

В. И. ЛЕБЕДЬ, Н. А. ЧАЩИН*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Украина*

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ И ПОСТОБРАБОТКИ АДДИТИВНО ПРОИЗВЕДЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Предметом изучения в статье является анализ состояния, тенденций и перспектив развития аддитивного производства металлических деталей в аэрокосмической сфере. В статье рассмотрено необходимость применения процессов постобработки аддитивно произведённых деталей; определена необходимость проведения очистки деталей после печати, рассмотрены процессы поджига газовой смеси и термоимпульсной очистки в целом. *Целью* является проведение обзора применения процесса аддитивного производства и технологии очистки готовых изделий. В этой связи, были поставлены следующие *задачи*: проведение анализа, обзор и определение тенденций развития аддитивного производства, процессов постобработки деталей и процесса термоимпульсной очистки в частности. Получены следующие *результаты*. Проанализированы основные области практического применения аддитивного производства металлических деталей. Рассмотрены особенности технологических процессов постобработки поверхностей и детали в целом. На основании приведенных примеров обоснована необходимость применения процесса очистки заготовок. В контексте существующих методов очистки рассмотрены особенности термоимпульсной обработки, а именно: суть, преимущества и сопровождающие её процессы. Выделены актуальные вопросы назначения технологических параметров обработки. Сформулированы следующие *выводы*. Аддитивное производство является быстрорастущим и перспективным методом производства деталей в аэрокосмической сфере в виду своей технологичности и экономичности. Полученные таким образом детали, как правило, не требуют дополнительной обработки, однако полностью избавиться от её необходимости на данном этапе развития технологий не всегда представляется возможным. Одной из важнейших эксплуатационных характеристик деталей является качество их наружных и внутренних поверхностей. В связи с этим, применение термоимпульсной обработки является экономически обусловленным. Для использования всех потенциальных возможностей данного метода очистки необходимо его более глубокое изучение с целью определения влияния режимов обработки на её результат.

Ключевые слова: 3D-печать; аддитивное производство; термоимпульсная обработка; тепловой поток; ударные волны; поджиг смеси.

Введение

Приоритетом современных производственных предприятий является повышение экономичности путём снижения себестоимости продукции в условиях улучшения её характеристик. Одним из наиболее перспективных и динамично развивающихся технологий производства ответственных деталей в авиационной сфере являются методы аддитивного производства [1]. Данные технологии имеют ряд преимуществ, которые и обеспечивают им передовые позиции в современном производстве, но при этом они не избавлены от необходимости финишной обработки. Из методов финишной обработки особое внимание заслуживает термоимпульсная обработка, позволяющая быстро и качественно решать поставленные перед ней задачи, однако сам процесс комплексный и требует решения многих вопросов, таких как способ и параметры инициации горения/детонации. *Целью данной работы* является раскрытие вопроса о текущем состоянии и перспек-

тивах применения аддитивного производства в аэрокосмической сфере, а также целесообразности применения методов термоимпульсной очистки.

1. Анализ актуальности и перспектив развития технологии аддитивного производства

Аэрокосмическая промышленность является движущей силой развития технологии 3D-печати. Предполагается, что объем 3D-печати на аэрокосмическом и оборонном рынке до 2024 гг. превысит 20%. Главными преимуществами данных технологий, для производителей, являются: сокращение количества требуемых операций для получения деталей, ограничение складских площадей и сокращение отходов, в сравнении с традиционными производственными процессами. Увеличение использования 3D-печати в авиационном сегменте в ближайшем будущем будет способствовать росту рынка аддитивных технологий [1, 2].

По экспертной оценке, на конец 2018 года мировой рынок аддитивных технологий, состоящий из продуктов и услуг, составил \$ 8.803 млрд. Капитализация рынка аддитивных технологий к 2025 гг. возрастет до \$ 21.5 млрд. По данным опроса 1000 глобальных промышленных компаний, проведенного компанией Sculpteo, более 40 % уже применяют 3D-печать для изготовления продукции [3].

Вес является самым важным параметром на каждом этапе проектирования и разработки аэрокосмической техники. Малый общий вес самолета способствует уменьшению расхода топлива. Авиакомпании работают с низкой рентабельностью и, следовательно, отдают предпочтение воздушным суднам, которые экономичны. Самолеты нового поколения отличаются высокой топливной экономичностью благодаря использованию современных материалов в компонентах и деталях планера летательного аппарата (ЛА), что приводит к уменьшению его веса без потери прочности и ухудшения параметров аэродинамики.

Например, Lockheed Martin Corporation и Airsonic объявили о заключении двухлетнего соглашения о совместной кооперации. В рамках сотрудничества эти две компании планируют разработать новое поколение легких материалов и передовые производственные процессы, такие как 3D-печать металлами. Авиакомпании закупают самолеты нового поколения, тем самым стимулируя рост сектора аддитивного производства. С 2018 года сегмент авиа- и ракетостроения занимает основную долю на рынке 3D-печати.

Распределение мирового рынка аддитивного производства показано на рис. 1 [4].

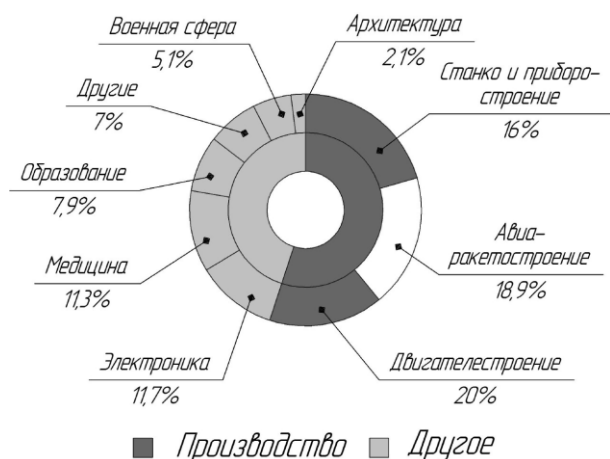


Рис. 1. Распределение мирового рынка аддитивного производства

На рис. 2 показано распределение в аэрокосмической и оборонной доли рынка аддитивного производства [2].

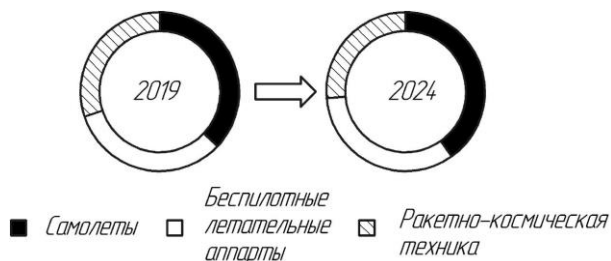


Рис. 2. Распределение в аэрокосмической и оборонной долей рынка аддитивного производства

2. Особенности процесса постобработки деталей аддитивного производства

Важной особенностью технологического процесса производства деталей с помощью аддитивных технологий, является необходимость последующей обработки детали (постобработка).

Стоимость постобработки может составлять почти треть стоимости производства 3D-печатной модели. Согласно отчету Wohler за 2018 год, 27% от общих затрат на производство детали могут быть отнесены на расходы, связанные с последующей обработкой [5].

Применение дополнительных операций обусловлено требованиями к параметрам качества готового изделия, таких как: пористость, шероховатость, твердость. Все эти параметры имеют значительное влияние на долговечность и надежность эксплуатации детали и, как следствие, изделия в целом.

Применяются следующие процессы постобработки детали.

1. Уменьшение пористости.

Скопления пор являются заметными микроскопическими концентраторами напряжений, что существенно снижает прочность детали, так же параметр пористости существенно влияет на показатели теплопроводности. Для улучшения качества как наружной, так и внутренней части изделия применяют горячее изостатическое прессование. Данный процесс сочетает высокую температуру (до 2200°C) и изостатическое давление инертного газа (от 100 до 3100 бар) в защитной камере высокого давления. Нагрев и давление, применяемые одновременно, устраняют внутренние пустоты и остаточную пористость, что повышает усталостную прочность изготовленных деталей и способствует созданию мелкозернистой структуры [6].

2. Обработка наружных поверхностей.

Одним из перспективных направлений использования 3D-печатных технологий, является возможность усложнение конструкции ЛА, а именно замена узла из нескольких деталей одной, оптимизированной по ряду параметров. Применение аддитивных методов производства позволяет снизить металлоемкость деталей, а так же повысить эффективность использования узлов и агрегатов, в плане их габаритных размеров и рабочей эффективности. Вместе с тем, уменьшение количества деталей приводит к усложнению их внутренних и наружных форм.

Для улучшения шероховатости наружных поверхностей деталей и их очистки могут быть использованы следующие методы обработки.

Пескоструйная обработка абразивными материалами, такими как песок, крошка и керамические шарики, является легким и простым способом уменьшения шероховатости поверхности, но так же является трудоемким процессом для достижения полной и равномерной обработки всей детали.

Аналогичным образом, дробеструйная обработка улучшает чистоту поверхности, и она имеет дополнительное преимущество, заключающееся в улучшении механических свойств поверхности детали за счет пластической деформации, возникающей во время процесса.

Электрохимическая полировка или травление обеспечивает альтернативу абразивной полировке. В данном случае используется химический травитель, стимулируемый электрическим током, для сглаживания и обработки внутренних и внешних поверхностей металлической детали. Процесс является относительно недорогим и контролируемым, но требует осторожного обращения с реагентами и дальнейшую их утилизацию.

Для очистки внутренних полостей деталей возникают трудности связанные с тем, что внутренние каналы могут иметь относительно малые размеры сечения и соответственно не могут быть очищены с применением предыдущих методов. Применение абразивных материалов в процессе очистки, например, может привести к внедрению абразивной частицы в материал детали, данное явление называется шаржированием, во время эксплуатации детали может произойти отрыв данной частицы с последующим её пагубным влиянием на остальные элементы узла и изделия в целом.

3. Очистка внутренних полостей детали от остаточных производственных продуктов.

Для процессов плавления в металлическом порошковом слое очистка деталей является ключевым этапом стадии последующей обработки. Это может быть особенно сложной задачей, когда речь идет об

очень сложных деталях, таких как инфузионные сопла.

Процесс изготовления детали (печати) ведется с применением инертных газов в зоне обработки (как правило, аргона), из-за этой особенности частицы порошка, которые разлетаются в процессе, осаждаются на поверхности детали (рис. 3) [7].

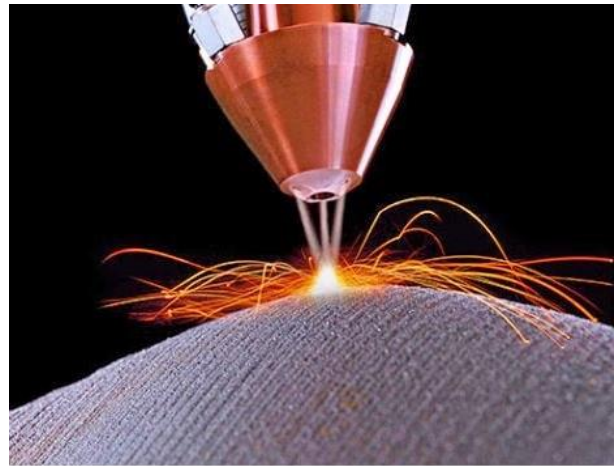


Рис. 3. Наглядная демонстрация процесса «разлета» частиц порошка

Образование зон на поверхностях детали оспеченными частицами порошка, которые нуждаются в очистке, подтверждается исследовательскими отчетами NASA (рис. 4) [8].

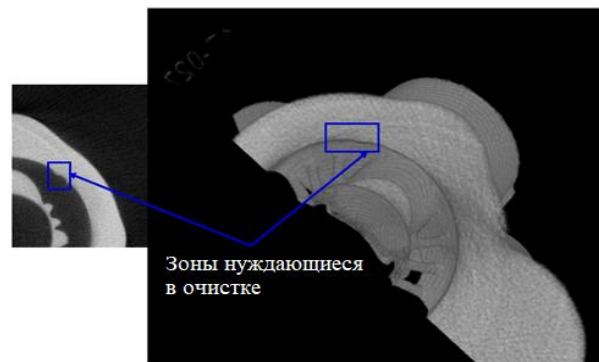


Рис. 4. Пример металлической детали, полученной методом аддитивного производства

В процессе очистки от остатков порошка и «прилипших» частиц с малой адгезией, применяют очистку сжатым воздухом, промывку под высоким давлением, ультразвуковую, сухим льдом, вибрационную.

Для последнего метода на рынке технологического оборудования уже существуют автоматизированные комплексы. Например, немецкая компания Solukon разработала систему с автоматическим уда-

лением порошка. С помощью контролируемых вибраций и программируемого вращения оси SFM-AT800S обеспечивает тщательную очистку металлических деталей от любого не подвергшегося спеканию металлического порошка и уже используется компанией Siemens [9].

Если частицы обладают большей адгезией к телу детали, то для их очистки применяют термический метод очистки – термоимпульсную очистку.

3. Особенности термоимпульсной обработки

Метод управляемой термоимпульсной обработки заключается в управляемом взрыве газовой смеси в камере под давлением. В процессе взрыва высвобождается значительное количество энергии, что в свою очередь резко повышает температуру поверхностного слоя детали и приводит к выжиганию кромок.

В основе метода термоимпульсной обработки лежит нагрев детали импульсно-периодическим источником энергии с целью оплавления ликвидов. Такая обработка обеспечивает плавление удаляемых элементов, но при этом необратимые изменения структуры и формы деталей исключены. Следует помнить о классификации заусенцев по типу, размеру и т.д. и, следовательно, подбирать соответствующие режимы обработки.

Важной особенностью термоимпульсной обработки, выявленной в ходе экспериментов [10], является отсутствие теневых зон. При этом временной диапазон термоимпульсной обработки определяется затуханием ударных волн.

Также стоит отметить отсутствие изнашиваемого рабочего инструмента, возможность обработки сразу нескольких изделий и возможность автоматизации процесса обработки.

Термоимпульсный метод имеет большой потенциал промышленного применения для обработки деталей высокой точности со сложной конфигурацией внутренних и наружных поверхностей. Уровень изученности процессов термоимпульсной обработки на сегодняшний день уже позволяет свидетельствовать о возможности успешного включения этого метода во многие производственные циклы машиностроения в целях повышения качества продукции, улучшения условий производства, снижения трудоемкости, экономии материальных ресурсов. Одним из примеров может служить производство прецизионных изделий, где нежелательно применение механической очистки кромок и поверхностей из-за образования вторичных, более мелких, ликвидов.

Метод термоимпульсной обработки зависит от многих параметров, зависящих от формы, структуры материала, типа обработки и др.

Различные механизмы удаления спеченных частиц порошка (оплавление, сгорание, хрупкое скалывание) сопровождаются интенсивным тепловым воздействием на удаляемые элементы за счет возникновения ударных волн.

Процесс термоимпульсной очистки связан с отрывом шарика спеченного порошка от поверхности за счёт градиента скоростей – силы Саффмана [10]. В приведенной работе говорится, что при отрыве температура шарика повышается незначительно, а при попадании в горячий поток воздуха, вследствие большого отношения площади поверхности шарика к массе, он быстро нагревается и испаряется (либо сгорает в случае нахождения в потоке высоконасыщенном кислородом). Дальнейшая задача в таком случае – успеть выпустить этот газ, чтобы предотвратить повторное осаждение продуктов очистки на поверхность.

Конкретный механизм удаления спеченной частицы находится в прямой зависимости от ее адгезии к поверхности. На данный момент единого экспериментально подтвержденного механизма, полностью учитывающего адгезию и некоторые сопутствующие вопросы, в открытых источниках не представлено.

Например, используемый механизм вышеприведенной работы [10] требует уточнения и пересчета с учетом актуальных данных касательно определения сил адгезии и их величин между частицей и поверхностью.

Тот факт, что при термоимпульсной обработке часть топливной смеси сгорает в режиме взрыва с резким увеличением скорости горения и давления, приводит к образованию ударных волн в камере сгорания с определенным временем их затухания, за которое все микрочастицы успевают нагреться до требуемых для обработки температур, как на внешних, так и на внутренних поверхностях. При распространении ударных волн в замкнутой камере, волны будут отражаться от поверхностей камеры и самой детали, что актуализирует вопрос оптимального позиционирования детали в камере.

Создание детонационной волны возможно двумя принципиально отличающимися способами: переходом горения в детонацию и прямым инициированием [11] (рис. 5).

Обеспечение равномерности температуры продуктов сгорания, необходимость обеспечения безопасности и контролируемости процесса обработки, повышение экономичности метода и др. причины подчёркивают важность и необходимость более тщательного подхода к определению такого важно-

го аспекта термоимпульсной обработки как инициация горения и взрыва [12].



Рис.5. Классификация методов управления сгоранием топливной смеси применительно к термоимпульсной обработке

Вопрос выбора типа поджига и его параметров до сих пор остаётся открытым и требующим дальнейших исследований и уточнений.

Необходимость компьютерного моделирования термоимпульсной очистки с учётом параметров поджига обусловлена комплексностью самого процесса, включающего механические, химические и теплофизические составляющие, его быстротечностью и протеканием в агрессивных средах.

Заключение

1. Аддитивное производство является быстрорастущим и перспективным методом производства деталей в аэрокосмической сфере в виду своей технологичности и экономичности процесса. Применение 3D-печати даёт возможность уменьшения коли-

чества составных частей изделия за счёт усложнения их конструкции. В виду этого актуализируются задачи очистки каналов, внутренних и наружных полостей.

2. Для решения подобного рода задач очистки имеется весьма ограниченное число технологий, к числу которых может быть отнесен процесс термоимпульсной очистки, но для его применения в процессе постобработки требуется решить ряд задач.

3. К числу таких задач можно отнести:

- определение допустимых режимов обработки по условию соблюдения целостности детали;
- уточнение значения сил адгезии частиц к поверхности детали;
- уточнения механизма очистки;
- анализ перспектив применения пневматических способов очистки ударными волнами.

Литература

1. Bingheng, Lu. *Development Trends in Additive Manufacturing and 3D Printing [Text]* / Lu Bingheng, Li Dichen, Tian Xiaoyong // *Engineering*. – 2015. – No. 1 (1). – P. 85-89. DOI: 10.15302/J-ENG-2015012.
2. *3D printing in aerospace and defense market - growth, trends, and forecast (2019-2024) [Digital source]: Industrial report / Mordor Intelligence*. – Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/3d-printing-in-aerospace-and-defense-market>. – 8.10.2019.
3. *Каталог аддитивного оборудования, производимого на территории Российской Федерации [Электронный ресурс]: каталог / Минпромторг России, 2019. – 81 с. – Режим доступа: <https://nangs.org/docs/minpromtorg-rossii-katalog-additivnogo-oborudovaniya-proizvodimogo-na-territorii-rossijskoj-federatsii-ot-17-07-2019-g-pdf>*. – 8.10.2019.
4. Spasova, Galina. *How 3D Printing Is Transforming Industry: Aerospace [Digital source]* / Galina Spasova. – IDC, 2019. – Available at: <https://blog-idcuk.com/how-3d-printing-is-transforming-industry-aerospace/>. – 8.10.2019.
5. *Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry [Digital source]: World Development Annual Report / Wohlers Associates, 2018. – 344 p. – Available at: <https://wohlersassociates.com/press74.html>*. – 8.10.2019.
6. *Effect of standard heat treatment on the microstructure and mechanical properties of hot isostatically pressed superalloy Inconel 718 [Text]* / G. Appa Rao, Mahendra Kumar, M. Srinivas, D. S. Sarma // *Materials Science and Engineering*. – 2003. – A355. – P. 114-125.
7. *Cleaning and Cleanliness Measurement of Additive Manufactured Parts [Digital source]: technical report / NASA; Welker Roger W., Mitchell Mark A. – USA, 2015. – 36 p. Report № M15-4641. – Available at:*

<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20150016425>. – 8.10.2019.

8. *Cleaning and Cleanliness Measurement of Additive Manufactured Parts [Digital source]: technical report / NASA; Edwards Kevin, Fox Eric, Mitchell Mark, Boothe Richard.* – USA, 2017. – 12 p. Report № M17-6129. – Available at: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170008944>. – 8.10.2019.

9. *Post-processing solutions for additive manufacturing [Digital source]* – Available at: <https://solukon.de/en/>. – 8.10.2019.

10. Козлов, В. Г. *Повышение эффективности финишной очистки деталей гидравлических систем самолетов на базе термоимпульсного метода [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.07.02 : защищена 20.09.2013 ; утв. 6.12.2013 / Козлов Владислав Григорьевич.* – Х., 2013. – 176 с.

11. Харламов, Ю. А. *Управляемое инициирование газовой детонации [Текст] / Ю. А. Харламов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.* – 2017. – № 7 (237). – С. 101–113.

12. Харламов, Ю. А. *Развитие детонационно-газовых технологий [Текст] / Ю. А. Харламов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.* – 2017. – № 7 (237). – С. 114–132.

References

1. Bingheng, Lu, Dichen, Li, Xiaoyong, Tian. *Development Trends in Additive Manufacturing and 3D Printing.* Engineering, 2015, vol 1, no. 1, pp. 85-89. DOI: 10.15302/J-ENG-2015012

2. Industrial report. *3D printing in aerospace and defense market - growth, trends, and forecast (2019 - 2024).* Mordor Intelligence, 2019. Available at: <https://mordorintelligence.com/industry-reports/3d-printing-in-aerospace-and-defense-market> (accessed 8.10.2019).

3. *Katalog additivnogo oborudovaniya, proizvodimogo na territorii Rossijskoj Federatsii* [Catalog of additive equipment manufactured in the Russian Federation]. Ministry of Industry and Trade of Russia, 2019. 81 p. Available at: <https://nangs.org/docs/minpromtorg-rossii-katalog-additivnogo->

<oborudovaniya-proizvodimogo-na-territorii-rossijskoj-federatsii-ot-17-07-2019-g-pdf> (accessed 8.10.2019).

4. Galina Spasova. *How 3D Printing Is Transforming Industry: Aerospace.* IDC, 2019. Available at: <https://blog-idcuk.com/how-3d-printing-is-transforming-industry-aerospace/> (accessed 8.10.2019).

5. *Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report.* Wohlers Associates, 2018. 344 p. Available at: <https://wohlersassociates.com/press74.html> (accessed 8.10.2019).

6. Appa, Rao G., Mahendra, Kumar., Srinivas, M., Sarma, D. S. *Effect of standard heat treatment on the microstructure and mechanical properties of hot isostatically pressed superalloy Inconel718.* Materials Science and Engineering, 2003, A355, pp. 114-125.

7. Welker, Roger W., Mitchell, Mark A. *Cleaning and Cleanliness Measurement of Additive Manufactured Parts. Technical report no. M15-4641.* NASA, 2015. 36 p. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20150016425> (accessed 8.10.2019).

8. Kevin, S. Edwards. *Cleaning and Cleanliness Measurement of Additive Manufactured Parts. Technical report no. M17-6129.* NASA, 2017, 12 p. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170008944> (accessed 8.10.2019).

9. *Post-processing solutions for additive Parts.* Available at: <https://solukon.de/en/> (accessed 8.10.2019).

10. Kozlov, V. G. *Povyshenie effektivnosti finisnoi ochistki detalei gidravlicheskih sistem samoletov na baze termoimpul'snogo metoda.* Diss. kand. tekhn. nauk [Improving of finish cleaning of aircraft's hydraulic systems parts based thermal-pulse method. PhD Diss.]. Kharkov, 2013. 176 p.

11. Kharlamov, Y. A. *Upravlyаемое initiirovanie gazovoi detonatsii* [Controlled initiation of a gaseous detonation]. *Visnik Skhidnoukraińskogo natsional'nogo universitetu imeni Volodimira Dallya*, 2017, no. 7 (237), pp. 101–113.

12. Kharlamov, Y. A. *Razvitie detonatsionno-gazovykh tekhnologii* [Development of gaseous detonation technologies]. *Visnik Skhidnoukraińskogo natsional'nogo universitetu imeni Volodimira Dallya*, 2017, no. 7 (237), pp. 114–132.

Поступила в редакцію 9.11.2019, рассмотрена на редколлегии 20.01.2020

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ТА ПОСТОБРОБКИ АДИТИВНО ВИГОТОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ

В. І. Лебедь, М. О. Чащин

Предметом вивчення в статті є аналіз стану, тенденцій і перспектив розвитку адитивного виробництва металевих деталей в аерокосмічній сфері. У статті розглянуто необхідність застосування процесів постобробки адитивно вироблених деталей; визначена необхідність проведення очищення деталей після друку, розглянуто процеси підпалу газової суміші та термоімпульсного очищення в цілому. **Метою** є проведення огляду застосування процесу адитивного виробництва та технології очищення готових виробів. У зв'язку з цим, були поставлені наступні **завдання**: проведення аналізу, огляд і визначення тенденцій розвитку адитивного виробництва, процесів постобробки деталей і процесу термоімпульсного очищення зокрема. Отримано наступні **результати**. Проаналізовано основні області практичного застосування адитивного виробництва металевих деталей. Розглянуто особливості технологічних процесів постобробки поверхонь і деталі в цілому.

На підставі наведених прикладів обґрунтовано необхідність застосування процесу очищення заготовок. В контексті існуючих методів очищення розглянуті особливості термоімпульсної обробки, а саме: суть, переваги та процеси що її супроводжують. Виділено актуальні питання призначення технологічних параметрів обробки. Сформульовано наступні **висновки**. Адитивне виробництво є швидкозростаючим і перспективним методом виробництва деталей в аерокосмічній сфері з причини своєї технологічності та економічності. Отримані таким чином деталі, як правило, не вимагають додаткової обробки, проте повністю позбутися її необхідності на даному етапі розвитку технологій не завжди вдається. Однією з найважливіших експлуатаційних характеристик деталей є якість їх зовнішніх і внутрішніх поверхонь. У зв'язку з цим, застосування термоімпульсної обробки є економічно обумовленими. Для використання всіх по-потенційних можливостей даного методу очищення необхідно його більш глибоке вивчення з метою визначення впливу режимів обробки на її результат.

Ключові слова: 3D-друк; адитивне виробництво; термоімпульсна обробка; тепловий потік; ударні хвилі; підпал суміші.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT TRENDS AND POSTPROCESSING OF ADDITIVELY PRODUCED PARTS

V. I. Lebed, M. O. Chashchyn

The subject matter of the study in the article is the analysis of the state, trends and prospects for the development of additive production of metal parts in the aerospace field. The article discusses the need for the application of post-processing processes of additively produced parts; the necessity of parts cleaning after printing is determined, the processes of gas mixture ignition and thermal pulse cleaning as a whole are considered. **The goal** is to review the application of the additive manufacturing process and the cleaning technology for finished products. In this regard, the following **tasks** were set: analysis, review and determination of the development trends of additive manufacturing, post-processing of parts and the thermal pulse cleaning process in particular. The following **results** were obtained. The main areas of practical application of metal parts additive production are analyzed. The technological processes features of post-processing of surfaces and parts as a whole are considered. Based on the above examples, the need for the use of a blank cleaning process is substantiated. In the context of existing cleaning methods, the features of thermal treatment are considered, namely: the essence, advantages and processes accompanying it. Highlighted the current issues of the appointment of technological processing parameters. The following **conclusions** are formulated. Additive manufacturing is a fast-growing and promising method for the production of parts in the aerospace industry in view of its manufacturability and economy. Thus obtained parts, usually, do not require additional processing, however, it is not always possible to completely get rid of its need at this stage of technology development. One of the most important performance characteristics of parts is the quality of their outer and inner surfaces. In this regard, the use of thermopulse processing is economically determined. To use all the potential capabilities of this cleaning method, it is necessary to study it more deeply in order to determine the influence of processing modes on its result.

Keywords: 3D printing; additive manufacturing; thermal treatment; heat flow; shock waves; mixture ignition.

Лебедь Владислав Игоревич – аспирант кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Чащин Никита Алексеевич – аспирант кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Lebed Vladyslav Igorovych – PhD student of Department of technology of production of aircraft, National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, Ukraine.

e-mail: v.lebed@khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0003-3834-8849, ResearcherID: A-9076-2019, <https://scholar.google.com.ua/citations?user=QGHg95EAAAAJ>, <http://irbis-nbuv.gov.ua/ASUA/1468227>

Chashchyn Mykyta Oleksijovych – PhD student of Department of technology of production of aircraft, National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, Ukraine.

e-mail: m.chaschyn@khai.edu. ORCID Author ID: 0000-0002-2493-4129, publons.com/researcher/2918777/mykyta-chashchyn/, scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=knQkgc4AAAAJ