, рекомендованных производителем установки, а также контроль соответствия выходной мощности лазерного или электронного излучения значению, заданному в программном обеспечении согласно рекомендациям производителя установки или требованиям технической документации, в зависимости от того, какие требования являются более строгими. При измерении и мониторинге мощности лазера учитывают неопределенность калибровки датчиков мощности. При приемке установки от поставщика оборудования могут потребоваться более полные измерения качества излучения, например: скорость включения/выключения, колебания мощности после определенного количества часов работы, отклонения профиля излучения в пределах платформы построения. Определение критериев приемки установки не входит в область применения настоящего стандарта.

7.2.1.2 Характеристики лазерного излучения или электронного пучка на поверхности платформы построения: измерение характеристик лазерного излучения или электронного пучка по возможности на левой, правой, передней и задней частях платформы построения (т. е. в крайних точках платформы построения), а также в обязательном порядке в центре платформы построения при 100 % мощности лазера или необходимой мощности электронного пучка. Характеристики лазерного излучения или электронного пучка во всех точках измерения для каждого источника энергии должны соответствовать

рекомендациям производителя установки или требованиям технической документации в зависимости от того, какие требования являются более строгими.

Примечание — Измерения качества и мощности излучения, указанные в 7.2.1.1 и 7.2.1.2, предназначены для внутриоперационного контроля с целью предотвращения нежелательных изменений энергетической плотности.

7.2.1.3 Проверка позиционирования пучка: контроль отклонения положения пучка в соответствии с данными программного обеспечения от его фактического положения в пределах допусков, рекомендованных производителем установки, или допусков, установленных производителем компонентов.

7.2.1.4 Перемещение по оси *Z*: проверка отклонения управляемого программой и фактического перемещения слоя на предмет его соответствия рекомендациям производителя установки или требованиям технической документации в зависимости от того, какие требования являются более строгими.

7.2.1.5 Расположение системы разравнивания порошка: контроль размещения ракели системы разравнивания порошка в пределах допусков, рекомендованных производителем установки.

7.2.1.6 Сжатый воздух: контроль состояния сжатого воздуха, используемого в установках синтеза на подложке, при проведении каждого ПТО на предмет загрязнений в соответствии с ИСО 8573-1, а также настройка необходимого давления и проверка всех штуцеров и соединений.

7.2.1.7 Кислород и вакуум: замена датчиков кислорода в соответствии с графиком, рекомендованным производителем установки, а также их калибровка по меньшей мере в двух точках концентрации кислорода. Система разрежения воздуха должна соответствовать рекомендациям производителя установки, а метод ее калибровки должен быть доступен.

7.2.1.8 Система настройки лазерного поля (LFA): контроль прохождения системой настройки лазерного поля установок, использующих несколько лазеров, калибровки в соответствии с рекомендациями производителя установки. Производитель квалифицированной установки должен предоставить требования к допускам для системы настройки лазерного поля.

7.2.1.9 Прочее рекомендуемое ПТО: проверка выполнения всех прочих работ планово-предупредительного технического обслуживания в соответствии с руководством по эксплуатации или обслуживанию.

7.2.2 Запись о прохождении ПТО должна быть задокументирована, датирована, подписана квалифицированным техническим специалистом в документе о прохождении ПТО установки синтеза на подложке и утверждена отделом контроля качества производителя компонентов. Данный документ должен быть расположен на установке синтеза на подложке с указанием даты ПТО и даты следующего ПТО. Работы по ПТО должны быть проконтролированы в соответствии с установленной процедурой (например, руководством ASTM E2910).

7.3 Квалификация установки, компонентов и процесса

7.3.1 Составляют квалификационный план производства (в соответствии с разделом 10) и используют его для построения образцов для испытаний, предназначенных для квалификации. После проверки результатов квалификационного построения параметры, использовавшиеся для квалификации, регистрируют в качестве базовых параметров для синтеза на подложке и определяют параметры для последующих построений (см. 7.3.3).

7.3.2 Платформа построения (плита построения или пусковая плита)

Производитель изделий должен иметь технические условия на платформу построения. Все платформы построения, применяемые для синтеза на подложке, должны соответствовать техническим условиям, включая требования по качеству поверхности, плоскостности и параллельности. Допускается восстановление поверхности платформ построения. Все платформы построения должны иметь серийный номер с указанием, как минимум, материала. Различные материалы (материал платформы построения и детали) могут быть использованы при условии, что химический состав детали соответствует расчетным значениям. Если изделие непосредственно контактирует с платформой построения (без опорной конструкции), зону перекрестного загрязнения детали необходимо устранить соответствующим способом (например, химическим или механическим).

7.3.3 Образцы для испытания (сплавленный материал) подлежат(ит) контролю на предмет химического состава, микроструктуры, пористости и механических свойств согласно соответствующему стандарту или договоренности между производителем деталей и заказчиком. Химический состав образцов для испытаний проверяют на предмет соответствия требованиям к химическому составу, указанным в технических условиях для сплавленного материала. Производитель деталей должен изготовить образ-

цы для испытания на растяжение по АСТМ Е8, АСТМ Е8М или ИСО 6892 и дополнительные образцы для испытаний по меньшей мере в пяти точках платформы построения, как показано на рисунке 1. Рекомендуется изготовить также образцы для испытания на растяжение, синтезированные вдоль оси *Z*, но это требование не является обязательным. В руководстве АСТМ F3122 содержатся инструкции по оценке механических свойств металлических материалов, произведенных при помощи синтеза на подложке. Заказчик может потребовать проведения других квалификационных испытаний. Результаты испытаний предоставляются клиенту для утверждения в формате, соответствующем АСТМ F2971. После утверждения все параметры установки, использовавшиеся для изготовления образцов для испытания, фиксируют в качестве базовых параметров установки. Свидетельство, подтверждающее соответствие установки базовым параметрам, должно быть размещено на виду у операторов установки. Данное свидетельство сохраняет действие в отношении всех последующих циклов построения, пока не потребуется проведения повторного квалификационного испытания установки синтеза на подложке.

7.3.3.1 Рабочий участок образца для испытания на растяжение, если это указано в технической документации заказчика, допускается оставлять без постобработки при условии, что в ходе процесса синтеза на подложке на рабочий участок не добавляются опорные конструкции.

7.3.3.2 Производитель изделий и заказчик должны согласовать способ подтверждения постоянства свойств сплавленного материала по платформе построения для систем с несколькими источниками энергии.

Примечание — В качестве подтверждения постоянства свойств сплавленного материала эффективно применяют испытание пяти образцов, синтезированных в разных частях объема построения, соответствующих каждому источнику энергии.

7.3.3.3 В рамках проведения квалификации изготавливают эталонную деталь, выступающую показателем качества построения, и измеряют ее размеры. В дальнейшем эталонная деталь должна быть включена в каждый производственный цикл построения. Для обеспечения репрезентативности образцов для испытаний и эталонной детали при изготовлении последующих деталей после построения применяют аналогичные операции постобработки (например, термическая обработка).

7.3.4 Когда такие критические параметры, как мощность излучения и скорость сканирования, динамически изменяются в процессе построения (например, по причине геометрической формы детали или характеристик ванны расплава), допускается применение параметров, отличных от параметров, использовавшихся для квалификационного испытания в соответствии с разделом 7. Такие отклонения регистрируют в соответствии с требованиями СМК. При наличии различий между параметрами, используемыми для квалификации, и параметрами для производственных партий необходимо включить и испытывать в рамках каждого цикла построения образцы для испытаний по АСТМ Е8, АСТМ Е8М или ИСО 6892, отражающие геометрию изделий (см. рисунок 1).



Рисунок 1 — Пример заготовок образцов для испытания на растяжение
и дополнительных образцов для испытания в пяти точках платформы построения

7.3.5 Производитель должен проводить квалификацию установки по меньшей мере каждые 6 мес или в случаях, приведенных в 7.3.5.1—7.3.5.4.

7.3.5.1 Установка или ее подсистемы, способные повлиять на качество детали, перемещаются в другое место, в том числе в пределах одного помещения.

7.3.5.2 Установка проходит повторную калибровку или ремонт, и ремонт затрагивает компоненты установки (например, систему лазерного излучения или электронного пучка, оптику, систему подачи сырья или механизм позиционирования платформы).

7.3.5.3 Проводят модификацию, изменение, обновление или переустановку программного обеспечения установки, операционной системы или постоянной памяти.

7.3.5.4 Установку перестраивают для использования сплавов, отличных от сплавов последнего построения (например, переход от сплавов на основе титана к сплавам на основе алюминия или от сплавов на основе никеля к сплавам на основе титана). Необходимо исключить любой риск перекрестного загрязнения.

7.3.6 После завершения квалификации выдают свидетельство о квалификации конкретной установки. Данное свидетельство размещают на виду у операторов установки.

7.3.7 Изменение температуры образца во время построения зависит от площади сплавляемого материала в каждом слое и от временного интервала сплавления в рамках цикла построения. В соответствии с 7.3.4 и отдельными требованиями заказчика помимо квалификации установки и процесса может потребоваться квалификация детали с учетом количества деталей на цикл построения.

8 Контроль программного обеспечения

8.1 Производитель изделий должен записывать и хранить информацию обо всем программном обеспечении, системах автоматизированного проектирования (CAD) и схемах компоновки деталей, используемых при производстве изделий, включая информацию, приведенную в 8.1.1—8.1.6.

8.1.1 Версия программного обеспечения установки синтеза на подложке в соответствии с планом производства (см. раздел 10).

8.1.2 Файлы CAD, предоставленные или утвержденные заказчиком.

8.1.3 Изменения файлов CAD клиента в соответствии с разделом 12 и файлы типа AMF и STL, полученные из предоставленных клиентом файлов CAD.

8.1.4 Файлы нарезки или слоев, используемые установками синтеза на подложке.

8.1.5 Изометрический вид схемы компоновки деталей и построения (например, снимок экрана).

8.1.6 Файл журнала построения установки синтеза на подложке.

8.2 Другие предоставленные клиентом электронные данные, чертежи, технические задания, файлы журнала установки для синтеза на подложке или их комбинации должны быть сохранены. Информация о нескольких циклах построения в рамках одной производственной партии должна быть записана под уникальным номером плана производства.

8.3 Рекомендуется использовать программные продукты для управления производством, автоматизирующие выполнение требований настоящего раздела.

9 Требования к содержанию вспомогательного оборудования

9.1 Вспомогательное оборудование (например, сита, ручные инструменты, электроинструменты, системы транспортирования порошка и механизмы загрузки/выгрузки) подлежит очистке и техническому обслуживанию для предотвращения перекрестного загрязнения различными типами сырья, пылью и посторонними объектами.

9.2 Особое внимание обращают на инструменты, применяемые в пространстве построения установки синтеза на подложке, для предотвращения загрязнения сырьем. Любые инструменты или принадлежности, используемые в пространстве построения, например шпатели, ключи, вакуумные устройства и т. д., должны обеспечивать отсутствие загрязнения. При сборе первичного или использованного сырья не допускается применение полимерной щетки. Не допускается применять для очистки установки чистящие или обезжиривающие средства на цитрусовой основе.

10 Требования к плану производства

10.1 Производитель изделий должен иметь план производства (план производства также называют журналом производственных операций, техническим планом-схемой, маршрутным листом или рабочим заданием), в котором подробно описана последовательность шагов процесса синтеза на под-

ложке. План производства должен включать последовательность операций синтеза на подложке, в том числе информацию, установленную в 10.1.1—10.1.6.

10.1.1 Журнал выполнения всех проверок перед построением в соответствии с 7.1.

10.1.1.1 Припуск на обработку, добавленный к детали в соответствии с планом производства.

10.1.1.2 Данные о компоновке деталей на платформе построения (например, снимок экрана).

10.1.1.3 Эталонные детали, используемые для определения качества построения или соответствия геометрическим допускам.

10.1.2 Настройки установки для синтеза на подложке, включая серийный номер установки, ее подсистем и лазера(ов) (при наличии).

10.1.2.1 Запись о том, что мощность лазерного излучения или электронного пучка измерена, и данные внесены в план производства. Установки с мощностью лазерного или излучения электронного пучка, не соответствующие требованиям 7.2.1.1 и 7.2.1.2, не допускаются к работе.

10.1.2.2 Отметка относительно того, что платформа построения установлена и выровнена в соответствии с рекомендациями производителя установки или рабочими инструкциями для установок с ручной загрузкой, или отметка об отсутствии ошибок при автоматической загрузке платформы построения.

10.1.2.3 Запуск цикла построения не допускается до тех пор, пока параметры содержания кислорода, вакуума или кислорода и вакуума в рабочей камере не будут соответствовать требованиям, установленным для используемого сырья. Датчики кислорода должны быть расположены в местах, обеспечивающих наиболее точное измерение содержания кислорода на подложке.

10.1.3 Отметка о том, что сырье соответствует плану производства.

10.1.4 Время запуска цикла построения, выполнения построения и завершения построения, включая время охлаждения.

10.1.5 Информация о термической обработке, в том числе о снятии напряжений, горячем изостатическом прессовании (HIP) и закалке.

10.1.5.1 Термическая обработка может быть проведена до или после удаления поддерживающих элементов и до механической обработки. Производитель изделий и заказчик должны согласовать любую дополнительную термообработку. Термическую обработку должны выполнять только поставщики из списка утвержденных поставщиков.

10.1.5.2 При необходимости изделия должны пройти процедуру снятия напряжений, пока они прикреплены к платформе построения, в соответствии с требованиями, установленными для используемого сырья, и с указаниями в плане производства.

10.1.6 Температура и влажность окружающей среды (см. раздел 11).

10.2 Характеристики излучения (включая диаметр и мощность пучка) должны оставаться в пределах указанного допуска в течение всего построения. Это можно проверить с помощью программного обеспечения установки либо путем измерения данных характеристик перед циклом построения и непосредственно после его завершения. Если характеристики излучения не соответствуют установленным требованиям, все детали, полученные при построении, подлежат отбраковке.

10.3 Незапланированные прерывания процесса построения во время цикла построения установки синтеза на подложке должны быть обозначены в плане производства как неудачные построения. Все детали, полученные при неудачном построении, подлежат отбраковке. В дальнейшем комиссия по проверке материалов (см. ИСО 9001) может принять отбракованные детали, на которые не повлияло прерывание построения.

10.4 После завершения цикла построения все несплавленное сырье подлежит удалению из установки синтеза на подложке и хранению в соответствующем контейнере, при этом сырье обозначают как использованное. Отклонение от данного положения требует проведения квалификации, подтверждающей отсутствие воздействия на качество детали. Автоматические системы подачи сырья не должны перемещать сырье из рабочей камеры обратно в механизм подачи без предварительного подтверждения того, что эти операции не оказывают отрицательного влияния на качество детали.

10.5 По мере возможности удаление порошка после построения должно быть проведено в соответствии с рекомендациями производителя установки. Порошок должен быть удален подходящим способом (например, с помощью сжатого газа в ограниченном пространстве, щетки или вакуума). План производства может предусматривать вторичные операции для упрощения процесса удаления несвязанного порошка изнутри деталей. Порошок, собранный вне ограниченного пространства (например, системы возврата порошка), не подлежит повторному использованию. В плане производства могут быть предусмотрены ультразвуковые или звуковые методы очистки при определенной геометрии детали.

Примечание — При применении настоящего стандарта в отечественной практике необходимо учитывать требования стандартов единой системы технологической документации.

11 Контроль условий окружающей среды

11.1 Установки синтеза на подложке следует эксплуатировать в контролируемой атмосфере для предотвращения загрязнения под воздействием других технологических процессов и других технологий производства порошка.

11.2 Операторы установок и сит для предотвращения загрязнения органическими веществами должны использовать средства индивидуальной защиты, включая халаты, перчатки, сетки для волос и респираторы.

11.3 Температуру и влажность следует контролировать и записывать в плане производства (см. раздел 10). Условия должны соответствовать рекомендациям производителя установки.

11.4 Требования к условиям окружающей среды на месте монтажа установки должны соблюдаться постоянно.

12 Контроль цифровых данных

12.1 Производитель изделий должен иметь метод ручного или автоматического контроля конфигурации технических файлов для обеспечения выполнения синтеза на подложке и, при необходимости, для окончательной обработки в соответствии с необходимым файлом, соответствующим заказу.

12.2 Производитель изделий должен провести проверку качества для того, чтобы убедиться в том, что полученные технические файлы не изменены или повреждены при передаче и что файлы CAD не содержат математических ошибок (например, при использовании пакета программного обеспечения третьей стороны). Элементы поддержки, добавленные для обеспечения синтеза на подложке, не считаются модификациями первоначальной формы.

12.3 Если в электронной модели детали, используемой для построения, внесены модификации относительно первоначальной формы, полученной от клиента, модификация должна быть выполнена в формате технического файла, допускающего контроль геометрической формы детали (см. рисунок 2). Модифицированные файлы CAD проверяют таким же образом, как и в 12.2.

12.4 Если технические файлы, например файлы CAD, в целях использования для синтеза на подложке преобразуют в триангулированные поверхности, разрешение триангуляции поверхностей должно быть выше, чем разрешение установки синтеза на подложке, указанное для эталонной детали в 7.3.3.3.

12.5 При каждой передаче файлов CAD, необходимых для процесса синтеза на подложке, необходим контроль в соответствии с 12.1.

12.6 На рисунке 2 приведена блок-схема контроля конфигурации цифровых данных, где формат файла STEP преобразован из основного файла CAD, а промежуточный формат AM использовался для программирования построений.

Примечание — Установки синтеза на подложке с возможностью программирования построений на базе основных файлов CAD значительно снижают вероятность ошибок контроля конфигурации.

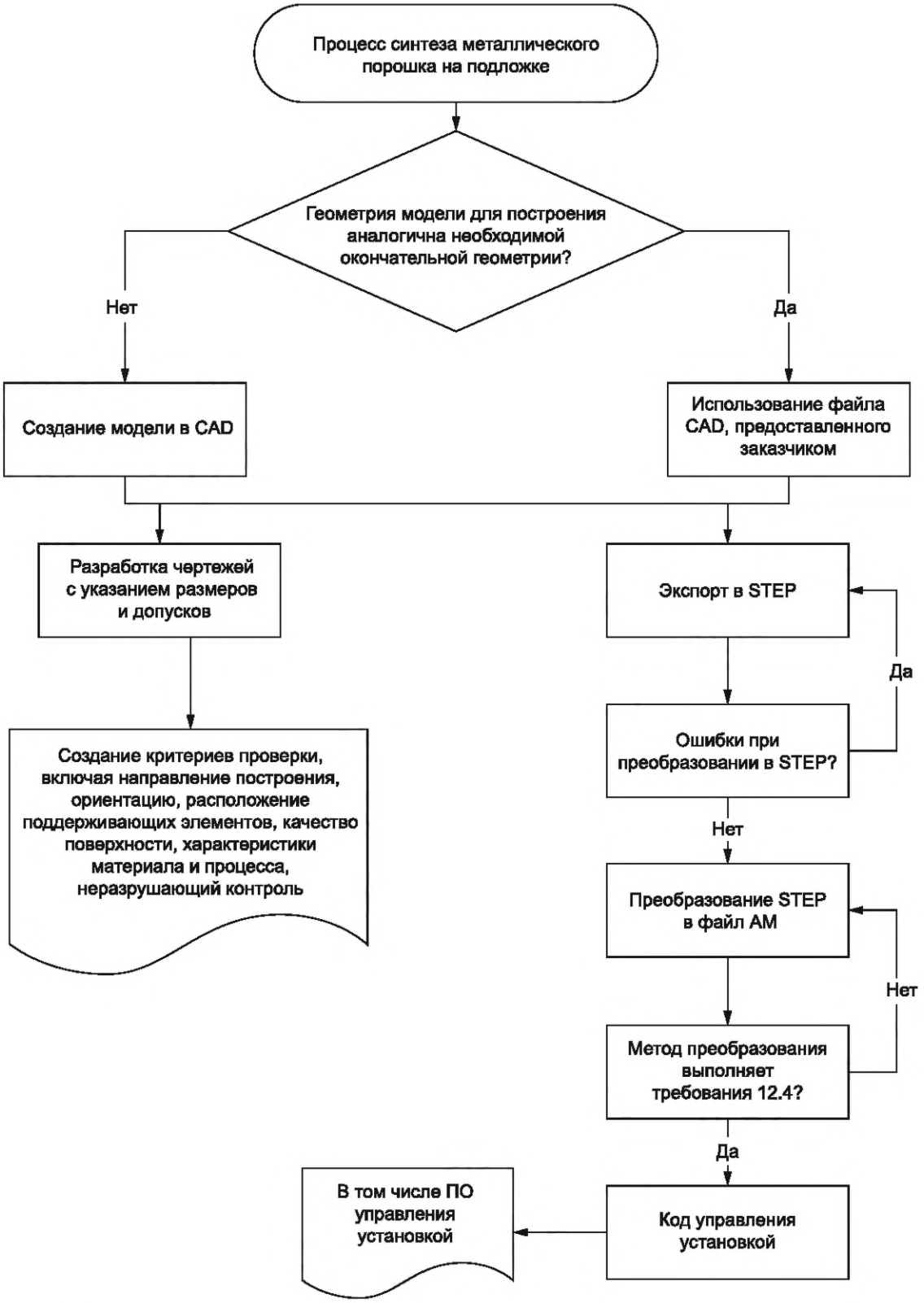

Рисунок 2 — Блок-схема контроля конфигурации цифровых данных, где файл формата STEP преобразуют из основного файла CAD, а промежуточный формат AM используют для программирования построений

Приложение А1
(справочное)

Пример плана производства

Дата начала работы	
Дата завершения работы	
Общее количество часов синтеза на подложке	
Дата поставки	

Информация о заказчике	
Номер заказа	
Договор	

План рассмотрен:		Подпись
Отдел продаж:		
Отдел производства:		
Отдел качества:		

Номер детали	Версия	Количество в партии	Количество циклов построения

		Подпись
Наименование файла построения:		
Серийный номер установки		
Серийный номер лазера		
Наименование марки сырья		
Параметры установки		
Серийный номер платформы построения		
Состояние сырья (первичное, использованное или композиция)		
Термообработка	SR[1)], ANN[2)], HIP[3)],STA[4)], др.	
Тип материала системы разравнивания порошка		
Мощность лазера перед построением		
Мощность лазера после построения		
Номер партии сырья		
Соотношение первичного и использованного сырья	%	
Наименование файла журнала построения		

[1)] Снятие напряжений.

[2)] Отжиг.

[3)] Горячее изостатическое прессование.

[4)] Аустенизация и последующее старение.

Отметки о завершении и контроле каждой операции

№	Операции	Дата	Принято	Отклонено	Подпись
100	Проверка работы				
101	Получение задания от технического отдела				
102	Подтвердите, что версия файла корректна и соответствует заказу[1)]				
103	Проверьте соответствие ориентации построения техническим требованиям				
104	Подтвердите, что маркировка и расположение деталей соответствуют техническим требованиям				
105	Настройте цикл построения и проверьте действие сертификата установки				
106	Укажите количество деталей для цикла построения				
107	Подтвердите, что снимок экрана настройки построения соответствует рабочему заданию				
108	Подтвердите, что настройка установки произведена в соответствии с рабочими инструкциями				
109	Подтвердите, что номер партии порошка соответствует рабочему заданию				
110	Укажите соотношение первичного и использованного порошка выше				
111	Проверьте правильность и достаточность подачи технологического газа во время построения				
200	Начало построения				
201	Укажите время начала построения				
202	Укажите задачу в дневном журнале построения установки				
203	Убедитесь, что уровень кислорода в рабочей камере постоянно контролируется				
300	Завершение построения				
301	Укажите время завершения построения выше				
302	Укажите общее количество часов построения выше				
303	Просмотрите файл журнала построения и забракуйте все детали в случае нежелательных прерываний построения				
304	Удалите порошок из порошкового массива с деталью в соответствии с рабочими инструкциями				
305	Переместите платформу построения на следующую операцию				
306	Измерьте мощность лазера в соответствии с рабочими инструкциями				

[1)] При проверке соответствия детали заказу проверяют, что к размерам детали добавлен припуск на обработку.

№	Операции	Дата	Принято	Отклонено	Подпись
307	Укажите название файла журнала построения выше				
308	Просмотрите файл мониторинга процесса на предмет аномалий построения и примите детали в соответствии с рабочими инструкциями				
400	Обработка платформы построения				
401	Оставьте детали на платформе построения, если это применимо				
402	Удалите с деталей любой несвязанный порошок. Порошок, входивший в контакт с полимерной щеткой, подлежит утилизации				
403	Проведите визуальный осмотр на наличие посторонних материалов или аномалий построения				
404	Выполните проверку размеров с использованием эталонной детали				
500	Термическая постобработка				
501	Выполните термическую постобработку в соответствии с рабочим заданием				
502	Выполните проверку размеров с использованием эталонной детали				
503	При необходимости проведите неразрушающий контроль				
600	Вспомогательные операции				
601	При необходимости удалите детали с платформы построения				
602	При необходимости выполните обработку испытательных образцов				
603	При необходимости удалите опорную конструкцию				
604	Выполните механическую обработку деталей в соответствии с рабочим заданием				
700	Неразрушающий контроль				
701	Выполните неразрушающий контроль в соответствии с рабочим заданием				
800	Представление данных				
801	Составьте пакет данных, включая сертификат соответствия сырья, данные испытания сырья, результаты испытания образцов (химический состав и механические свойства), настройки построения, журнал построения, отчет о проверке по эталонной детали, данные проверки размеров, отчет о проведении неразрушающего контроля				

ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ПРИЕМКА

№	Номер детали/обозначение	Версия	Общее количество принятой продукции	Общее количество несоответствующей продукции	Подпись
1					

Примечания:
Следует приводить информацию о сырье, поставляемом заказчиком

Примечания по осмотру: (описание любых несоответствий)

Окончательное завершение контроля: _____

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов и стандартов АСТМ национальным и межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта, стандарта ASTM	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального, межгосударственного стандарта
ASTM E8/E8M	IDT	ГОСТ 1497—84 (ИСО 6892—84) «Металлы. Методы испытаний на растяжение»
ASTM E11	IDT	ГОСТ Р 51568—99 (ИСО 3310-1—90) «Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия»
ASTM E2910	NEQ	ГОСТ 15.309—98 «Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения»
ASTM F2924	NEQ	ГОСТ Р 59185—2020 «Аддитивные технологии. Изделия, полученные методом селективного лазерного сплавления из металлопорошковой композиции титанового сплава марки ВТ6. Общие технические требования»
ASTM F2971	MOD	ГОСТ Р 59584—2021 «Аддитивные технологии. Представление результатов испытаний. Общие требования»
ASTM F3049	NEQ	ГОСТ Р 59035—2020 «Аддитивные технологии. Металлопорошковые композиции. Общие требования»
ASTM F3122	NEQ	ГОСТ Р 57587—2017 «Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Методы контроля и испытаний»
ISO/ASTM 52900	IDT	ГОСТ Р 57558—2017 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения»
ISO/ASTM 52921	MOD	ГОСТ Р 59585—2021 (ISO/ASTM 52921:2013) «Аддитивные технологии. Системы координат. Общие положения»
ISO 4497	IDT	ГОСТ 18318—94 «Порошки металлические. Определение размера частиц сухим просеиванием»
ISO 6892-1	IDT	ГОСТ 1497—84 (ИСО 6892—84) «Металлы. Методы испытаний на растяжение»
ISO 6892-2		
ISO 8573-1	IDT	ГОСТ Р ИСО 8573-1—2016 «Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты»
ISO 9001	IDT	ГОСТ Р ИСО 9001—2015 «Системы менеджмента качества. Требования»
ISO 9044	IDT	ГОСТ Р 51568—99 (ИСО 3310-1—90) «Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия»
ISO 13320	IDT	ГОСТ Р 8.777—2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Дисперсный состав аэрозолей и взвесей. Определение размеров частиц по дифракции лазерного излучения»
ISO 13485	NEQ	ГОСТ ISO 13485—2017 «Изделия медицинские. Системы менеджмента качества. Требования для целей регулирования»

Окончание таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта, стандарта ASTM	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального, межгосударственного стандарта
ANSI/ASQC C1—1996	NEQ	ГОСТ Р ИСО 9001—2015 «Системы менеджмента качества. Требования»
AS 9100	—	*,[1)]

В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандарта:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты;
- NEQ — неэквивалентные стандарты.

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 58876—2020 «Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной отраслей промышленности. Требования», идентичный ДИН ЕН 9100—2018.

УДК 669.02:006.254 ОКС 25.040.99

Ключевые слова: аддитивные технологии, синтез на подложке, критические применения, организация аддитивного производства, системы аддитивного производства, металлический порошок, металлопорошковая композиция

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 07.12.2021. Подписано в печать 12.01.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,37.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru