ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО/АСТМ 52950— 2022

Аддитивные технологии

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Общие положения

(ISO/ASTM 52950:2021, Additive manufacturing — General principles — Overview of data processing, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Русатом — Аддитивные технологии» 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 2 августа 2022 г. № 711-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО/АСТМ 52950:2021 «Аддитивное производство. Общие принципы. Обзор обработки данных» (ISO/ASTM 52950:2021 «Additive manufacturing — General principles — Overview of data processing», IDT).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5) и для увязки с наименованиями, принятыми в существующем комплексе национальных стандартов. Дополнительные сноски в тексте стандарта, выделенные курсивом, приведены для пояснения текста оригинала.

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

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р 57590—2017

*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, 2021
© 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 1
4 Обмен данными 2
4.1 Поток данных 2
4.2 Форматы данных 4
4.3 Подготовка данных 5
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам 8
Библиография 9

Введение

Целью настоящего стандарта является установление общих рекомендаций пользователям (потребителям) и производителям (как внешним, так и внутренним поставщикам услуг) для взаимодействия между клиентом и поставщиком, а также для обеспечения возможности предварительного планирования и сопровождения производства.

В настоящем стандарте процессы, используемые на практике, объяснены настолько подробно, насколько это необходимо для понимания положений с учетом наличия базового представления о различных аддитивных процессах.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аддитивные технологии

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Общие положения

Additive technologies. Presentation and processing of technological process data. General provisions

Дата введения — 2022—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие положения по представлению и обработке данных в аддитивном производстве. Настоящий стандарт содержит термины и определения, применяемые при представлении и обработке данных о продукции, изготавливаемой с применением аддитивных технологических процессов. Описание способов обработки данных, приведенное в настоящем стандарте, включает описание типов файлов, структурирования данных и задач, для решения которых данные могут быть использованы.

В настоящем стандарте представлены:

- форматы для обмена данными, используемые в аддитивных технологических процессах;
- существующие способы создания геометрических форм для аддитивного производства;
- актуальные форматы файлов, используемые в рамках современного аддитивного производства;
- сведения о том, какие требования необходимы для обмена данными.

Настоящий стандарт предназначен для потребителей и производителей продукции аддитивного производства и соответствующего программного обеспечения и может быть применен для аддитивных процессов, в частности:

- производителями аддитивных систем и оборудования, включая программное обеспечение;
- инженерами-программистами, работающими в системах автоматизированного проектирования (САПР) и системах автоматизированной технологической подготовки производства (САМ);
- разработчиками систем обратного проектирования;
- производителями и потребителями продукции при установлении соответствия номинальных и фактических значений геометрии изделия.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO/ASTM 52900 Standard Terminology for Additive Manufacturing — General Principles — Terminology (Аддитивное производство. Базовые принципы. Основные принципы и терминология)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО/АСТМ 52900, а также следующий термин с соответствующим определением.

Издание официальное

ИСО и МЭК поддерживают терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- онлайн-платформа ИСО, доступная по адресу: gost.e-ecolog.ru
- электропедия МЭК, доступная по адресу: gost.e-ecolog.ru

3.1 **полигонизация** (polygonization): Создание цифровой модели поверхности в виде большого числа соединенных многоугольников (полигонов).

Примечание 1 — Создание цифровой модели поверхности в виде большого числа соединенных треугольников называют триангуляцией.

Примечание 2 — В аддитивном производстве полигонизация/триангуляция является операцией, проводимой при помощи программного обеспечения, которое используется для создания полигональной фасеточной модели из облака точек или объемной геометрической модели САПР.

Примечание 3 — Под полигоном подразумевают плоскость в трехмерном пространстве, ограниченную тремя или более ребрами, определяемую, как правило, координатами ее вершин.

4 Обмен данными

4.1 Поток данных

4.1.1 Общие положения

Полный набор геометрических данных изделия составляет основу аддитивного производства. Чаще всего набор данных получают путем прямого трехмерного моделирования в САПР. При наличии изготовленной детали набор данных также может быть получен с помощью измерений (см. рисунок 1).

Примечание — Схема на рисунке 1, представленная в настоящем стандарте, нацелена только для демонстрации обработки данных в процессе аддитивного производства и не учитывает отдельные этапы, необходимые для обеспечения качества готовой продукции, такие как моделирование технологического процесса, анализ качества производства, прогнозирование дефектов (в частности, коробления) и последующая коррекция фасеточной модели с целью предупреждения дефектов.

В дальнейшем на основе объемной или плоскостной модели при помощи полигонизации или триангуляции (см. 4.1.2.4) формируют представление детали в виде фасеточной модели и передают в процесс производства в виде файла подходящего формата. Данную операцию проводят по мере возможности автоматизированно при помощи программного обеспечения.

4.1.2 Объяснение ключевых терминов, используемых на рисунке 1

4.1.2.1 Моделирование в САПР (объемное моделирование)

Моделирование в САПР — процесс, наиболее часто используемый при проектировании для создания электронной геометрической модели. Отправной точкой является идея продукции, которая принимает форму и становится все более определенной по мере создания электронной геометрической модели, или ранее созданный образ объекта в виде эскизов, чертежей и т. д., которые в дальнейшем конвертируют в геометрические данные в САПР. Геометрическая форма изделия может быть описана с помощью двух различных методов или их комбинации. Геометрическую форму изделия составляют либо из элементарных объемов (форм) (например, прямоугольного параллелепипеда, призмы, цилиндра, конуса, сферы и тороида), которые с помощью последовательности логических операций образуют реальный объект, или описывают при помощи граничных поверхностей и расположения материальных точек относительно граничных поверхностей.

4.1.2.2 Преобразование в трехмерную модель

Преобразование в трехмерную модель — это процесс, при котором с использованием соответствующего оборудования и программного обеспечения определяют геометрию поверхности физического объекта и записывают ее в виде облака точек. Объекты могут быть созданы вручную или с использованием готовых моделей, которые должны быть скопированы в цифровой форме. При необходимости создания трехмерной модели на основе имеющейся физической модели сложной формы более эффективным является применение реверса инжиниринга с последующей обработкой массива точек.

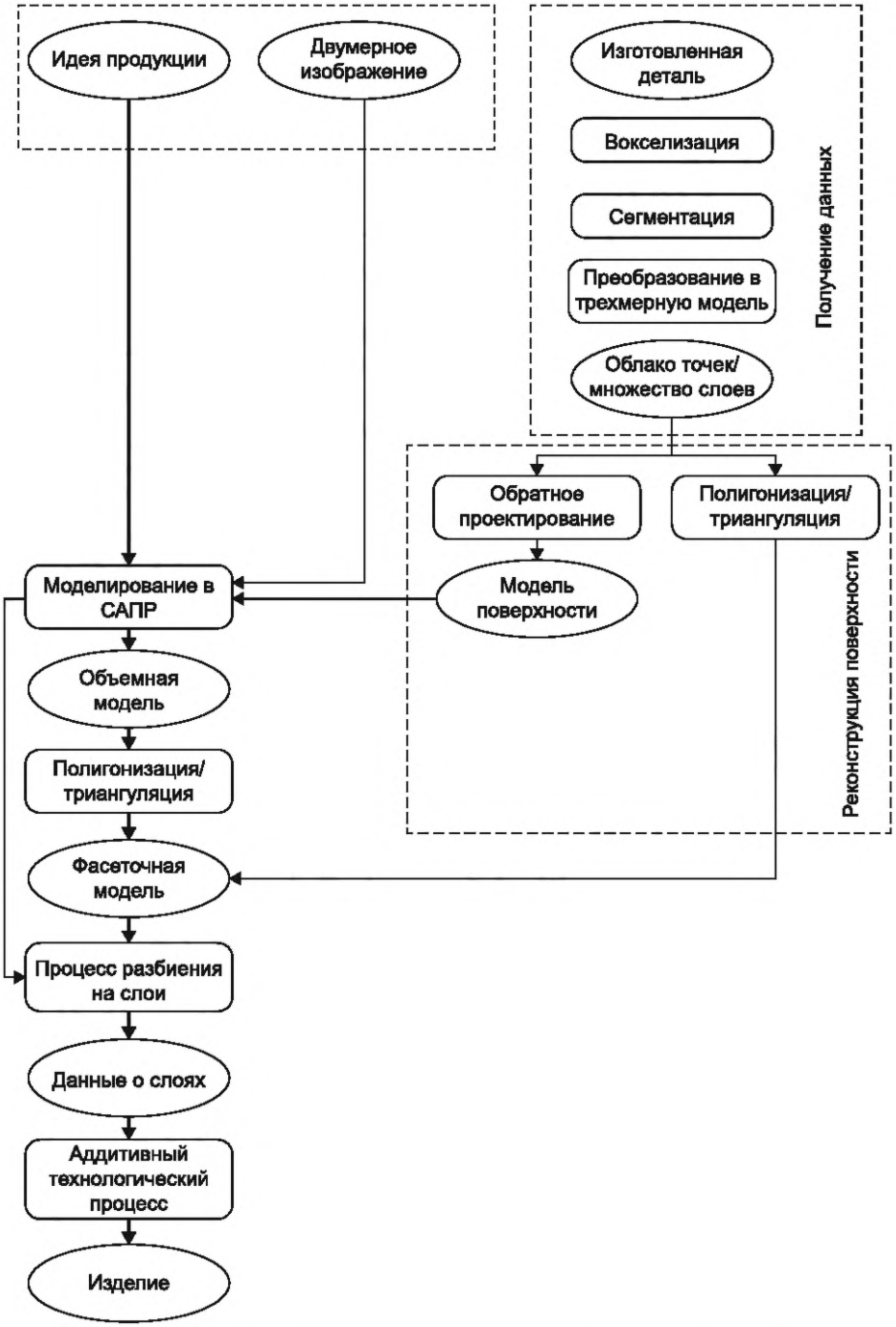


Рисунок 1 — Схема обработки данных в аддитивном технологическом процессе

4.1.2.3 Реконструкция поверхности

Реконструкция поверхности является способом обработки данных, полученных после их преобразования в трехмерную модель. На основе созданного компьютером облака точек создают топологическую информацию (математически описанные кривые и поверхности), достаточную для воссоздания поверхности объекта. Указанные данные затем могут быть сохранены отдельно или интегрированы в существующую объемную модель САПР. Реконструкция поверхности обеспечивает связь между преобразованием в трехмерную модель и моделированием в САПР.

4.1.2.4 Полигонизация/триангуляция

Процесс полигонизации/триангуляции используют для создания из облака точек, полученного после преобразования в трехмерную модель, или из объемной модели, полученной при помощи модели-

рования в САПР, объемной фасеточной модели. Поверхность объекта представляет собой множество мелких плоских фасетов или многоугольников, вершинами которых являются точки. Число и размер фасет определяет, насколько точно воспроизведена геометрия поверхности.

4.1.2.5 Фасеточная модель

Фасеточная модель является способом описания геометрических границ твердых тел. Каждая треугольная фасета соединена с соседней общими гранями, обеспечивая замкнутость поверхностей. В фасеточной модели точность определяется отклонением хорды от электронной геометрической модели в САПР. Для большей точности требуется больше вычислительной мощности.

4.1.2.6 Процесс разбиения на слои

Процесс разбиения на слои является важным этапом предварительной подготовки во всех аддитивных технологических процессах. Он включает в себя разбиение объемной фасеточной модели на ряд последовательных слоев и запись информации о каждом слое. После обработки данные о слоях больше не связаны друг с другом по оси z, таким образом последующее масштабирование невозможно. Для некоторых технологий этот процесс выполняют автоматически с помощью программного обеспечения при установлении необходимых параметров (например, толщина слоя). В других случаях требуется отдельное программное обеспечение для подготовки и хранения данных о слоях.

4.2 Форматы данных

4.2.1 Общие положения

Наиболее распространенные форматы данных описаны в 4.2.2—4.2.8. Наиболее часто используемым форматом для передачи данных является STL. Если из-за отсутствия необходимого модуля (не входит в стандартную поставку программ САПР) данные не могут быть экспортированы в STL, то данные могут быть переданы через другие форматы (например, STEP или IGES) в другие САПР, которые позволят в дальнейшем работать с STL.

Примечание — Проблемы преобразования могут возникнуть при передаче данных через системно-независимый формат, поскольку возможности форматов (несмотря на установленные стандарты) существенно различаются и программы работают с разной степенью точности.

4.2.2 STL

Формат файлов STL изначально разработан как часть пакета САПР для установок стереолитографии (что объясняет его наименование), но со временем зарекомендовал себя как широко применяемый формат для передачи данных в аддитивных технологиях. Это системно-независимый формат обмена данными о геометрических координатах. Ограничивающие поверхности объемной модели описываются треугольниками (плоские фасеты) и их нормальными векторами. Набор данных в STL может быть сохранен с помощью ASCII, что является более воспринимаемым человеком форматом, или посредством двоичной записи, что позволяет значительно снизить размер файла. Формат STL является непригодным для обмена данными между САПР и/или CAM, так как геометрические формы необратимо трансформируются в фасеты.

4.2.3 VRML (WRL)

VRML — язык моделирования виртуальной реальности, независимый от платформы формат трехмерного отображения данных, поддерживающий сетевые функции [файлы с расширением «wrl» (от слова «world») или «wrz» (для сжатых файлов формата VRML)]. Более подробная информация указана в [4] и [5]. VRML — это формат данных, который не ограничивается только перечислением информации о точках или гранях; он также описывает трехмерные объекты или сценарии с использованием объектно-ориентированного метода и определенного типа компьютерного языка (обычный текст ASCII или UTF-8). Основными компонентами формата языка VRML являются типы узлов и каналы связи: узлы форм (основные геометрические формы, такие как прямоугольные параллелепипеды, цилиндры, конусы, сферы), узлы внешнего вида [цвет, текстуры (свойства материалов) и геометрические преобразования], узлы освещения, узлы (параллельные проекции перспектив) и группы узлов для реализации иерархических структур, а также прототипы для того, чтобы расширить существующие виды узлов. В настоящее время формат VRML является XML-форматом. Более подробная информация приведена в международном стандарте [4].

4.2.4 IGES

IGES — начальная спецификация обмена графикой, являющаяся независимым международно признанным форматом данных для обмена данными о геометрических формах и дополнительной ин-

формацией (см. ИСО/АСТМ 52900). Существуют ограничения формата IGES, связанные с потерей замкнутости геометрических поверхностей при контурном представлении модели.

Примечание — IGES является наименованием стандарта Национального Бюро Стандартов Соединенных Штатов NBSIR 80—1978 «Цифровое представление для передачи данных, определяющих продукцию», который утвержден ANSI сначала как ANS Y14.26M—1981 и затем как ANS USPRO/IPO-100—1996. Версия IGES 5.3 пересмотрена STEP ISO 10303 в 2006 г.

4.2.5 STEP

STEP — стандарт обмена данными модели продукта, являющийся системно-независимым форматом для описания и обмена данными между различными САПР-системами [3]. Помимо передачи данных о геометрии продукта STEP (так же, как и IGES) может быть использован для передачи таких данных о продукции, как комплектность, информация о жизненном цикле продукции, цвете, текстовой информации и др. Все формы модели данных САПР могут быть интегрированы в геометрическое представление (каркасные модели, поверхностные и объемные модели).

Примечание — Существует стандарт ИСО, устанавливающий требования к представлению информации о продукте, а также необходимые механизмы и определения, позволяющие обмениваться данными о продукте [2]. Данный стандарт используют при представлении информации о продукте, включая комплектность и информацию о компонентах, и об обмене данными о продукции, включая хранение, транспортирование и использование.

4.2.6 AMF

AMF — формат аддитивного производства, XML-формат данных для обмена информации о моделях аддитивного производства, включающий описание трехмерной геометрии поверхности с поддержкой цвета, материала, решетчатых структур, текстур поверхности и констелляций. В формат файлов AMF могут быть включены дополнительные данные, содержащие информацию о процессе аддитивного производства или процессах пост-обработки (см. ИСО/АСТМ 52900). AMF может представлять один объект из множества, объединенных в единую констелляцию. Как и в STL, геометрия поверхности представлена решеткой треугольников, но в случае с AMF треугольники могут быть искривлены. AMF может также устанавливать материал и цвет для каждого объема и цвет для каждого треугольника в решетке. Стандартизованные требования к формату AMF приведены в [8].

4.2.7 OBJ

Файлы формата OBJ описывают геометрию поверхности трехмерной модели. Формат данных может хранить информацию о цвете и текстуре либо в сопутствующем файле PNG, включающем карту текстуры, либо в файле MTL (библиотеки шаблонов материалов), содержащем информацию о внешнем виде объекта. Это нейтральный формат с открытым исходным кодом, использующий ASCII. Файлы OBJ обеспечивают более точную сетку, поскольку кодирование поверхностей в OBJ не ограничивается треугольными сегментами, но также возможно применение различных многоугольников, таких как четырехугольники или шестиугольники.

4.2.8 3MF

3MF (формат 3D-производства) — это формат на основе открытого исходного кода, разработанный консорциумом 3MF. Это XML-файл, содержащий информацию о геометрии поверхности трехмерной модели и дополнительную информацию. В файле также может быть информация о вспомогательных структурах, связанных с изделием данных, и информация о нескольких используемых материалах.

4.3 Подготовка данных

4.3.1 Качество данных

Точное воспроизведение геометрии набора данных является необходимым предварительным условием для обеспечения качественного, бесперебойного процесса изготовления деталей с помощью существующих технологий производства. Особое внимание должно быть уделено следующему:

- все поверхности модели должны быть идеально состыкованы при отсутствии незамкнутых поверхностей (идеально соединенная, замкнутая модель);
- все поверхности должны быть ориентированы таким образом, чтобы внутренний объем детали мог быть четко определен[1)];

[1)] Все ориентации поверхностей должны быть согласованы, чтобы внутренняя часть модели САПР всегда была четко установлена. Если это не соблюдено, треугольники в файле STL или AMF могут быть повернуты неправильно, образуя отверстие на поверхности детали. Ориентация определяется направлением направленного наружу вектора нормали к поверхности модели САПР в конкретном месте.

- при выполнении триангуляции должны быть исключены примененные при построении модели вспомогательные элементы (слои, цилиндры, оси, скрытые элементы и т. д.);

- перед выполнением полигонизации/триангуляции модели поверхности должны быть преобразованы в твердые тела.

Генерирование или предоставление данных неудовлетворительного качества может привести к необходимости исправления данных или их восстановления, что в некоторых случаях может быть очень трудоемким и дорогостоящим и требовать отдельного уточнения или согласования. По этой причине рекомендуется предоставлять чертежи с размерами.

4.3.2 Параметры экспорта

Настройка параметров экспорта при вводе данных и, следовательно, точность полигонизации/триангуляции определяют, насколько точно представлена требуемая геометрия изделия. Низкое разрешение влияет на точность и внешний вид готового прототипа. Однако более высокое разрешение требует большой объем памяти (чрезмерно большой размер файла) и увеличивает время подготовки (см. таблицу 1).

Таблица 1 — Потенциальные ошибки при создании набора данных и их влияние на процесс производства и на конечное изделие

Ошибка	Влияние на процесс	Влияние на изделие	Возможное корректирующее действие
Грубая триангуляция	Искажение геометрии	Низкая степень соответствия требуемой геометрии	Создание файла с скорректированным разрешением
Триангуляция с избыточной точностью	Слишком большое время вычисления, длительное время конструирования. Ошибки в процессе из-за большого объема данных (недостаточности вычислительных ресурсов)	Дефекты, вызванные ошибками в процессе	Генерация файла с менее точной триангуляцией
Неровные или выступающие поверхности в САПР модели	Ошибки в процессе, вызванные неопределенностью при ограничении разрядной сетки	Дефекты искажения геометрии	Исправление модели — срезание выступающих поверхностей
Неправильная ориентация поверхностей в САПР модели	Ошибки, вызванные пустыми слоями или неопределенными элементами	Дефекты искажения геометрии	Проверка нормальности векторов «Закрытые объемы»

Различные параметры экспорта данных могут быть установлены в зависимости от программы САПР:

- высота хорды, соотношение сторон и разрешение;

- значение допусков, абсолютное выравнивание поверхности, абсолютное отклонение фасет, максимальное отклонение расстояния и т. д.;

- допуск значений геометрии треугольника, угловой допуск, контроль угла, угол плоскости поверхности.

Для нескольких программ, которые не позволяют устанавливать индивидуальные параметры при экспорте данных, выходные параметры настраиваются параметрами отображения. В этом случае следует убедиться в том, что установлено соответствующее высокое разрешение отображения в программе, выбранное до настройки.

Увеличение числа граней позволяет повысить качество описания геометрии, но не может быть достигнуто без значительных затрат. Как правило, впоследствии можно уменьшить число граней без затруднений с воспроизведением индивидуальных параметров.

4.3.3 Особенности обработки данных

4.3.3.1 Припуски на механическую обработку

В зависимости от компонента и выбранного метода изготовления может потребоваться механическая постобработка. В этом случае необходимо заранее учесть припуск на механическую обработку в соответствующих областях при создании модели в САПР. Исполнитель/производитель должен быть проинформирован о зонах обработки.

4.3.3.2 Уменьшение объема

Изготовление при помощи некоторых технологий аддитивного производства может быть чрезмерно длительным и дорогим при больших объемах материала. Однако чаще всего можно уменьшить объем на стадии моделирования в САПР, например создавая полые области или области с пониженной плотностью материала или решетчатой структурой. Уменьшение объема материала в детали должно быть согласовано заранее при выполнении заказа на производство.

4.3.3.3 Расположение детали и поддерживающие элементы

Точность построения детали и другие характеристики зависят от ориентации и последовательности нанесения материала, что необходимо учитывать при размещении детали в области построения. Кроме того, расположение детали часто влияет на время производства.

Некоторые производственные процессы требуют использования дополнительных структур для поддержки нависающих форм, присоединяя их к твердому основанию, например к платформе построения. Поддерживающие элементы создают до производства и, как правило, удаляют вручную после завершения процесса производства.

Пользователь систем аддитивного производства создает поддерживающие элементы, применяя опции в основном программном обеспечении, используемом системой, или отдельное программное обеспечение.

В случае использования поддерживающих элементов не всегда можно избежать повреждения поверхности при их удалении. По этой причине следует отмечать те места, в которых необходимо избегать присоединения поддерживающих элементов.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ISO/ASTM 52900	IDT	ГОСТ Р 57558—2017/ISO/ASTM 52900:2015 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: - IDT — идентичный стандарт.		

Библиография

[1] ISO 6983-1, Automation systems and integration — Numerical control of machines — Program format and definitions of address words — Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems

[2] ISO/TS 10303-1835, Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 1835: Application module: Additive manufacturing part and build information

[3] ISO 10303 (all parts), Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange

[4] ISO/IEC 14772-1, Information technology — Computer graphics and image processing — The Virtual Reality Modeling Language — Part 1: Functional specification and UTF-8 encoding

[5] ISO/IEC 14772-2, Information technology — Computer graphics and image processing — The Virtual Reality Modeling Language (VRML) — Part 2: External authoring interface (EAI)

[6] ISO 18739, Dentistry — Vocabulary of process chain for CAD/CAM systems

[7] ISO/IEC 19775-1, Information technology — Computer graphics, image processing and environmental data representation — Extensible 3D (X3D) — Part 1: Architecture and base components

[8] ISO/ASTM 52915, Specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.2

УДК 67.05:006.354 ОКС 25.040.99

Ключевые слова: аддитивные технологии, форматы данных, обработка данных, формат файла STL, формат файла AMF, поток данных, общие требования

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 04.08.2022. Подписано в печать 12.08.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68.

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