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

**ИЗДЕЛИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Конструирование металлических изделий. Руководящие принципы**

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

**Москва**

**Стандартинформ**

**201\_**

**Предисловие**

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

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

©Стандартинформ, 20\_\_

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

**Содержание**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | Область применения …………………………………................................... | 1 |
| 2 | Нормативные ссылки ………………………….…………………................... | 1 |
| 3 | Термины и определения……………….....................…………………….…. | 2 |
| 4 | Общие положения ……………………………………………………………… | 2 |
| 5 | Обобщённые принципы и этапы конструирования…..…...…………….… | 2 |
| 6 | Показатели изделий, требования……………………………………...…….. | 4 |
| 7 | Преимущества аддитивных технологий...…………………………..…….... | 6 |
| 8 | Ограничения аддитивных технологий....................................................... | 9 |
| 9 | Условия применимости аддитивных технологий...................................... | 11 |
|  |  |  |

|  |
| --- |
| **НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ** |
| **ИЗДЕЛИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ аддитивных технологических процессов**  **Конструирование металлических изделий. Руководящие принципы.**  Additive manufacturing parts. Designing metal parts. Guidelines processes |

**Дата введения — 201 — —**

**1 Область применения**

1.1 Настоящий стандарт предназначен для учёта особенностей аддитивных технологий (АТ) при конструировании и оценки целесообразности применения аддитивных технологий при изготовлении металлических изделий.

1.2 Стандарт предназначен для конструкторов, технологов и иных специалистов, связанных с конструированием и изготовлением металлических изделий.

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

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

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

**3 Термины и определения**

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

**4 Общие положения**

4.1 АТ, как и все современные технологии металлообработки являются сложным инструментом и для их успешного применения необходима реализация комплексного подхода, а именно обеспечение всего производственного цикла изготовления изделия необходимыми ресурсами. Начиная от процесса конструирования, совокупности возможностей производства (наличия исходных материалов, соответствующего оборудования), наличия соответствующей АТ, квалифицированного персонала, методологии подтверждения необходимых показателей (характеристик, свойств) изделия на каждом этапе производства, обеспечения безопасных условий каждой производственной операции.

4.2 Аналогично традиционным способам металлообработки применение АТ имеет как преимущества, так и ограничения. Для максимально эффективного использования АТ данные обстоятельства необходимо учитывать на ранних стадиях конструирования, избегая тем самым возможного установления ограничений или снижения эффективности использования АТ.

**5 Обобщённые принципы и этапы конструирования**

5.1 Обобщёнными принципами конструирования являются:

- оптимизация показателей (характеристик, свойств) изделия, например, массы, жёсткости, и его эффективности по функциональному назначению;

- минимизация количества составных частей в изделии, при сохранении функциональности изделия;

- оптимизация сборочных операций составных частей изделия, упрощение операций сборки, в том числе с учётом дополнительной подготовки сопрягаемых поверхностей;

- оптимизация технологической цепочки производства изделия, применение оптимальной последовательности технологических операций для получения необходимых показателей (характеристик, свойств) изделия при минимальной себестоимости изготовления;

5.2 Конструирование изделия осуществляется на основе формализованного задания, которое, как минимум, должно содержать:

- функциональное назначение изделие;

- рабочие и базирующие поверхности, габаритные характеристики, присоединительные размеры;

- массовость производства, объём выпуска;

5.3 Для большей части изделий процесс конструирования можно разбить на 3 этапа:

- определение материала;

- определение формы;

- определение размеров (по условию прочности).

5.4 На первом этапе осуществляется определение марки материала, выбора из номенклатуры основных применяемых конструкционных материалов с известными физическими, механическими и технологическими свойствами.

5.5. На втором этапе определяется форма изделия, проводится определение форм ограничивающих изделие поверхностей, их сочетания и соотношения. При выборе форм руководствуются рядом критериев, из которых главными являются следующие:

- функционал изделия;

- конструктивная целесообразность;

- технологичность;

- эстетичность.

При этом выбор форм свободных поверхностей полностью обуславливается функциональным назначением изделия. Свободные поверхности определяют прочность, жесткость, точность, размеры, технологичность и эстетичность изделия.

5.6 На третьем этапе определяются геометрические размеры, свободные и функциональные. Проверка формы и размеров изделия, как правило, прежде всего, осуществляется из условия обеспечения прочности, в том числе при динамических нагрузках, и (или) жёсткости и (или) деформативности, которые и обеспечиваются в первую очередь формой и размерами изделия, а также свойствами применяемого материала.

5.7 В случае, если условие прочности не выполняется, проводятся работы по изменению геометрической формы и размеров изделия, изменению применяемого материала. При этом, за счёт изменения материала варьируются механические (предельно допускаемые прочностные) и, в меньшей степени, упругие (жесткостные) характеристики изделия. Обеспечение прочности (жесткости, деформативности) изделия осуществляется преимущественно изменением геометрических форм и размеров изделия, в том числе с использованием следующего набора инструментов:

- устранение (минимизация) элементов работающих на изгиб, введение элементов работающих на растяжение и сжатие;

- увеличение моментов инерции сечений;

- усиление конструкции ребрами;

- усиление участков перехода от одного сечения к другому;

- предотвращение деформаций введением связей;

- введение полых тонкостенных деталей типа коробок, труб и оболочек, имеющих наибольшую жёсткость и прочность при наименьшей массе.

**6 Показатели изделий, требования**

6.1 При конструировании изделий необходимо определять, оценивать и учитывать конструктивные и функциональные показатели (характеристики, свойства) изделий в части соответствия:

- внешним воздействующим факторам;

- экологическим требованиям;

- экономическим требованиям;

- требований к геометрии;

- требованиям к механическим свойствам материала;

- требованиям к физическим свойствам материала.

6.2 Внешние воздействующие факторы определяются как:

- температурные режимы работы изделия (максимальная и минимальная возможная температуры, диапазон рабочих температур изделия, цикличность температурных воздействий, соответствующие температурные деформации);

- условия эксплуатации изделия, в части воздействия агрессивных сред (химических веществ, вступающих в реакцию с материалом изделия, веществ поглощаемых материалом изделия, коррозионных процессов);

- воздействия излучений (неионизирующих – свет, радиоволны, микроволны и т.д., ионизирующих - альфа-, бета-, гамма-излучений, рентгеновского излучения и т.д.);

- биологические воздействия;

- сочетания вышеперечисленных факторов окружающей среды;

- ресурс и надёжность изделия, обусловленные имеющимися воздействующими факторами;

6.3 Экологические требования сводятся к:

- уменьшение объёма используемого материала, массы изделия;

- возможность повторной переработки (утилизации) материала;

- повторная возможность использования изделия (ремонт, восстановление);

- минимизация отходов при производстве;

- минимизация энергетических и прочих затрат;

6.4 Экономические требования определяются как:

- стоимость конструирования изделия;

- стоимость изготовления изделия, стоимость технологических операций;

- время изготовления изделия, время технологических операций;

- объём выпуска;

6.5 Требования к геометрии (обеспечиваемой технологией изготовления) сводятся к установлению:

- максимальных габаритов изделия;

- обеспечению точности размеров изделия;

- шероховатости поверхности изделия;

- минимальным и максимальным конструктивным размерам, топологии (пространственной ориентации) элементов конструкции.

6.6 В части требований к механическим характеристикам (свойствам) материала изделия (обеспечиваемых технологией изготовления) рассматриваются следующие нагрузки и факторы:

- анизотропия свойств материала;

- растяжение;

- изгиб;

- удар (ударная вязкость);

- сжатие;

- сдвиг (кручение);

- циклические нагрузки (усталость);

- трещинностойкости;

- ползучесть;

- твёрдость.

6.7 В части обеспечения физических характеристик (свойств) материала изделия (обеспечиваемых технологией изготовления) определяются, в том числе:

- электрические свойства;

- плотность.

**7 Преимущества аддитивных технологий**

7.1 Ключевым преимуществом АТ является обеспечение максимальной свободы конструирования, изготовления изделия непосредственно по имеющейся 3D модели (цифровой CAD модели). Отсутствует необходимость в технологической оснастке, адаптации технологической цепочки производства.

7.2 Аспектами преимуществ АТ также являются:

- возможность максимальной оптимизации рабочих показателей и эффективности, функционального проектирования детали;

- низкая себестоимость изготовления единичных изделий, малых партий изделий;

- возможность формирования сложной и нестандартной геометрии (в том числе внутренней), возможность объединения деталей, сокращения их общего количества в изделии;

- возможность формирования легких равнопрочных ячеистых структур (балки, соты, решётки, пенообразные структуры) взамен массива материала;

- низкие энергетические и ресурсные затраты АТ;

- возможность функционально-градиентного формирования свойств материала в пределах одного изделия, а именно варьирования свойств материала (материалов, их сочетаний) за счёт изменения параметров процессов АТ, использования нескольких материалов с целью получения необходимых функциональных показателей изделия.

7.3 Методологией реализации преимуществ АТ являются процедуры численной оптимизации изделий. Методология оптимизации изделий обуславливается конкретными показателями оптимизации, видом соответствующей задачи (моделирование напряжённо-деформированного состояния, потока среды и т.д.) и реализуется посредством применения методов математического моделирования, различными программными комплексами, в частности, моделирования методом конечного элемента. Выделяют следующие направления оптимизации изделий для АТ:

- топологическая оптимизация;

- функциональная оптимизация;

- генеративный дизайн.

7.4 Топологическая оптимизация изделия представляет собой исключение из конструкции материала не участвующего в обеспечении функционального назначения изделия и излишнего для обеспечения прочностных характеристик и жёсткости. Пример топологической оптимизации изделия представлен на рис.1.

Основным критерием топологической оптимизации является оптимизация напряжённо-деформированного состояния материала изделия, исключения областей (зон) материала с низким уровнем действующих напряжений (потенциальной энергии деформируемого тела), при условии обеспечения заданных характеристик прочности и жёсткости.

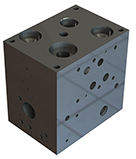
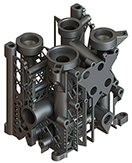
Топологическая оптимизация изделий проводится с исключением зон концентрации напряжений в виде острых углов, как внешних, так и внутренних путём выполнения скруглений, фасок и т.д.

При проведении работ по оптимизации изделий следует учитывать, что большинство методов моделирования не предусматривают возможности добавления материала сверх (дополнительно к) рассматриваемой модели изделия, оптимизация идёт посредством удаления материала из заданной моделью изделия области. Также следует особо учитывать возможности, предоставляемые за счёт замены материала, например с лучшими прочностными свойствами.



Рис 1. Пример топологической оптимизации кронштейна.

7.5 Функциональная оптимизация изделий выполняется совместно с топологической, критерий оптимизации напряжённо-деформированного состояния конструкций дополняется критериями по функциональным показателям изделий. Наиболее часто данный подход используется при изготовлении различных коллекторов, соответствующий пример представлен на рис. 2.



а. б. с.

Рис. 2. Оптимизация конструкции коллектора.

*Примечание - при оптимизации конструкции объём изделия был снижен в 2,0 (б) и 4,7 раза (в), масса изделия снижена в 2,1 (б) и 1,6 (в) раза соответственно, использовались алюминиевый сплав (б) и сталь (в)).*

7.6 Генеративный дизайн в части применительно к АТ, заключаются в обоснованной замене сплошного материала изделия на повторяющие элементы простой формы – ячеистые структуры (балки, соты, решётки, пенообразные структуры). Примеры подобного подхода проиллюстрированы на рис. 3. Подобный подход применяется для облегчения конструкции изделия, в качестве критериев применимости выступают параметры напряжённо-деформированного состояния, жёсткости и прочности конструкций.

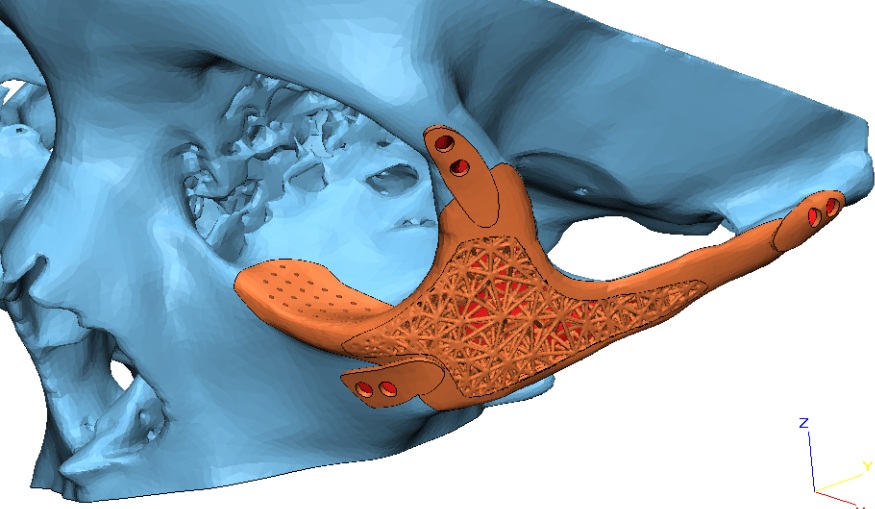


Рис. 3. Повторяющиеся балочные элементы в челюстно-лицевом имплантате.

**8 Ограничения аддитивных технологий**

8.1 АТ представляют собой процесс изготовления изделий в послойном режиме, в свою очередь, формирование каждого слоя происходит посредством выполнения большого количества локальных операций (сплавления конечных участков). Подобное элементарное разбиение процесса на составляющие определяет как преимущества, так и недостатки процесса.

8.2 Ограничения АТ обуславливаются следующими факторами:

- материалами и их свойствами;

- геометрическими возможностями;

- необходимостью постобработки.

8.3 Ограничения АТ обусловленные материалами и их свойствами (по отношению к традиционным субтрактивным технологиям металлообработки) сводятся к:

- номенклатуре материалов (металлических порошков);

*Примечание – на сегодняшний момент времени имеющимися (распространёнными) материалами (металлическими порошками), представленными для АТ в Российской Федерации, являются порошки на основе алюминия, меди (в т.ч. бронзы), кобальта, железа (в т.ч. легированные, нержавеющие стали), никеля, титана.*

- анизотропии свойств сплавленного материала, наиболее выраженную между направлениями параллельными плоскости построения (плоскости ХОУ) и вертикали построения (оси OZ);

- более низкой плотностью (и высокой пористостью) сплавленного материалов (значения плотности при этом составляют, как правило, 98,5 - 99,5 %, до 99,99 %).

- разницей в механических свойствах, характеристики усталостной и ударной прочности у сплавленного металла, как правило, ниже (данное обстоятельство обусловлено распространением трещин (микротрещин) от пор (микропор) и границ слоев).

8.4 Ограничения АТ, обусловленные геометрическими возможностями технологии, определяются:

- габаритными размерами изделия;

- чистотой (шероховатостью) получаемой поверхности;

- минимальными размерами элемента, наименьшим возможными размерами элемента, который можно получить посредством рассматриваемой АТ, как для объёмов материала изделия (рёбра, выступы), так и для полостей (отверстия, пазы, проточки);

- максимальное соотношение геометрических размеров элементов (отношение максимального размера элемента к его минимальному размеру) – взаимосвязь между шириной и высотой или длинной для горизонтальных, наклонных и вертикальных элементов.

- минимальным интервалом (зазором) между элементами

Также ограничениями АТ связанными с геометрической формой изделий являются вопросы дискретизации (конвертации в формат STL или аналог) 3 D модели (цифровой CAD модели) изделия. Данный аспект необходимо учитывать при подготовке и конвертации файлов 3 D модели перед изготовлением.

8.4 Ограничения АТ по постобработке обуславливаются следующими аспектами:

- необходимостью проведения термообработки (отпуска) изделий для обеспечения стабильности геометрии, исключение возможного коробления, снятия остаточных напряжений, улучшения микроструктуры и механических свойств материалов;

- необходимостью проведения операций по удалению опорной системы (поддержек);

- необходимостью очистки изделия от остатков металлического порошка;

- необходимостью дополнительной обработки поверхности с целью получения необходимой чистоты поверхности (шероховатости), элементов малых размеров (не обеспечиваемых технологией АТ), посадочных размеров, нанесения специальных покрытий, модификации поверхности, термохимической обработки.

Также, в рамках постобработки следует учитывать операции по контролю качества изделия, ремонту дефектов изделия (если допустимо), оценке качества образцов-свидетелей.

Для обеспечения процессов постобработки необходимо обеспечить соответствующие припуски при конструировании изделий.

**9 Условия применимости аддитивных технологий**

9.1 Базовыми условиями целесообразности применения (рассмотрения) АТ для изготовления изделия являются:

- наличие материалов и АТ для рассматриваемых материалов;

- соответствие размеров изделия возможностям оборудования, в том числе возможность изготовления изделия частями с последующей сборкой;

9.2 Для оценки целесообразности использования АТ целесообразно использовать следующие параметры:

- параметр отношения массы, отношение массы материала заготовки изделия до обработки к массе готового изделия после обработки;

- параметр длительности изготовления, отношение объёма к сроку изготовления изделия;

- параметр стоимости изготовления, отношение стоимости к объёму изделия;

9.2 В качестве определяющих маркеров целесообразности применения (рассмотрения вопроса о применении) АТ следует рассматривать следующие условия:

- прототипирование, единичное или мелкосерийное производство;

- параметр отношения массы составляет более 2, то есть масса изделия составляет менее 50 % от массы исходного материала;

- отношение параметров длительности изготовления для АТ и классических субтрактивных технологий составляет менее 2, то есть время изготовления изделия посредством АТ не более чем в 2 раза превышает время для классических субтрактивных технологий;

- отношение параметров стоимости изготовления для АТ и классических субтрактивных технологий составляет менее 2, то есть стоимость изготовления изделия посредством АТ не более чем в 2 раза превышает стоимость для классических субтрактивных технологий;

Данные маркеры целесообразности определены с учётом возможности оптимизации конструкции изделий для АТ.

9.3 В качестве определяющих маркеров нецелесообразности (отсутствия перспективы) применения (рассмотрения вопроса о применении) АТ следует рассматривать следующие условия:

- массовое производство;

- параметр отношения массы составляет менее 2;

- отношение параметров длительности изготовления для АТ и классических субтрактивных технологий составляет более 2;

- отношение параметров стоимости изготовления для АТ и классических субтрактивных технологий составляет более 2;

9.4 Для принятия решения о целесообразности рассмотрения АТ при изготовлении изделий должны присутствовать 2 и более положительных маркера и не более 1 отрицательного маркера.

Вышеуказанные признаки носят оценочный характер, в том числе для оценки изделий с ячеистыми структурами (балки, соты, решётки, пенообразные структуры), так как в данном случае крайне высоко влияние оптимизации (инжиниринга) подобных изделий.

9.4 Решение о применении АТ необходимо принимать с учётом:

- базовых условий применимости АТ;

- результатов анализа оптимизации изделия для АТ;

- результатов подготовки оптимизированного изделия для печати с учётом особенностей вида и конкретного оборудования АТ.

Базовый алгоритм принятия решений представлен на рис.4. На схеме обозначены 4 ключевые точки принятия решений о применимости АТ.

Точка 1 «Решение по признакам». На данном этапе принимается решение о целесообразности рассмотрения применения АТ в соответствии с условиями, описанными в предыдущем разделе.

Точка 2 «Решение по требованиям». На данном этапе получена информация о нецелесообразности применения АТ и рассматривается возможность изменения концептуальных требований к изделию, в частности:

- применение в конструкции изделия ячеистых структур (балки, соты, решётки, пенообразные структуры);

- изменение подхода к формированию требований к изделию, например, в том числе, рассмотрению более крупного узла (сборочного узла), элементом которого являлось изделие, объединению нескольких элементов сборки в один и т.д., либо наоборот, разделения изделия на несколько элементов, для последующей сборки (при условии простоты такой сборки, экономической целесообразности производственного процесса).

Точка 3 «Решение по оценке». На данном этапе известны результаты оптимизации конструкции изделия, примерные оценки стоимости и времени изготовления изделия, основные функциональные показатели. Принимается решение по целесообразности оценки процесса изготовления изделия на конкретном оборудовании.

Точка 4 «Решение по технологии». На основании всех собранных данных, стоимости, сроках изготовления и функционале изделия принимается решение о способе изготовления изделия.



Рис. 4. Схема принятие решения о применении аддитивных технологий

УДК: ОКС: ОКПД:

Ключевые слова: аддитивные технологии, конструирование, изделие

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