



Научноёмкие технологии в машиностроении. 2025. №1 (163). С.33-37.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. №1 (163). P.33-37.

Научная статья
УДК 621.9.06
doi: 10.30987/2223-4608-2025-1-33-37

Технологичность конструкций изделий, получаемых методом аддитивных технологий

Евгения Андреевна Курсевич¹, аспирант
Юрий Сергеевич Абраменко², к.т.н.

^{1,2} ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Россия

¹ ingenue@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

² vniitf@vniitf.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

***Аннотация.** Рассмотрены методы оценки технологичности конструктивного исполнения изделий при использовании аддитивных технологий. Произведен анализ изученности понятия технологичности и применимости существующих разработок для аддитивного производства. Рассмотрены качественный и количественный подходы к оценке технологичности. Качественный подход основан на опыте и рекомендациях, но требует адаптации под специфику аддитивных технологий. Количественный подход через определение коэффициентов технологичности представляется более предпочтительным, т. к. позволяет управлять производственным процессом и быстро адаптироваться к изменениям. Проанализированы различные методики количественной оценки технологичности, разработанные отечественными и зарубежными авторами. Сделан вывод, что универсальные методы требуют дополнительной адаптации под специфические характеристики и возможности аддитивного производства, такие как создание сложных геометрических структур, оптимизация по весу и материалоемкости. Подчеркнута необходимость комплексного междисциплинарного подхода к разработке методологии оценки технологичности, учитывающей экономические, экологические и технические факторы аддитивных технологий. Это позволит повысить эффективность производства, снизить затраты и риски при запуске новой продукции.*

Ключевые слова: технологичность конструкции изделия, коэффициенты технологичности, аддитивные технологии

Для цитирования: Курсевич Е.А., Абраменко Ю.С. Технологичность конструкций изделий, получаемых методом аддитивных технологий // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2025. № 1 (163). С. 33–37. doi: 10.30987/2223-4608-2025-1-33-37

Workability of industrial products obtained by fully additive technologies

Evgenia A. Kursevich¹, PhD student

Yuri S. Abramenko², PhD Eng.

^{1,2} FSUE «RFNC-All-Russian Research Institute of applied physics named after Academician E.I. Zababakhin»,

Snezhinsk, Russia

¹ ingenue@yandex.ru

² vniitf@vniitf.ru

Abstract. *Methods for evaluating workability of industrial products obtained by fully additive technologies are viewed. The study of the concept of workability and applicability of existing developments for additive manufacturing is being analyzed. Qualitative approach and quantitative aspect are used simultaneously for evaluating the workability. The qualitative aspect is based on experience and recommendations, but requires adaptation to the specifics of additive technologies. A quantitative approach through the determination of workability coefficients is preferable, as it allows managing of the production process and is quickly adaptable to changes. Various quantitative evaluation techniques of workability, developed by domestic and foreign authors, have been analyzed. It is concluded that flexible ways require additional adaptation to the specific characteristics and capabilities of additive manufacturing, such as the creation of complex geometric structures, optimization in terms of weight and material consumption. The need for a comprehensive multidisciplinary approach to the development of a workability evaluation concept, taking into account the economic, environmental and technical factors of additive technologies, is emphasized. This will increase production efficiency, reduce costs and risks when launching new products.*

Keywords: workability of industrial product, workability coefficients, additive technologies

For citation: Kursevich E.A., Abramenko Yu.S. Workability of industrial products obtained by fully additive technologies / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. № 1 (163). P. 33–37. doi: 10.30987/2223-4608-2025-1-33-37

Введение

В современной производственной сфере наблюдается активное распространение аддитивных технологий и т. к. это направление уже давно переросло нишу прототипирования и стало полноценным средством производства, возникает вопрос о целесообразном применении аддитивные технологии для изготовления изделий. Для рационального применения таких технологий появилась необходимость в разработке научно-обоснованных критериев и методов оценки технологичности конструкции изделий применительно именно для этих технологий. Основной акцент в данной задаче делается на определении степени соответствия конструкции разрабатываемых изделий специфическим требованиям и возможностям аддитивного производства, что представляет собой важнейшую научную и практическую задачу.

Технологичность конструкции изделия – это совокупность свойств конструкции, которые определяют ее приспособленность к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве:

- возможность изготовления конструкции с наименьшими трудовыми и материальными затратами;
- возможность применения рациональных технологических процессов, средств технологического оснащения и автоматизации;
- обеспечение заданных показателей качества и эксплуатационных характеристик при оптимальных затратах;
- простоту технологической подготовки производства, технического обслуживания,

ремонта и утилизации изделия [1].

Таким образом, и технологичность конструкции при применении аддитивного производства характеризует, насколько целесообразно и эффективно можно изготавливать данную конструкцию изделия с использованием аддитивных технологий.

Исследование

Рассмотрим изученность понятия технологичности изделия в общем, применимость и потенциальную адаптацию разработок для аддитивных технологий. Рассмотрим возможности применения качественного и количественного метода оценки технологичности изделия и применения аддитивных технологий для изготовления.

Качественная оценка технологичности конструкций изделия, базирующаяся на опыте и рекомендательных материалах, и играет ключевую роль в традиционных методах производства [3, 9]. Однако, применяя этот подход к аддитивным технологиям, возникает необходимость доработки и развития новых критериев и подходов к данной оценке.

Качественная оценка может помочь при оптимизации конструкций под конкретные виды аддитивных технологий, при этом предоставляя рекомендации по дальнейшему усовершенствованию производственных процессов. Есть ряд работ зарубежных авторов, например, Y. Meng, M. Guvendiren [4, 5], в которых подтверждается необходимость тщательной технологической подготовки производства с применением аддитивных технологий, а именно, проведение качественного анализа технологичности

изделия и от результатов этого анализа зависит эффективность использования таких технологий. Тем не менее, качественная оценка технологичности конструкции изделия, не формализована даже в традиционном производстве и тем более далека от формализации в аддитивных технологиях и полностью зависит от опыта специалиста. В связи с этим, предпочтительнее использовать второй метод – метод количественной оценки технологичности конструкции изделия.

Использование второго метода оценки уровня технологичности изделий, количественного метода – основывается на определении технологического коэффициента изделия и может быть осуществлена двумя основными подходами, которые учитывают различные аспекты планирования и условия производства. Рассмотрим каждый из подходов подробнее, применительно к аддитивным технологиям.

Первый подход оценки технологичности конструкции изделия по основным показателям, влияющими на эффективность его изготовления. При использовании аддитивных технологий, данный подход мог бы включать этапы определения уровня технологичности конструкции нового изделия, сопоставляя его с предварительно заданными уровнями технологичности конструкции изделия на основе критериев, как трудоёмкость и себестоимость производства, но при аддитивных технологиях возникают сложности с прогнозированием. Это связано с тем, что в аддитивном производстве сложно точно определить трудоёмкость изготовления и его себестоимость до начала фактического производства из-за изменчивости технологических параметров, загруженности оборудования, сложности настройки оборудования, выбора материалов.

Данный подход часто связан с риском неопределенности и может вести к задержкам в процессе запуска производства изделий, т. к. затраты времени на технологическую подготовку производства могут быть значительными.

Второй подход с использованием коэффициентов технологичности (второй подход) можно применять следующим образом:

Оценка технологичности конструкции изделия через коэффициенты технологичности, т. е. в начале производства разрабатывается система показателей технологичности, которая может включать такие параметры, как лёгкость достижения

требуемых характеристик, возможности минимизации расходов, удобство последующей обработки, время наладки и переналадки оборудования.

Каждое изделие можно оценить по достигнутым уровням этих коэффициентов, сравнивая их с заданными целевыми показателями и оперативно корректировать конструкцию изделия для повышения технологичности.

Этот метод позволяет управлять процессом производства, уменьшая риски длительной технологической подготовки и неопределённости производственных параметров. Коэффициенты технологичности помогают выявлять ключевые аспекты производства, которые требуются для оптимизации, что в конечном итоге может снизить трудоёмкость и улучшить экономическую эффективность проектов аддитивных технологий.

Оценивая оба подхода в контексте аддитивных технологий, второй подход часто оказывается предпочтительнее благодаря его гибкости, точности в оценках и способности быстро адаптироваться к изменениям в процессах, что критически важно для инновационных производственных технологий.

Оценке технологичности конструкции изделия количественным методом посвящено много работ, рассмотрим самые основные и новые из них и их применимость к аддитивным технологиям.

Методы, разработанные Государственным комитетом стандартов и представленные в работах ученых, таких как В.Н. Кобылов, В.Ю. Угринов и др., предлагают различные классификации и формулы для оценки ключевых показателей технологичности. Особое внимание у авторов Б.С. Балабанова и В.Б. Гокуна, уделяется анализу материалоёмкости как центрального критерия, определяющего экономичность использования ресурсов при создании изделия. Тем не менее, эти критерии не способны обеспечить исчерпывающую оценку технологичности в условиях применения аддитивного производства.

Аддитивные технологии по своей природе влияют на такие аспекты, как сложность воспроизводимых форм и возможность создания оптимизированных по весу конструкций с уникальными свойствами, что выходит за рамки традиционной материалоёмкости. Труды учёных И.А. Леонтьева, И.Е. Андрейчука,

А.С. Давыдовского и их коллег, вносят значительный вклад в развитие определения затрат трудовых ресурсов от площади поверхности изделия как ключевого показателя её технологической проработанности. Этот критерий приобретает особую актуальность в области аддитивных технологий, где сложность поверхности изделия обычно и является ключевым фактором выбора метода изготовления, но не определяет однозначность оценки технологичности применительно к аддитивным технологиям.

Автор Д.Ю. Амиров и его коллеги, разработали систему показателей для количественной оценки, рассчитанную на широкий спектр производственных условий, включая те, что определяются ГОСТ 14.201.

Данная система показателей могла бы быть адаптирована под уникальные особенности и потребности аддитивного производства, но эти коэффициенты ориентированы на традиционные методы производства и не отражают особенности аддитивных технологий. Их применение в производственной сфере требует переосмысления подходов к определению технологичности и трудоёмкости изготовления продукции.

Работы авторов Вартанов М.В., Безъязычный В.Ф. и др., в т. ч. и зарубежные методики Hitachi AEM, Lucas DFA и DFMA, призваны определять и оптимизировать изготовление изделий, учитывая различные коэффициенты технологичности. Эти подходы могли бы быть адаптированы к аддитивным технологиям при определенных условиях.

Требования к технологичности деталей при применении аддитивных технологий значительно отличаются от аналогичных требований к деталям, изготавливаемых механической обработкой, поэтому универсальные методологии оценки технологичности потребуют дополнительной адаптации и доработки для учёта специфических характеристик и потенциала аддитивного производства. Это включает возможность создания сложных геометрических структур без значительного увеличения стоимости, оптимизацию конструкций для снижения веса и материалоёмкости, а также специальные требования к качеству и точности изготовления [2, 8]. Таким образом, комплексная оценка, адаптированная под аддитивные методы, будет способствовать более эффективному и экономичному проектированию и производству изделий.

Анализ подходов к оценке технологичности конструкции изделий выявляет необходимость интеграции знаний о специфике аддитивных технологий на всех этапах проектного и производственного процесса. В этой сфере научные исследования и практические разработки должны сосредоточиться на создании методологии, позволяющей систематически оценивать и улучшать конструкции изделий с точки зрения их производственной эффективности при использовании аддитивных технологий. Речь идёт о необходимости создания универсальных критериев, которые бы отвечали новым требованиям и возможностям аддитивного производства.

Решение этой задачи требует междисциплинарного подхода, включающего в себя технологию машиностроения, материаловедения, компьютерного моделирования, а также глубокого анализа и оптимизации процессов аддитивных технологий. Только всесторонним подходом можно будет достигнуть успеха в повышении технологичности изделий при использовании аддитивных технологий, что в итоге приведёт к снижению затрат, увеличению скорости производства и повышению качества конечного изделия.

Выводы

Анализ представленных исследований и методик показывает, что оценка технологичности конструкций при использовании аддитивных технологий требует комплексного подхода и адаптации существующих методик. Основные выводы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Введение количественных коэффициентов, оценивающих технологичность изделий в рамках аддитивных технологий, позволяет формализовать процесс оценки и делает его более объективным и эффективным. Это особенно важно в условиях, где опыт и интуитивные знания могут быть недостаточными для точной оценки;

2. Методы оценки должны быть гибкими и позволять оперативно вносить изменения в проект или процесс производства, что критически важно для аддитивных технологий, где условия производства могут быстро изменяться;

Итак, интеграция количественных методов и их адаптация под условия аддитивных технологий открывает

возможности для улучшения производственных процессов, повышения эффективности и снижения рисков, связанных с запуском нового производства. Совершенствование данных методов поможет обеспечить устойчивое развитие и инновации в сфере производства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **ГОСТ 14.205-83.** Технологичность конструкции изделий [Текст]. Введ. 1983-04-01. М.: Издательство стандартов, 1983. 11 с.
2. **Аддитивные технологии в машиностроении:** учебное пособие / М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина. Санкт-Петербург, 2013. 222 с.
3. **Базров Б.М., Троицкий А.А.** Анализ метода оценки технологичности конструкции изделия как предмета производства // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2017. № 4 (241). С. 39–43.
4. **Meng, Y., Zhang Y.** Design for additive manufacturing: A review of case studies // *Assembly Automation*. 2014. Vol. 34, no. 4. P. 274–283. doi: 10.1108/AA-04-2014-047.
5. **Guvendiren M., Molde J., Soares R.M.D., Kunkel E., Smith B., Padilla P.** Impact of design and process parameters on mechanical properties of 3D printed parts // *Additive Manufacturing*. 2021. Vol. 38. 101804.
6. **Технологичность** конструкции изделий машиностроения: учебное пособие / А.П. Бабичев, В.И. Безжон, М.Е. Попов, А.М. Попов, А.Г. Хведелидзе, Н.О. Шевченко. Ростов-на-Дону, 2014. 124 с.
7. **Государственная программа «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности»** [Электронный ресурс] / Правительство РФ: офиц. сайт. - URL: <http://government.ru/rugovclassifier/862/events/> (дата обращения: 14.09.2023).
8. **Материалы и процессы аддитивных технологий (быстрое прототипирование)** / В.А. Дьяченко, И.Б. Челпанов, С.О. Никифоров, Д.Д. Хозонхонова. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2015. 198 с.
9. **Оценка** количественных показателей производственной технологичности деталей / П.Ю. Бочкарев, Л.Г. Бокова. Саратов: Саратовский гос. технический ун-т, 2015. 110 с.
10. **Скворцова Д.А.** Разработка дополнительных

коэффициентов для оценки технологичности серийной сборки наукоемких многокомпонентных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 6. С. 3–7.

REFERENCES

1. GOST 14.205-83. Manufacturability of product design [Text]. Introduced 1983-04-01. Moscow: Publishing House of Standards, 1983. 11 p.
2. Additive technologies in mechanical engineering: a tutorial / M.A. Zlenko, A.A. Popovich, I.N. Mutylyna. St. Petersburg, 2013. 222 p.
3. Bazrov B.M., Troitsky A.A. Analysis of the method for assessing the manufacturability of a product design as an item of production // *Handbook. Engineering journal with an appendix*. 2017. No. 4 (241). P. 39–43.
4. Meng, Y., Zhang Y. Design for additive manufacturing: A review of case studies // *Assembly Automation*. 2014. Vol. 34, no. 4. P. 274–283. doi: 10.1108/AA-04-2014-047.
5. Guvendiren M., Molde J., Soares R.M.D., Kunkel E., Smith B., Padilla P. Impact of design and process parameters on mechanical properties of 3D printed parts // *Additive Manufacturing*. 2021. Vol. 38. 101804.
6. Manufacturability of mechanical engineering products design: a tutorial / A.P. Babichev, V.I. Rostov-on-Don, 2014. 124 p.
7. State program «Development of industry and increasing its competitiveness» [Electronic resource] / Government of the Russian Federation: official. website. - URL: <http://government.ru/rugovclassifier/862/events/> (date accessed: 14.09.2023).
8. Materials and processes of additive technologies (rapid prototyping) / V.A. Dyachenko, I.B. Chelpanov, S.O. Nikiforov, D.D. Khozonkhonova. Ulan-Ude: Publishing house of the BSC SB RAS, 2015. 198 p.
9. Evaluation of quantitative indicators of production manufacturability of parts / P.Yu. Bochkarev, L.G. Bokova. Saratov: Saratov State Technical University, 2015. 110 p.
10. Skvortsova D.A. Development of additional coefficients for assessing the manufacturability of serial assembly of high-tech multicomponent products // *Assembly in mechanical engineering, instrument making*. 2015. No. 6. P. 3–7.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.07.2024; одобрена после рецензирования 16.08.2024; принята к публикации 31.10.2024.

The article was submitted 17.07.2024; approved after reviewing 16.08.2024; accepted for publication 31.10.2024.