

## КЛАСТЕРНОЕ ХРОМИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНО-ПОРОШКА ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Букатый А. С., Лунин В. В., Шадрин В. К., Зотов Е. В., Мухин А. Ю.  
Самарский университет, г. Самара, [sopromat@ssau.ru](mailto:sopromat@ssau.ru)

*Ключевые слова: хромирование, кластерное хромирование, авиационные детали, шасси, остаточные напряжения, микротвёрдость, нано-порошок*

В производстве авиационных деталей шасси особое внимание уделяется прочности и герметичности гальванических покрытий. Одним из ключевых факторов, определяющих продолжительность жизненного цикла большинства деталей шасси, работающих в условиях трения и высоких контактных нагрузок, является адгезия гальванических покрытий [1]. Стандартный технологический процесс хромирования не обеспечивает стабильную микротвёрдость покрытия, поэтому в данной работе была применена технология кластерного хромирования [2].

Опытно-технологические работы по внедрению процесса кластерного хромирования в производство проводили в 4 этапа [3]: на I этапе провести кластерное хромирование образцов, определить толщину и твёрдость хромового покрытия. На II этапе проверить соответствие хромового покрытия детали «Болт» после кластерного хромирования требованиям технологического процесса. На III этапе провести испытания на герметичность хромового покрытия детали «Гильза» после кластерного хромирования с последующей суперфинишной обработкой. IV этап – изготовление детали «Гильза» с герметичным хромовым покрытием с добавлением кластерных присадок без последующей обработки хромового покрытия.

I этап. Кластерное хромирование образцов.

На начальном этапе работ в состав электролита был добавлен  $Al_2O_3$  (нано-порошок с размером частиц 40-60 нм). Электролит был прогрет и перемешан с другими химическими компонентами в ультразвуковой ванне. Хромирование в Ячейке Хулла проходило при  $T = 55^\circ C$  и плотности тока  $A = 50 \text{ A/дм}^2$  в течение 90 минут. Далее была определена твёрдость хромового покрытия – 800-1500 кгс/мм<sup>2</sup>, толщина хромового покрытия 30 мкм. Средняя микротвёрдость покрытия составила 1150 кгс/мм<sup>2</sup>. Фотография шлифа стального образца с хромовым покрытием показана на рис. 1.

II этап. Кластерное хромирование детали «Болт».

Хромирование детали «Болт» проводили при  $T = 55^\circ C$  и плотности тока  $A = 50 \text{ A/дм}^2$  в течение 90 минут. Качество хромирования и шероховатость покрытия соответствовали требованиям технологического процесса.

III этап. Кластерное хромирование образца типа «Гильза».

На III этапе работ для проведения кластерного хромирования с последующими испытаниями на герметичность хромового покрытия использовался опытный образец типа «Гильза» (рис. 3). Электролит для хромирования был подготовлен в соответствии с технологией I этапа. Кластерное хромирование образца-имитатора детали «Гильза» было проведено при  $T = 55-65^\circ C$  и плотности тока  $A = 35 \text{ A/дм}^2$  в течение 3-х часов. После хромирования были проведены суперфинишная обработка хромового покрытия и испытания на герметичность хромового покрытия, которые были пройдены успешно.

IV этап. Изготовление детали «Гильза» без механической обработки после кластерного хромирования.

Кластерное хромирование детали «Гильза» было проведено при  $T = 55-65^\circ C$  и плотности тока  $A = 35 \text{ A/дм}^2$  в течение 2-х часов. Структура хромовой поверхности была исследована под микроскопом и показана на рис. 4: в хромовом покрытии видны незначительные поры. Механическая обработка хромового покрытия не проводилась. Результаты сравнительных испытаний покрытий на герметичность и микротвёрдость, приведённые в табл. 1, подтвердили эффективность разработанной технологии кластерного хромирования.

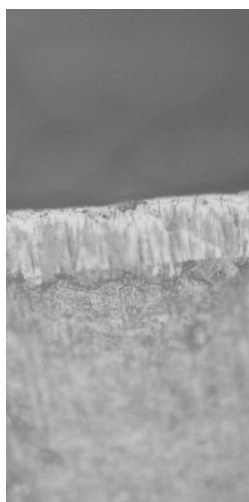


Рис. 1. – Шлиф стального образца с хромовым покрытием



Рис. 2. – Деталь «Болт» с кластерным хромовым покрытием



Рис. 3. – Деталь «Гильза» с кластерным хромовым покрытием

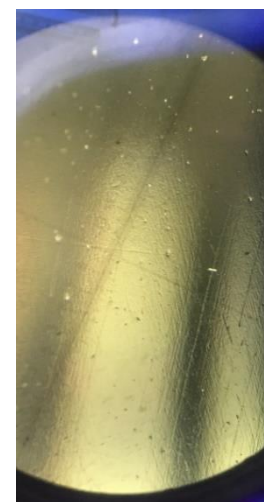


Рис. 4. – Структура хромового покрытия детали «Гильза»

Табл. 1 – Результаты сравнительных испытаний покрытий

Вариант технологии нанесения покрытий	Микротвёрдость хромового покрытия при плотности тока хромирования, кгс/мм <sup>2</sup>	
	A = 35 А/дм <sup>2</sup>	A = 50 А/дм <sup>2</sup>
типовой технологический процесс	600-700	900-950
хромирование в кластерном электролите	1100	1400-1500

В настоящее время кластерное хромирование деталей принято к внедрению в производство на предприятии АО «Авиаагрегат».

### Список литературы

1. Букатый А. С., Лунин В.В., Пешков П.А., Зотов Е.В. Обеспечение адгезии гальванических покрытий для титановых сплавов на основе исследования остаточных напряжений после шлифования и упрочнения / Самара: Сборник трудов XXI Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. 2019. Ч. II. С. 69-72.

2. Букатый А. С., Лунин В.В., Пешков П.А., Зотов Е.В. Оптимизация технологического процесса изготовления деталей из титановых сплавов для обеспечения адгезии покрытий из никеля и хрома / Самара: материалы докладов междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». 2018. С. 231-233.

3. Букатый А.С., Лунин В.В., Просоедов И.А. Кластерное хромирование авиационных деталей / Тезисы докладов пятой международной научно-технической конференции «Динамика и виброакустика машин», 2020. С. 120-121.

### Сведения об авторах

Букатый Алексей Станиславович, д-р техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: остаточные напряжения, остаточные деформации, упрочнение, биомеханика.

Лунин Валентин Валериевич, канд. техн. наук, ассистент кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: решение технологических

проблем на основе исследования напряжённо-деформированного состояния деталей, оптимизация спецпроцессов (пневмо-дробеструйное упрочнение, алмазное выглаживание, гальваническое нанесение покрытий деталей хромированием и кластерным хромированием, плазменное напыление и др.).

Шадрин Валентин Карпович, канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Зотов Евгений Васильевич, аспирант кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: остаточные напряжения, пневмодробеструйное упрочнение деталей, адгезия гальванических покрытий, оптимизация конструкции ответственных авиационных деталей.

Мухин Александр Юрьевич, аспирант кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: материаловедение, обработка токами высокой частоты, высокоскоростное газопламенное и плазменное напыление.

## **CLUSTER CHROME PLATING OF PARTS USING ALUMINUM OXIDE NANOPOWDER**

Bukaty A.S., Lunin V.V., Shadrin V.K., Zotov E.V., Mukhin A.Y.  
Samara National Research University, Samara, Russia, [sopromat@ssau.ru](mailto:sopromat@ssau.ru)

*Keywords: chrome plating, cluster chrome plating, aviation parts, residual stresses, microhardness, nanopowder.*

The study of the hardness of the chrome coating is carried out on the example of samples and parts of aircraft obtained using the technology of cluster chrome plating. Parts with a cluster chrome coating applied without subsequent machining have successfully passed the leakproofness tests.