

полям // Актуальные вопросы машиноведения: сб. научн. трудов / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. 2017. Вып. 6. С. 176–179.

2. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

## УДК 621

### АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – НАПРАВЛЕНИЕ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ НА ПРИЗВОДСТВО

Подгорный Г.В.<sup>1</sup>, Ермаченок А.Г.<sup>2</sup>

- 1) Открытое акционерное общество «НПО Центр» НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
- 2) Международный университет «МИТСО» Минск, Республика Беларусь

Аддитивное производство (АТ) как процесс отделяет себя от традиционных методов (ковка, литье и др.) в том, что он добавляет повышенную гибкость дизайна при выборе формы и геометрии желаемой детали. Кроме того, аддитивные возможности на основе сплавления материалов с различной микроструктурой слой за слоем, позволяют применять любые особенности АП. Это позволяет создавать пользовательские функционально классифицированные материалы через аддитивные технологии (АТ), и предоставляет возможность получить материалы с индивидуальными микроструктурами с заданными параметрами и производительностью.

При описании АП важно применять целостный подход к процессу проектирования в той части, которая использует АТ, и включает в себя как процесс проектирования детали, так и метод ее изготовления. С этой точки зрения можно выделить следующие направления для исследования как в части дизайна, так и в части процессов для АП, а также их взаимосвязь для производства различных компонентов и деталей:

- производительность и операции постобработки (оценка и проверка деталей),
- современные инструменты дизайна, доступные для АП,
- экономические соображения при оценке АП как производственного процесса.

При выборе АП в качестве метода производства существует несколько типов процессов, которые могут быть использованы для производства металлических деталей. Из этих процессов есть два наиболее распространенных – это системы порошкового слоя и системы осаждения направленной энергии. Оба метода в настоящее время используются для производства деталей АТ в некоторых отраслях, при этом наблюдается тенденция увеличения доли с каждым годом.

Существует тесная связь между процессом и дизайном при оценке АП как метода производства. Свобода дизайна, выделенная из различных процессов, которые существуют в настоящее время для производства деталей АТ,

обеспечивают новую гибкость при выборе геометрического дизайна детали. По этой причине трудно разработать деталь, которая полностью использует возможности АП, не понимая гибкость и ограничения, которые обеспечивает процесс. Одним из основных фокусов АТ дизайна является способность процесса создавать геометрию и особенности, которые не могут быть произведены легко или экономично с использованием обычных технологий изготовления. Процесс АП поддается очень естественно к типу «свободной формы» дизайна, в котором сложные геометрии и особенности могут быть изготовлены без дополнительных затрат на процесс, помимо стандартных, связанных с процессом АП металла. По этой причине многие из частей деталей АП как правило, имеют очень сложную геометрию и формы, связанные с эксплуатационными характеристиками детали, требованиями к производительности и оптимизации для уменьшения общего веса детали. И производительность, и стоимость являются ключевыми параметрами при принятии решения о том, подходит ли АП для изготовления деталей и крупносерийного производства конкретной детали. Стоимость должна обсуждаться с точки зрения дизайна, а также факторов, которые непосредственно влияют на стоимость изготовления металлической детали АП: общий объем и вес детали, система АП, выбранная для процесса печати, требуемые вторичные операции, необходимые для перехода «напечатанной» части к завершенной, форма, которая соответствует геометрическим, поверхностным и эксплуатационным характеристикам. Все эти параметры следует учитывать при принятии решения о разработке детали с использованием АТ, ориентируясь на первые упомянутые параметры конструкции, вес и объем детали.

Основным преимуществом АП является способность процесса изменять существующие компоненты в измельчительных комплексах, что приведет к новой, оперативно сопоставимой части АП с некоторым снижением веса по сравнению с предшественником. Поскольку вес всегда является достаточно критическим фактором для деталей, то снижение веса является обычной практикой, когда дело доходит до методологии проектирования АП.

Тем не менее, просто уменьшение веса детали за счет сокращения материала и ожидания сопоставимых производительность не простой процесс. При перепроектировании существующей части или проектировании новой детали, которая будет изготовлена с использованием АП, использование некоторых форма топологической оптимизации обычно применяется в качестве руководства при проектировании процесса.

*Топологическая оптимизация* – это процесс, который фокусируется на модификации структуры детали и ее варьирующихся параметров или поверхности конструкции путем изменения этой поверхности с помощью предварительно определенной цели, наряду с применяемыми проектными ограничениями, как правило, с металлическим дизайном детали АП. Целью топологической оптимизации является уменьшение веса (объема) детали с помощью ограничения на то, что деталь не поддается или выходит из строя в

соответствии с предписанной эксплуатационной частью требования. При выполнении топологической оптимизации детали, есть различные программные инструменты, которые могут быть использованы для помощи в процессе проектирования. Топологическая оптимизация посредством моделирования обычно проводится в сотрудничестве с программным пакетом конечных элементов, в котором алгоритм оптимизации использует выходные данные модели конечных элементов, такие как напряжение, деформация, сила контакта и смещение. Посредством итеративного процесса алгоритм оптимизации изменяет топологию детали, пока желаемая цель не будет достигнута в рамках ограничений.

*Консолидация деталей.* Консолидация деталей в рамках АП - это процесс, применяемый специально для нескольких частей сборок и конструкций. Это метод использования компетенций в процессе изготовления оборудования АП, чтобы уменьшить сборку из нескольких частей, состоящих из многих компонентов в переработанную часть, которая имеет те же функциональные возможности, но разработана, чтобы включать меньше общих компонентов. Преимуществом консолидации деталей в АП является упрощение, потенциальное улучшение производительности и сокращение необходимых инструментов и времени изготовления. С точки зрения производителя, уменьшение компонентов может быть существенным фактором, способствующим снижению накладных расходов, связанных с трудом, инструментами и запасами, необходимыми для этой сборки. С точки зрения оператора или пользователя это обычно означает более простое использование и обслуживание продукта. По этим причинам консолидация и упрощение частей напрямую соотносятся со снижением затрат как для поставщиков, так и для клиентов. Метод консолидации деталей в АП прост в том, что существующая деталь или конструкция, состоящая из нескольких компонентов, переработана для минимизации в количество компонентов, необходимых для функциональной работы детали.

*Интеграция и ремонт деталей.* Концепция интеграции деталей не нова для изготовления конструкций, но в контексте АП, она включает в себя процесс объединения компонентов или узлов вместе с использованием АП материала в качестве носителя. Преимущества интеграции деталей зависит от оборудования, но общее преимущество заключается в использовании этого процесса для интеграции отдельных деталей, используя АП, чтобы уменьшить проблемы сборки или трудозатраты. Еще одним преимуществом процесса является его применение в обслуживании и ремонте. Операции, при которых конструкция или деталь ремонтируется с использованием АП после какого-то повреждения одного из его компонентов, который нелегко отремонтировать и заменить с использованием традиционных методов. Вместо того, чтобы сломать всю часть или структуру, АТ материал может быть добавлен к месту повреждения в качестве замены материала присоединения нового компонента к структуре, а затем выполнения любых необходимых вторичных операций, необходимых для возврата всей детали или конструкции к работе.