

УДК 621

## ДЕКОМПОЗИЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ЛОПАТОК ТУРБИН ГТД

Анастасьев А.В., ст. преп.

Автомобильно-дорожный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Донецкий  
национальный технический университет» в г. Горловка  
г. Горловка

Лопатки турбин газотурбинных двигателей (ГТД) имеют широкую номенклатуру применяемых материалов, конструктивных исполнений и особенностей, как в пределах различных ступеней турбины одного двигателя, так и в целом, с учетом широкого спектра существующих ГТД. На этапе обработки ЛТ осуществляется последовательное повышение точности параметров каждой ступени обработки, и достигаются необходимые характеристики материала и поверхностей лопатки турбины. При этом, на этапе механической обработки достигается обеспечение и соблюдение требуемых показателей качества. Особое значение имеет отделочно-упрочняющая обработка, так как позволяет, при минимальном отличии от базового технологического процесса – значительно повысить эксплуатационные характеристики, такие как ресурс и т.д. [1, 2, 3]. Отделочно-упрочняющая обработка (ОУО) лопаток турбин ГТД – это комплекс технологических процессов, направленных на улучшение механических и эксплуатационных характеристик деталей. Основными целями этой обработки являются повышение износостойкости, усталостной прочности, коррозионной стойкости и снижение шероховатости поверхности.

Целью данной работы является декомпозиция технологии отделочно-упрочняющей обработки лопаток турбин ГТД и выделение её основных составляющих. Для этого необходимо решить ряд задач, а именно: провести анализ типовых методов ОУО, выделить основные их разновидности, и определить возможности рационализации их применения.

Основная задача отделочно-упрочняющей обработки заключается не в формообразовании, а в повышении качества поверхностного слоя (рис. 1), что в свою очередь проявляется в воздействии этих методов не на весь объем детали, а только на поверхностный слой [4]. Исходя из этого, методы и технологии ОУО можно разделить на следующие группы по способу воздействия на объект:

- 1) Абразивные методы обработки;
- 2) Упрочнение поверхностным пластическим деформированием, (включающее в себя методы вибрационного, дробеструйного, деформационного выглаживание, ультразвуковая обработка);

3) Нанесение защитных и специальных покрытий (таких как эрозионностойкие, коррозионностойкие, жаростойкие, теплозащитные и специальные конструкционные покрытия).

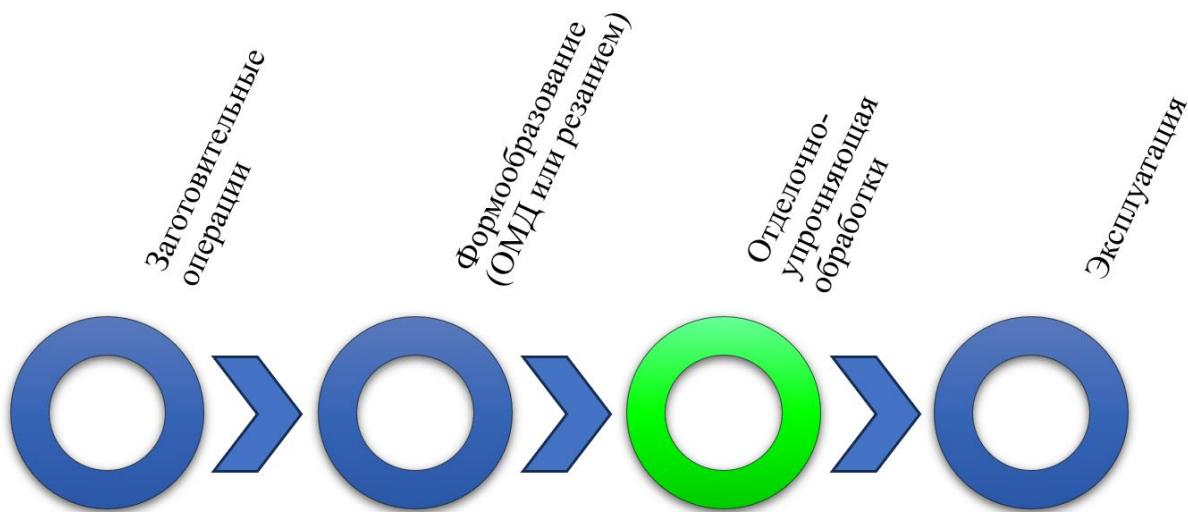


Рисунок 1 – Место ОУО лопаток турбин ГТД в производственном процессе.

В качестве отделочной обработки применяются различные виды полирования, в том числе полирование на полировальных бабках, с применением в качестве инструмента специальных войлочных кругов с накатанными на профиль абразивными зернами, или микропорошков [5]. Эти процессы разделяют на такие переходы как предварительное и окончательное полирование, а также глянцевание [6]. Процесс полирования лопаток турбин в большей степени выполняется в ручном режиме, что обусловлено их сложной пространственной формой и особенностями технологии.

Одним из способов повышения эксплуатационных характеристик лопаток ГТД являются методы поверхностно-пластического деформирования (ППД). Такие методы упрочняющих технологий включают в себя: раскатывающие методы чистовой обработки, вибрационные, пневмо- и гидродробеструйные, обкатка роликами, алмазное выглаживание, дорнование, а также другие методы чистовой обработки поверхности деталей [7, 8, 9].

За последнее время разработано множество различных методов поверхностно-пластической деформации (ППД), различные конструкции технологического оснащения и рабочих инструментов. Существенный вклад в их развитие внесли разработки российских ученых, таких как: Бабичев А.П., Копылов Ю.Р., Смоленцев В.П., Смелянский В.М., Барац Я.И. [10, 11].

Кроме того, активно применяются методы, в основе которых лежит обработка поверхностей потоком металлической или керамической дроби. Такие воздействия вызывают локальное пластическое деформирование и образование остаточных сжимающих напряжений, уменьшающих вероятность появления и развития усталостных трещин. Еще одной вариацией методов

ППД является накатка специальными роликами или шариками, что дает аналогичный эффект.

В качестве покрытий лопаток турбин используются различные материалы и их комбинации, составы и структуры веществ. При этом активно применяются металлические, интерметаллидные, композитные и композиционные покрытия и их комплексы [12, 13, 14, 15]. При нанесении защитных и специальных покрытий используют основные группы методов, отличающиеся способом испарения наносимого материала и его осаждения на подложку детали.

Каждый из этих процессов применяется в зависимости от материала лопаток, условий эксплуатации и требований к надежности и долговечности детали. Развитие технологий отделочно-упрочняющей обработки продолжается, включая совершенствование методов механической обработки, разработку новых защитных покрытий и внедрение автоматизированных систем контроля качества, что способствует повышению эффективности и надежности газотурбинных двигателей.

При этом, структура операций ОУО может включать в себя как отдельные операции и их комбинации, так и их последовательность. Для более детального рассмотрения следует провести декомпозицию технологии ОУО на множество отдельных технологических решений. Графически это можно выразить в виде схемы декомпозиции, представленной на рис. 2.

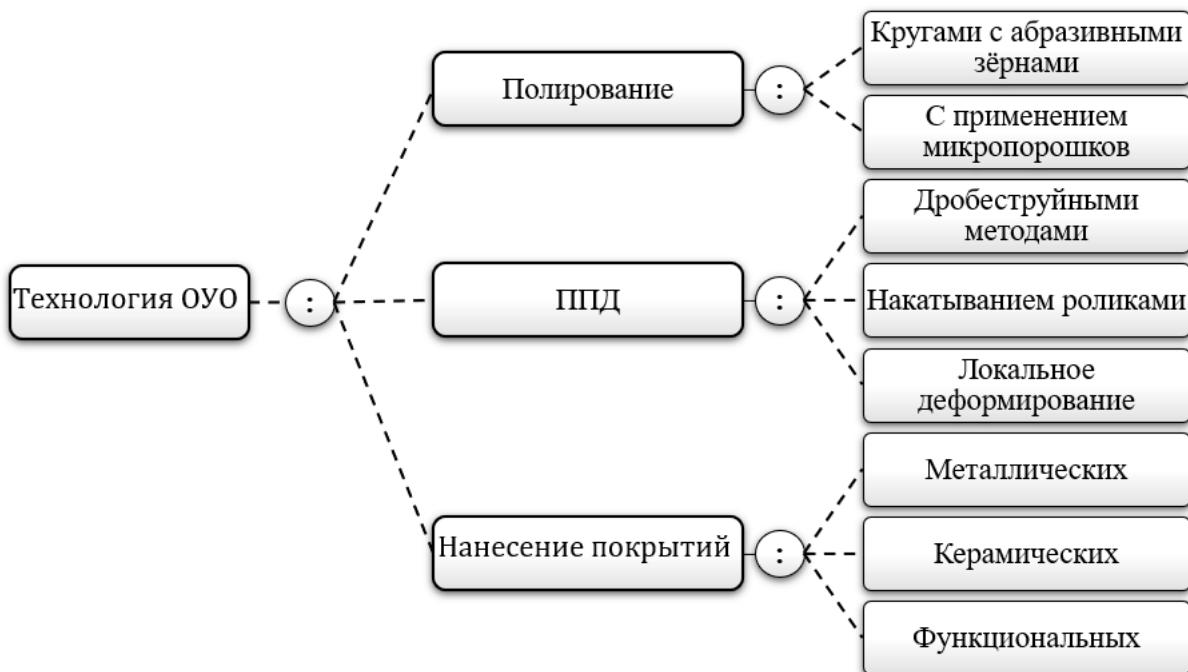


Рисунок 2 – Схема декомпозиции технологии ОУО.

В результате такой декомпозиции технологии получим множество методов, которые могут быть применены в процессе обработки лопаток турбин

ГТД в порядке и последовательности, определенной эксплуатационными особенностями конкретной лопатки.

Методы поверхностного упрочнения лопаток газотурбинных двигателей играют ключевую роль в повышении их механических свойств, стойкости к износу, усталостному разрушению и высоким температурам. В практике наиболее эффективным подходом является сочетание нескольких методов обработки, что позволяет добиться максимальных эксплуатационных характеристик.

Декомпозиция технологии отделочно-упрочняющей обработки лопаток турбины ГТД требует комплексного подхода, учитывающего функциональные особенности деталей, применение современных методов обработки и оптимизацию технологических процессов. Использование функционально-ориентированного подхода, комплексных методов обработки, топологической оптимизации и аддитивных технологий позволяет значительно повысить ресурс и надежность лопаток турбины.

#### **Список литературы:**

1. Михайлов, А. Н. Основные особенности и принципы создания композиционных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, Е. А. Михайлова // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2012. – № 1(43). – С. 206-222.
2. Михайлов, А. Н. Основы синтеза композиционных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов, Е. А. Михайлова, Д. А. Михайлов // Вестник Национального университета «Львовська політехніка». – 2011. – № 713. – С. 23-31.
3. Михайлов, А. Н. Основы синтеза механизма повышения ресурса лопаток турбины газотурбинного двигателя на базе функционально-ориентированного подхода / А. Н. Михайлов, А. В. Анастасьев, Н. С. Пичко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2022. – № 4(79). – С. 35-43.
4. Макеева, К. И. Гидродробеструйное упрочнение микрошариками / К. И. Макеева // АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: сборник статей X Международной научно-практической конференции : в 2 ч., Пенза, 05 февраля 2023 года. Том Часть 1. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 51-52.
5. Макаров, В.Ф. Разработка высокоэффективных технологических процессов обработки деталей газотурбинных двигателей для авиации и наземных установок / В.Ф. Макаров // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2017. – № 1(40). – С. 159–166.
6. Макаров, В.Ф. Проблемы автоматизации финишной обработки сложнопрофильных поверхностей лопаток ГТД / В.Ф. Макаров, В.А. Жукотский, Е.Н. Бычина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 8-2. С. 52–55.

7. Федорченко, Д. Г. Технологические методы повышения надёжности деталей ГТД / Д. Г. Федорченко, Д. К. Новиков // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19, № 1(67). – С. 62-66.
8. Повышение эксплуатационной надежности ГПА развитием конвертированных авиационных технологий / С. Д. Медведев [и др.]. – Самара : СНЦ РАН, 2008. – 370 с. – ISBN 978-5-93424-376-1.
9. Процессы механической и физико-химической обработки в производстве авиационных двигателей / А. Г. Бойцов, А. П. Ковалев, А. С. Новиков [и др.]. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2007. – 584 с. – ISBN 978-5-7038-3044-4.
10. Зайдес, С.А. Состояние технологии поверхностного пластического деформирования в России / С.А. Зайдес // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2015. – №2(43).
11. Сыщиков, Д. Н. Анализ номенклатуры деталей типа "лопатка турбины" газотурбинного двигателя и технологических процессов их изготовления / Д. Н. Сыщиков // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. – 2017. – № 2(41). – С. 320-325.
12. Авдеев, Н. В. Теория и практика металлизирования / Н.В. Авдеев. – Ташкент: «ФАН», 1978. – 76 с.
13. Михайлов, А. Н. Функционально-ориентированные покрытия для повышения эксплуатационных свойств деталей машин / А.Н. Михайлов, Д.А. Михайлов, Р.М. Грубка, М.Г. Петров. // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-19 сентября 2015 г. – Донецк: МСМ, 2015. Т. 2. – 259 с
14. Опокин, В. Г. Анализ применения теплозащитных покрытий на рабочих лопатках турбины современных авиационных ГТД / В. Г. Опокин, Р. Г. Равилов, В. М. Самойленко, Г. Н. Настас // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2012. – № 1. – С. 3-5.
15. Rickerby, D. S. Coatings for gas turbines / D.S. Rickerby, M.R. Winstone. Materials and Manufacturing Processes. – 1992. №7. – Р. 495-526.