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

**Аддитивные технологии. Общие технологические рекомендации и руководящие принципы**.

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

**Москва**

**Стандартинформ**

**201\_**

**Предисловие**

1. РАЗРАБОТАН федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»).
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……………………….................................................. | 1 |
| 2 | Нормативные ссылки…………………………………………………………… | 1 |
| 3 | Термины и определения……………….....................………………………. | 2 |
| 4 | Общие положения ……………………………………………………………… | 3 |
| 5 | Принципы позиционирования 3D-модели...…………….…………………. | 4 |
| 6 | Приложение А. Рекомендательное. Шероховатость поверхности в зависимости от наклона к направлению оси синтеза……………………. | 8 |
| 7 | Приложение Б. Рекомендательное. Основные технологические рекомендации со схематическими примерами…………………………… | 9 |
|  |  |  |
|  |  |  |

|  |
| --- |
| **НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ** |
| **Аддитивные технологии. Общие технологические рекомендации и руководящие принципы**.  **Изготовление металлических изделий аддитивными технологиями. Технологические рекомендации.**  Additive manufacturing. Products metal parts. Technological recommendations. |

**Дата введения — 201 — —**

**1. Область применения**

* 1. Настоящий стандарт устанавливает базовые положения и рекомендации при проектировании изделий, поддержек, а так же их позиционирования в камере построения установки аддитивного производства (АП).
  2. Стандарт предназначен для конструкторов, технологов и других специалистов, связанных с конструированием и изготовлением металлических изделий.

**2. Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности.

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

ГОСТ 57589-2017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы – часть 2. Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования.

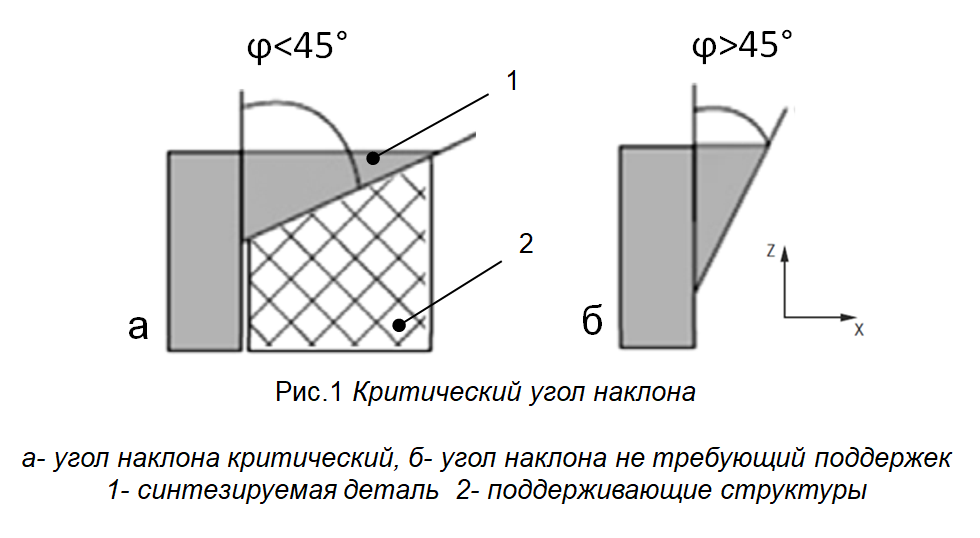
ГОСТ Р 57911-2017 Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Термины и определения.

**3. Термины и определения**

3.1 В настоящем стандарте используются термины и определения в соответствии с ГОСТ Р 57558, ГОСТ Р 57911, ГОСТ 2789.

3.2 Критический угол наклона, критический угол – максимальное значение угла между элементом полигональной сетки модели и осью направления синтеза, в пределах которого допустимо синтезировать наклонные элементы без последующего искажения (рис.1).

3.3 Технологические поддерживающие структуры, поддержки – дополнительно проектируемый элемент к исходной модели изделия, помогающий предотвратить коробление и деформации. (рис. 1)



**4. Общие положения.**

4.1 Данный стандарт предназначен для учёта особенностей проектирования в отрасли аддитивных технологий (АТ), а так же оценки целесообразности производства изделий в АП.

4.2 Стандарт содержит базовые принципы и этапы проектирования и позиционирования изделий.

4.3 Первоначальные технологические ограничения на проектируемые изделия определяются типом установки АП.

4.4 Режимы синтеза установки АП позволяют варьировать следующие параметры изделия:

- шероховатость поверхности;

- критический угол наклона;

- зависимость минимальной толщины стенки изделия от её длины;

- осевая прочность.

4.5 Проектирование изделий и регулировку технологических параметров установки АП следует проводить в системах автоматизированного проектирования (САПР) твердых тел, предназначенных для решения задач АП. Рекомендуется наличие функций бионического дизайна, топологической оптимизации и генеративного дизайна при согласовании с заказчиком использования данных процессов при проектировании изделия.

4.6 Неотъемлемым элементом при позиционировании изделия в камере построения установки АП являются технологические поддерживающие структуры.

4.7 Экономическую и производственную эффективность производства изделий, полученных методами АТ следует согласовывать/рассчитывать как заказчику, так и изготовителю на основании следующих критериев:

* Определение наиболее подходящей технологии АП и материала изделия.
* Проектирование и оптимизация конструкции с учётом функциональных требований и технологических ограничений.
* Определение стоимости полного технологического цикла изготовления детали, включая постобработку.
* Расчёт максимального коэффициента использования объёма рабочей камеры установки.
* Соотношение между необходимым качеством изделия, его стоимостью и минимальному времени на изготовление, включая постобработку.

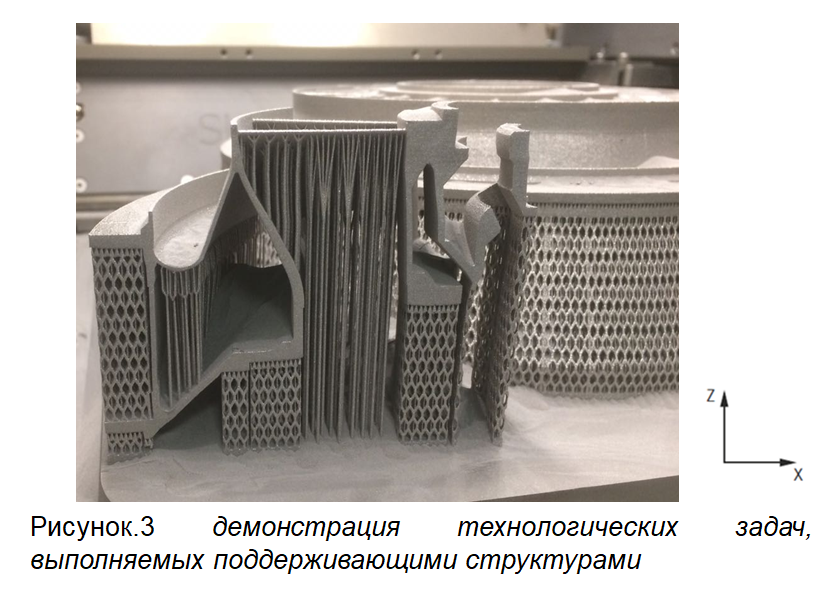
**5. Принципы позиционирования 3D-модели.**

5.1 Ориентация и позиционирование 3D-модели изделия первоначально определяется типом установки и параметрами её камеры построения.

5.2 Технологические поддерживающие структуры (поддержки) должны проектироваться с учётом следующих принципов:

* Защита изделия от деформации посредством термических напряжений;
* Фиксация детали во время построения;
* Осуществление теплопередачи;
* Поддержка элементов/областей изделия, чей угол наклона находится за пределами критического;
* Сама структура должна быть легко удаляемой;

Общее количество поддержек должно быть минимальным, но обязательно соответствовать всем вышеперечисленным принципам (рис. 3).



5.3 Позиционировать деталь в рабочей камере установки таким образом, что бы площадь проекции на платформу установки была минимальной, но и не нарушала другие технологические ограничения (рис. 4). Такая ориентация обеспечит более равномерное течение термических процессов, что в свою очередь уменьшит деформацию изделия.

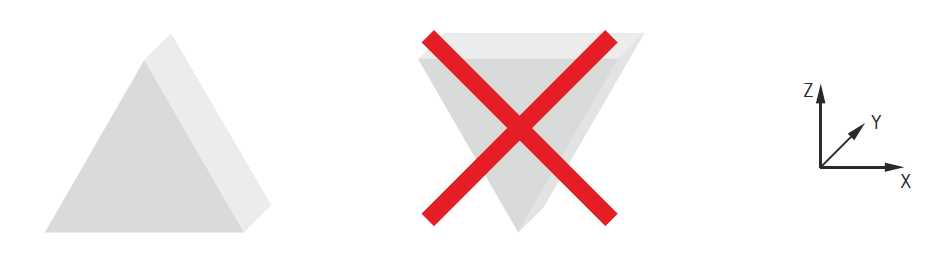


Рисунок 4. *Пример*

5.4 Предварительный расчёт влияния термических напряжений на полученную 3D-модель позволяет повысить точность геометрических параметров изделия.

5.5 Для установок АП, в которых используется рекоутер, при позиционировании модели рекомендуется стремиться к минимуму площади контакта между рекоутером и синтезируемым изделием, с учётом направления движения рекоутера (рис. 5).

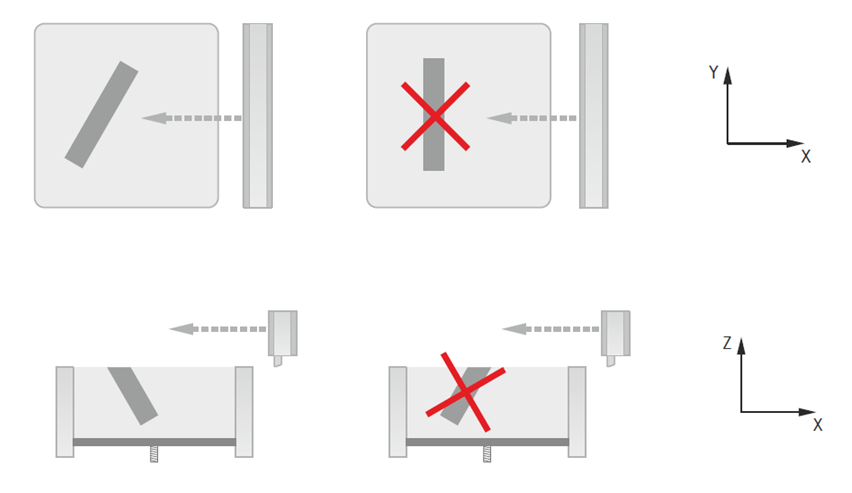
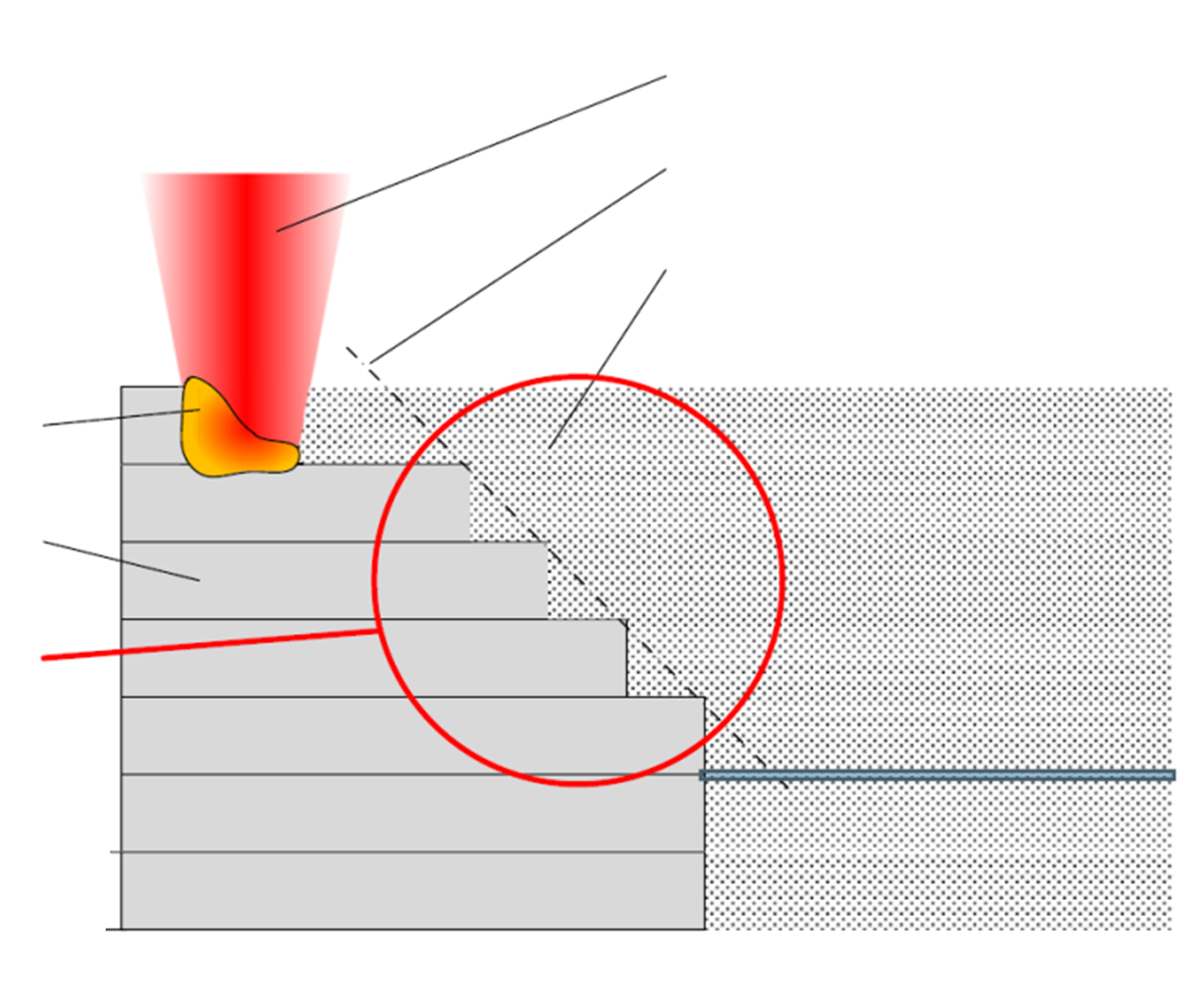


Рисунок 5. *Пример ориентирования детали с учётом движения рекоутера*

В противном случае, образуется дополнительная нагрузка на изделие, которая вызовет смещение синтезируемого слоя.

5.6 При позиционировании и ориентировании изделия в камере построения установки АП, рекомендуется учитывать значение угла между поверхностью изделия и осью направления синтеза, т.к. от этого зависит последующая шероховатость синтезированной области (рис. 6).



Образование шероховатости

слой

зона плавления

луч лазера

нерасплавленный

порошок

контур детали

Рисунок.6 *Демонстрация образования шероховатости на поверхности*

*Синтезируемого изделия*

5.7 При проектировании отверстий и скрытых каналов следует руководствоваться следующими принципами:

* в каналах малого размера существует вероятность адгезии порошка, что приведёт к закупорке порошка в самом канале;
* отверстия, сориентированные перпендикулярно оси синтеза, имеют большую степень деформации, а так же могут содержать в себе частицы порошка из-за коробления верхних слоёв в сечении (рис. 7);

Ограничения на возможность синтеза отверстий и каналов без использования поддерживающих структур определяются типом установки АП, свойствами материала и ориентацией в камере построения.

.

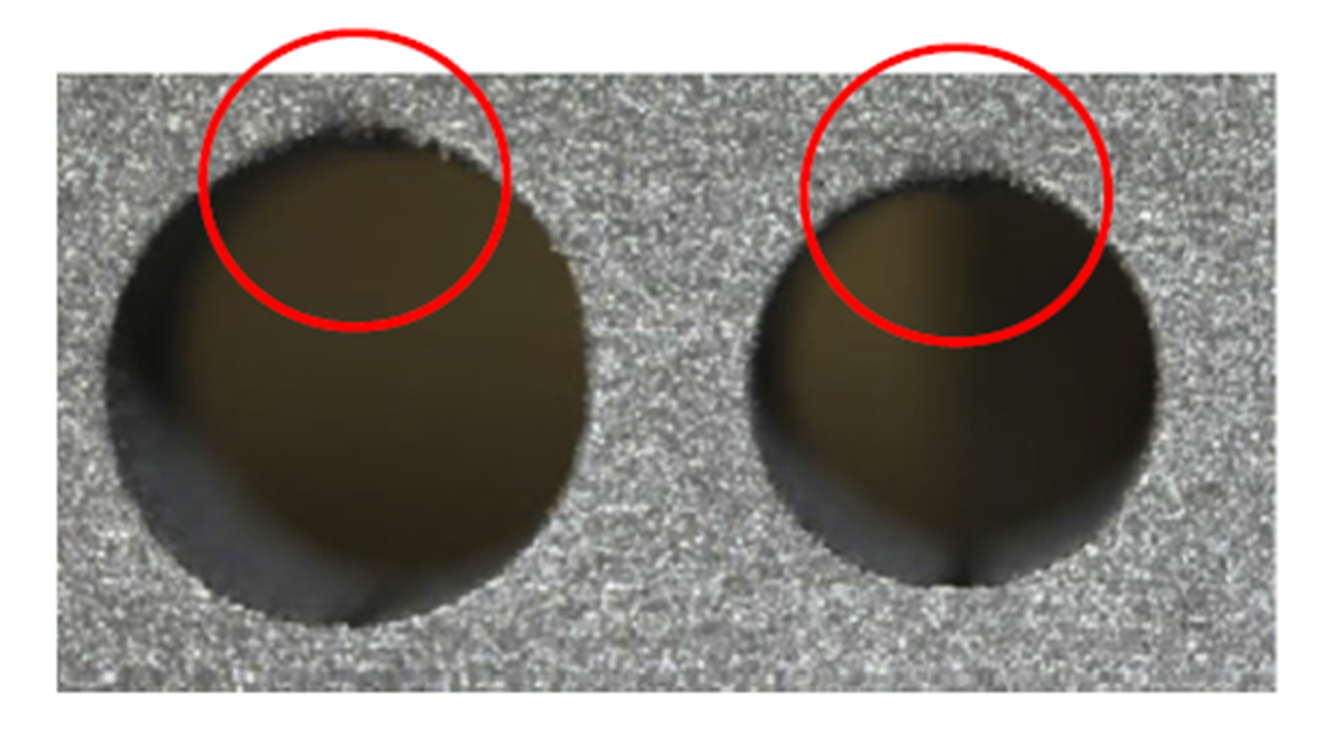


Рисунок 7. Г*оризонтальное отверстие Ø12мм на примере TiAl6V4 синтезированном на установке EOS M280.*

5.8 При проектировании тонкостенных элементов необходимо руководствоваться технологическими возможностями установки АП, свойствами используемого материала, режимом синтеза. Рекомендации по геометрическим ограничениям тонкостенных элементов представлены в приложение Б.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А.**

**Рекомендательное.**

**Параметры шероховатости поверхностей изделия относительно оси синтеза на примере TiAl6V4, установка EOS M280**

*Таблица А. Шероховатость поверхностей изделия относительно оси выращивания.*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| шероховатость на верхней оболочке изделия | | | | | | |
|  | перпендикулярно к оси роста | | | параллельно к оси роста | | |
| Rz (МКМ) | Ra (МКМ) | Rt (МКМ) | Rz (МКМ) | Ra (МКМ) | Rt (МКМ) |
| 0º | 21 | 5 | 32 | 20 | 5 | 34 |
| 15º | 60 | 10 | 75 | 60 | 10 | 90 |
| 30º | 61 | 11 | 91 | 51 | 10 | 81 |
| 45º | 63 | 12 | 86 | 60 | 11 | 91 |
| 60º | 70 | 12 | 90 | 63 | 11 | 90 |
| 75º | 61 | 11 | 79 | 59 | 11 | 71 |
| 90º | 66 | 12 | 85 | 63 | 12 | 78 |
| шероховатость на нижней оболочке изделия | | | | | | |
|  | Rz (МКМ) | | Ra (МКМ) | | Rt (МКМ) | |
| 10º | 50 | | 10 | | 65 | |
| 20º | 56 | | 12 | | 78 | |
| 30º | 58 | | 12 | | 72 | |
| 40º | 56 | | 12 | | 70 | |
| 50º | 65 | | 16 | | 83 | |
| 60º | 84 | | 18 | | 105 | |
| 70º | 105 | | 22 | | 142 | |
| 80º | 123 | | 32 | | 170 | |
| 90º | 108 | | 22 | | 158 | |

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б.**

**РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЕ.**

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СО СХЕМАТИЧЕСКИМИ ПРИМЕРАМИ**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | **не рекомендуется** | **рекомендуется** | **пояснения** | **ограничения и рекомендации** |
| Отверстия  Стенки  Общая геометрия / форма детали | Толщины  стенок |  | β  d  d  d | | * Необходимо стремиться к минимальной толщине стенок при проектирование. * Для устойчивости стенок добавляйте ребра жесткости. | * Минимально допустимая толщина стенки 0.4 мм при условии * При β=30 допустимо d=0.4 |
| Радиусы | | **x**  *z* |  | * Размещайте изделие в камере таким образом, что бы избежать эффекта «лестницы» (Ось Z направление выращивания). |  |
| Макс.  размеры  Тип  отверстия  Мин.  размеры  Конструкция  изделия |  |  |  | * Отверстия в детали необходимо включать в конструкцию детали перед изготовлением, для уменьшения финальной обработки детали. |  |
|  |  |  | * Сквозные отверстия предпочтительней глухих. |  |
|  |  |  | * В отверстиях, диаметром меньше рекомендуемого, происходит слипания порошка и как следствие закупоривание канала. | * Минимальное отверстие в детали из TiAl6V4 2 мм. |
| Макс.  размеры |  |  | * В отверстиях без поддержек наблюдается дефект поверхности в верхней части сечения. Лучше использовать поддержку. | * Поддержки необходимы отверстиям диаметром более 12 мм; * Чем меньше диаметр тем больше точность отвестия. |
|  |  | * Большие отверстия могут быть реализованы без поддерживающих структур. |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Общая геометрия / форма детали  Стенки |  | | **не рекомендуется** | **рекомендуется** | **пояснения** | **ограничения и рекомендации** |
| Отверстия  Толщины  стенок |  | d  d  d  β | | * Необходимо стремиться к минимальной толщине стенок при проектирование. * Для устойчивости стенок добавляйте ребра жесткости | * Минимально допустимая толщина стенки 0.4 мм при условии 90° ≥ β > 30°; * При β=30 допустимо d=0.4 |
| Радиусы | | **x**  **z** |  | * Размещайте изделие в камере таким образом, что бы избежать эффекта «лестницы» (Ось Z направление выращивания). |  |
| Мин.  размеры  Тип  отверстия  Конструкция  изделия |  |  |  | * Отверстия в детали необходимо включать в конструкцию детали перед изготовлением, для уменьшения постобработки. |  |
|  |  |  | * Сквозные отверстия предпочтительней глухих. |  |
|  |  |  | * В отверстиях, диаметром меньше рекомендуемого, происходит слипания порошка и как следствие закупоривание канала. | * Минимальное отверстие в детали из TiAl6V4 2 мм |
|  |  |  | * В отверстиях без поддерживающих структур наблюдается дефект поверхности в верхней части сечения. | * Поддерживающие структуры необходимы отверстиям диаметром более 12 мм; * Чем меньше диаметр, тем больше точность отверстия. |
|  |  | * Если конструкция допускает, то можно поменять круглое сечение канала на овальное. |  |
| Общая геометрия / форма детали |  | | **не рекомендуется** | **рекомендуется** | **пояснения** | **ограничения и рекомендации** |
|  | |  |  | * Избегайте свесов конструкции, что бы минимизировать поддержки. |  |
|  |  | * Горизонтальные свесы имеют склонность к загибанию краёв наверх (темп. коробления). * Размер свеса в пределах рекомендованного размеры. | * Максимально допустимый свес без поддержки a ≤ 0.3 мм. |
| Отверстия  Основные  замечания  доступ  Крит. угол |  |  |  | * Конструкция изделия должна быть технологичной и обеспечивать доступ к поддерживающим структурам для их удаления и постобработки. |  |
| избегать | Поддерживающие структуры  Свисание |  | * Избегать излишнего построения поддержек путём соблюдения углов и тангенсальности поверхностей. |  |
|  |  |  | * Поддерживающая структура необходима при угле превышающий критический. |  |
|  |  |  | * В горизонтально расположенных каналах необходимо устанавливать поддерживающие структуры для предотвращения «обсыпания» металлического порошка. | * Используйте поддерж. структуры для отверстий больше 8 мм диаметром. * Чем меньше диаметр, тем выше точность отверстия |
|  | * Необходимо соединять выращиваемое изделие с платформой установки, на прямую или через поддерживающие структуры. * Требуется тщательное закрепление нижней части изделия поддерживающими структурами. * Для больших поверхностей рекомендуются блочные поддерживающие структуры. * Для небольших объектов или поверхностей применима точечная поддерживающая структура. * Изделие больших размеров и массы требует усиленного контакта с поддерживающими структурами. * Высокие и хрупкие опоры, консольные балки требуют дополнительного подкрепления. По возможности минимизировать количество поддержек. | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | **Не рекомендуется** | **Рекомендуется** | **Пояснения** | **Ограничения и рекомендации** |
| Свисание | | после выращивания | После механообработки | * Поверхности с высокими допусками и требованиями по шероховатости, нуждаются в механообработке. * Располагать деталь с учётом требований по точности. | |  |  |  | | --- | --- | --- | | **ориентация** | Угол (β) | Шерох.(Ra) | | Верхняя поверх. | 0° | 3 – 5 мкм | | 10° – 90° | 10 – 13 мкм | | Нижняя поверх. | 0° – 40° | 10 – 12 мкм | | > 50° | > 13 мкм | | > 70° | 23 мкм< Ra < 32 мкм |  * Для TiAl6V4 |
| Поверхность |  |  | Ra2  Ra1  Ra3 | * квалитет поверхности: Ra1>Ra3>Ra2 |  |
|  | **z**  **x** | **x**  **z** | * Рекомендуется избегать свесов конструкции, путём правильной ориентации в камере установки. |  |
|  | **x**  **z** | **z**  **x** | * Оптимизация размещения изделия для уменьшения высоты, сокращает время выращивания. |  |
|  |  |  | * Необходимо располагать деталь под углом к выравнивающему ролику, для того что бы уменьшить нагрузку на деталь |  |

**Библиография**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Brandt M. «Laser Additive Manufacturing. Materials. Design. Technologies and Application». |
| [2] | Linkan Bian, Nima Shamsaei, and John M. Usher «Laser-Based Additive Manufacturing of Metal Parts: Modeling, Optimization, and Control of Mechanical Properties.» |
| [3] | Li Yang, Keng Hsu, Brian Baughman «Additive Manufacturing  of Metals: The Technology, Materials, Design and Production» |
|  |  |