

*В.В. Лунин, А.Ю. Мухин, А.С. Сараев,  
Л.Ф.А. Санхинес, М.В. Сахаров*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДГЕЗИИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ АВИАЦИОННЫХ ШАССИ**

**Введение.** Применение титановых сплавов в авиационной промышленности обусловлено высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью. В производстве особо ответственных деталей авиационных шасси, таких как поршни, штоки, оси, траверсы применяются материалы ВТ-22, ВТ3-1. Обработка титановых сплавов осложнена рядом технологических проблем, среди которых наиболее важными являются технологические остаточные деформации – изменение размеров и формы деталей вследствие действия остаточных напряжений (ОН) [1], а также проблемы с нанесением износостойких гальванических покрытий из-за плохой адгезии вследствие свойства титана интенсивно окисляться при высоких температурах. Таким образом, технология механической и термической обработки деталей из титановых сплавов связана с проблемой создания благоприятной технологической наследственности на всех этапах технологического процесса, что является важной задачей при изготовлении авиационных деталей.

**Описание работ.** В производстве АО «Авиаагрегат» штоки и поршни гидроцилиндров являются высокотехнологичными деталями, к которым предъявляются высокие требования по точности изготовления, износостойкости и герметичности гальванических покрытий. При этом одной из важных задач является повышение адгезии покрытий из никеля и хрома при нанесении гальванических покрытий на детали из сплавов ВТ22 и ВТ3-1.

В данной работе изложены результаты исследований проблемы отслаивания покрытия при хромировании штоков (рис. 1), изготавливаемых из сплавов ВТ22 и ВТ3-1 [2]. Технологический процесс производства штоков включает операции, ключевыми среди которых являются «Шлифование» и «Отжиг» [3]. Проведённые исследования показали, что в процессе шлифовальной обработки в поверхностном слое детали создаются растягивающие остаточные напряжения (рис. 2), значительно ухудшаю-

щие адгезию покрытий и, как следствие, приводящие к отслаиванию покрытий. При этом наиболее неблагоприятным является создание растягивающих остаточных напряжений при шлифовании в результате «прижогов». Операция «Отжиг» снижает уровень растягивающих напряжений в поверхностном слое до величины 20...40 МПа, но знак напряжений остаётся прежним, и остаточные напряжения остаются растягивающими. В связи с этим решением проблемы является создание благоприятной технологической наследственности, уменьшение растягивающих и по возможности создание сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое деталей перед нанесением покрытий гальваническим методом.

Для создания в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений была применена упрочняющая пневмодробеструйная обработка.



Рис. 1. Шток из материала ВТЗ-1 с дефектами хромового покрытия

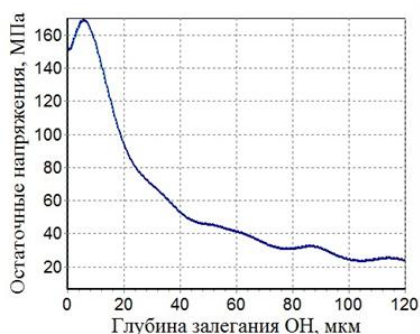


Рис. 2. Эпюра остаточных напряжений после шлифовальной обработки штоков

Мероприятия по упрочнению штоков позволили обеспечить требуемую адгезию покрытий, однако для многих видов деталей упрочняющая обработка не предусмотрена технологическим процессом, в связи с чем дальнейшие работы были направлены на оптимизацию базового технологического процесса.

Для решения вышеописанных проблем были проведены опытные работы, которые заключались в оптимизации режимов шлифования по остаточным напряжениям. Предварительные эксперименты на опытных

деталях показали, что правильный выбор режимов шлифования обеспечивает на поверхности детали сжимающие или значительно уменьшает растягивающие остаточные напряжения. Таким образом, была поставлена цель добиться адгезии покрытий в рамках существующего технологического процесса, не предусматривающего применение упрочняющей обработки, как одного из способов обеспечения приемлемой адгезии покрытий.

Опытные работы проводились на образцах – кольцах (рис. 3), вырезанных из деталей – штоков из материала ВТЗ-1. Разрезка деталей на образцы осуществлялась электроэрозионным способом. Образцы закреплялись в специально подготовленную оправку и шлифовались на различных режимах. Основными варьируемыми факторами, влияющими на параметр оптимизации – остаточные напряжения, были выбраны: скорость продольного перемещения стола (5,3; 15 мм/об), шаг поперечного перемещения шлифовального круга – припуск на обработку (0,005; 0,01; 0,02 мм), скорость вращения образца (50, 100, 200, 300, 400 об/мин). Общий припуск, снимаемый за операцию «Шлифование» одинаковый для всех образцов и составляет 0,1 мм (0,2 мм в диаметре).

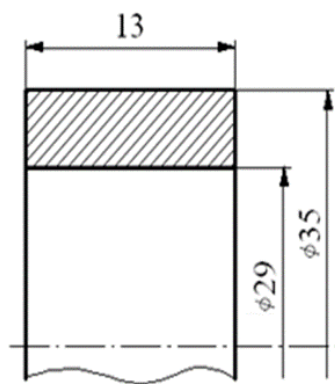


Рис. 3. Кольцевой образец, вырезанный из деталей – штоков после шлифовальной обработки штоков

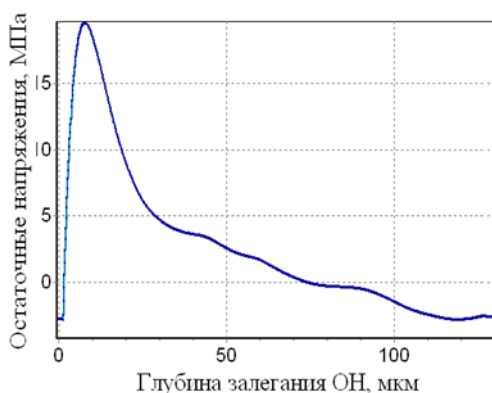


Рис. 4. Эпюра остаточных напряжений

Факторы варьировались в указанных диапазонах, в результате чего исследованиям подвергались образцы на 30-ти режимах шлифования. Поскольку деталь – «поршень со штоком» относится к классу полых цилиндров, определение остаточных напряжений осуществлялось на образцах – полукольцах с применением автоматизированного прибора АСБ-1 [4]. Эпюра остаточных напряжений, полученная при определении напряжений в образцах, обработанных на исходных режимах, по базовому технологическому процессу, показана на рис. 2.

**Результаты работ.** По результатам проведённых работ выбран режим шлифования: скорость перемещения стола – 5,3 мм/об, шаг поперечного перемещения шлифовального круга – припуска на обработку – 0,01 мм, скорость вращения образца – 300 об/мин. Выбранный режим обработки обеспечил сжимающие остаточные напряжения на поверхности 8 МПа и снижение, по сравнению с базовым режимом, растягивающих напряжений со 170 МПа до 20 МПа. Максимум растягивающих напряжений при этом находится на глубине 10 мкм. Эпюра остаточных напряжений приведена на рис. 4. Полученный режим шлифования исключил появление прижогов и обеспечил адгезию хромового покрытия при гальванической обработке детали «поршень со штоком» из материала ВТ3-1.

**Заключение.** Проведённая оптимизация технологического процесса шлифовальной обработки по остаточным напряжениям позволила исключить появление прижогов и обеспечить наличие сжимающих остаточных напряжений, улучшающих адгезию покрытий. При этом величина подслояных растягивающих остаточных напряжений снижена со 170 до 20 МПа. Результаты работ апробированы на деталях – штоках, цилиндрах, поршнях, изготавливаемых из титановых сплавов ВТ 22, ВТ 3-1 и сталей 30ХГСА, 30ХГСН2А. Улучшение адгезии получено не только для хромового покрытия, но и для покрытия никелем.

#### **Список использованных источников**

1. Букатый А.С., Букатый С.А., Лёшин Д.П., Округин А.А. Совершенствование конструкции и технологии изготовления ответственных деталей ГТД на основе энергетического метода и исследования жёсткости напряжённого состояния // Научноёмкие технологии в машиностроении и авиадвигателестроении (ТМ-2012). Материалы IV международной

научно-технической конференции. В 2-х частях. Рыбинск: РГАТУ имени П.А. Соловьёва, 2012. – Часть 1. – 334 с. – С. 308–312.

2. Букатый А.С., Лунин В.В., Сазанов В.П., Евдокимов Д.В., Колычев С.А. Улучшение свойств хромового покрытия деталей // Управление движением и навигация летательных аппаратов: сборник трудов XXVI Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. – 2023. – С. 190-195.

3. Букатый С.А., Семенченко И.В. Коробление и размерная стабильность маложёстких тонкостенных деталей в производстве газотурбинных двигателей // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, 1994. – № 10. – С. 32-37.

4. Букатый С.А., Букатый А.С. Автоматизированная система определения остаточных напряжений // Механика и процессы управления. Труды XXXVIII Уральского семинара. – Екатеринбург: УрО РАН, Миасс, 2008. Том 1. – С. 191–194.