Описание научно-исследовательской работы Лунина В.В.

1. **Тема работы:** Нанесение хромового покрытия на детали в электролите с добавлением углеродных нанотрубок.

2. **Номинация работы:** за создание новой технологии.

3. **Описание проблемы:** 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. Стандартный технологический процесс хромирования не обеспечивает стабильную микротвёрдость покрытия, поэтому в данной работе была применена технология кластерного хромирования. Технологический процесс хромирования обеспечивает твёрдость покрытия на уровне, которого в ряде случаев недостаточно для гидроцилиндров шасси, работающих при повышенных циклически изменяющихся нагрузках. В условиях производства АО «Авиаагрегат» существует необходимость повышения скорости нанесения покрытия на детали. В рамках процесса производства деталей «Шток» не предусмотрено введение дополнительных технологических операций, улучшающих свойства покрытия и скорость его нанесения на деталь. Вследствие чего было принято решение получить покрытие с требуемыми характеристиками благодаря замене электролита на более совершенный.

4. **Цель работы:** Отладка технологии кластерного хромирования с применением углеродных нанотрубок NCM Chrome S с целью получения высоких адгезии и прочности хромового покрытия; успешного прохождения испытаний на герметичность хромового покрытия.

5. **Научная новизна работы**

Впервые в условиях производства АО «Авиаагрегат» было проведено хромирование в электролите с добавлением углеродных нанотрубок NCM Chrome S для обеспечения адгезии гальванических покрытий и ускорения нанесения хромового покрытия на деталь.

Эксперименты проводились на опытных деталях. Результаты работы были внедрены в производство.

6. Основное содержание работы

Нанесение покрытия с целью обеспечения адгезии гальванических покрытий проводилась в виде опытных работ на штоках из сталей 30ХГСА и 30ХГСН2А на основе исследования свойств покрытий, таких как микротвёрдость, пористость, прочность сцепления покрытия с основным материалом детали. Также были проведены климатические и ресурсные испытания штоков. Результаты работ позволили внедрить в производство ванну кластерного хромирования деталей объёмом 1580 л, повысить скорость хромирования на 25-30%, уменьшить количество хромового ангидрида в составе электролита, успешно пройти климатические и ресурсные испытания деталей, значительно повысить микротвёрдость покрытия. В итоге проведённых опытно-технологических работ кластерное хромовое покрытие деталей с углеродными нанотрубками NCM Chrome S соответствует требованиям технологического процесса по твёрдости, прочности сцепления покрытия с основным материалом детали (адгезии), пористости и шероховатости.

В производстве АО «Авиаагрегат» штоки 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 хромового покрытия при нанесении его на детали из сталей 30ХГСА и 30ХГСН2А.

Для достижения поставленной цели необходимо проведение опытно-технологических работ, состоящих из нескольких этапов.

7. Этапы работы:

- I этап – составление ванны электролита с добавлением углеродных нанотрубок NCM Chrome S объёмом 1580 л с последующим кластерным хромированием нескольких деталей «Шток № 1» и «Шток № 2» одновременно. Отработка и оптимизация режимов хромирования с целью получения покрытия, соответствующего требованиям технологического процесса.
- II этап – климатические и ресурсные испытания деталей «Шток № 1» и «Шток № 2».
- III этап – Исследование свойств покрытия деталей «Шток № 1» и «Шток № 2» после климатических и ресурсных испытаний.

8. I этап. Составление ванны электролита с добавлением углеродных нанотрубок NCM Chrome S объёмом 1580 л с последующим кластерным хромированием нескольких деталей «Шток № 1» и «Шток № 2» одновременно. Отработка и оптимизация режимов хромирования с целью получения покрытия, соответствующего требованиям технологического процесса.

В гальваническом цехе АО «Авиаагрегат» была составлена ванна объёмом 1580 л с добавлением углеродных нанотрубок NCM Chrome C и NCM Chrome S для кластерного хромирования крупногабаритных деталей. Состав электролита представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Состав электролита

Компонент	Концентрация при приготовлении, г/л	Рабочая концентрация, г/л
Хромовый ангидрид CrO_3 (тех.)	170	140-180
Добавка «NCM Chrome S»	37,5	
Обессоленная вода	остальное	остальное
Содержание свободных сульфат-ионов SO_4^{2-}	–	1,2 - 1,8
Cr^{3+}	–	0,5 - 4
Примеси металлов (Fe)	–	<6
Хлориды (загрязнение)	–	< 100 мг/л

Приготовление электролита и ванны для хромирования осуществлялось в несколько этапов:

1) В ванне хромирования был установлен барботёр с четырьмя трубками для качественного перемешивания электролита воздухом (рис. 1).

2) Ванна была заполнена на 2/3 обессоленной водой и нагрета до температуры 40-50°С.

3) Далее небольшими порциями был добавлен хромовый ангидрид CrO3 из расчёта 170 г/л; получившаяся суспензия была перемешана до полного растворения.

4) Добавка «NCM Chrome S» была механически перемешана миксером в течение 0,5 ч со скоростью 600-1300 об/мин, и впоследствии внесена в ванну при включённом барботаже.

5) Ванна была доведена до рабочего объёма деминерализованной водой. Электролит был нагрет до температуры 50-55°С и выдержан при этой температуре в течение 8-15 часов при постоянном перемешивании.

6) Электролит был проработан при температуре 45-55°С и плотности тока 10-20 А/дм2 в течение 2-4 часов при плотности тока 4-6 А·ч/л и соотношении катодной и анодной площадей 3:1.

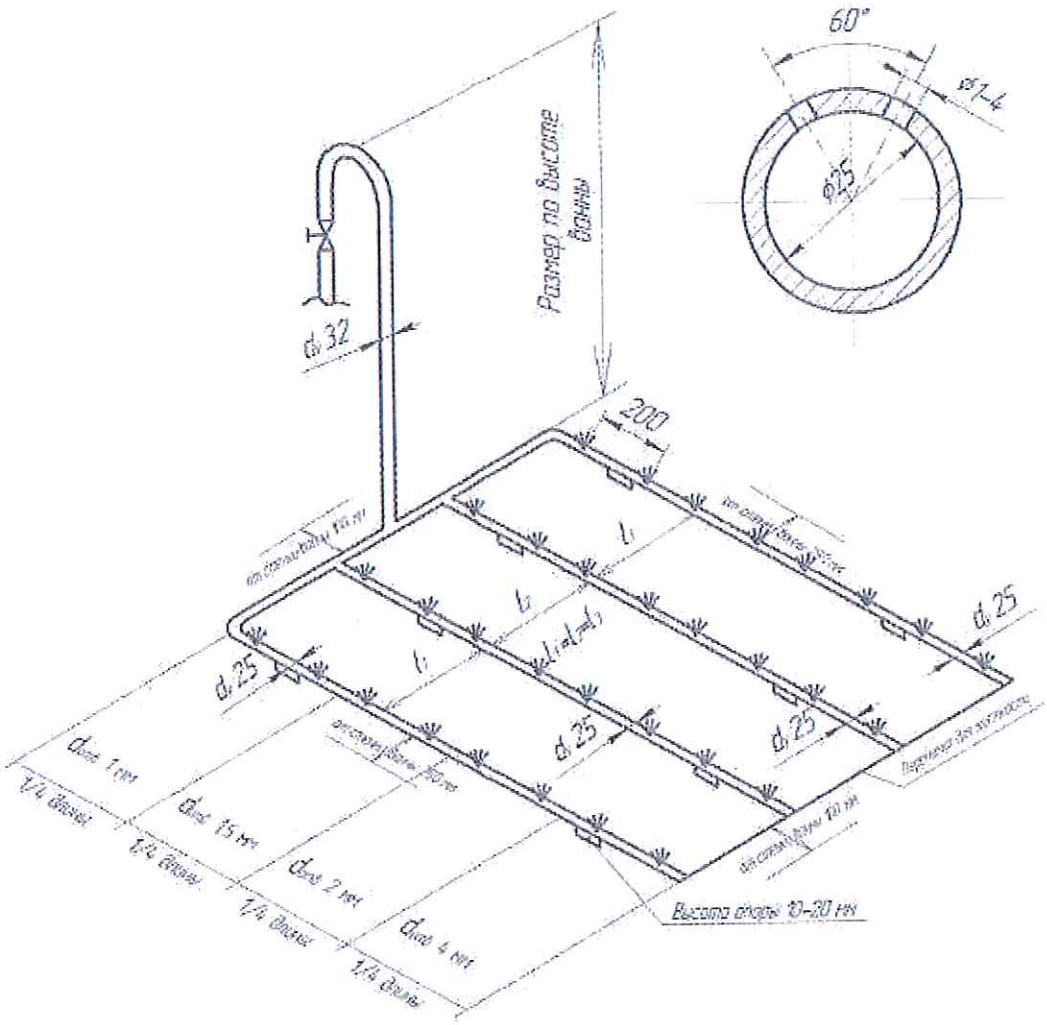

Рисунок 1 – Схема барботёра ванны кластерного хромирования

По окончанию составления и подготовки к работе ванны, был проведён анализ химического состава электролита для проверки его соответствия требованиям технологического процесса – электролит соответствует требованиям технологического процесса.

В процессе проработки током на катоде происходят электрохимические процессы восстановления шестивалентного хрома в трёхвалентный. Необходимое количество ионов Cr^{3+} в электролите обеспечивает получение на катоде качественных осадков хрома.

В полученном электролите были захромированы детали «Шток № 1» и «Шток № 2». На рис. 2 показан «Шток № 2» с хромовым покрытием.

Режимы хромирования деталей «Шток» в кластерном электролите представлены в табл. 2. Параметры величин анодной активации и рабочего тока рассчитывались исходя из площадей поверхности деталей «Шток» АПЭ-90-А.781 и «Шток» АПЭ-120-И.821.

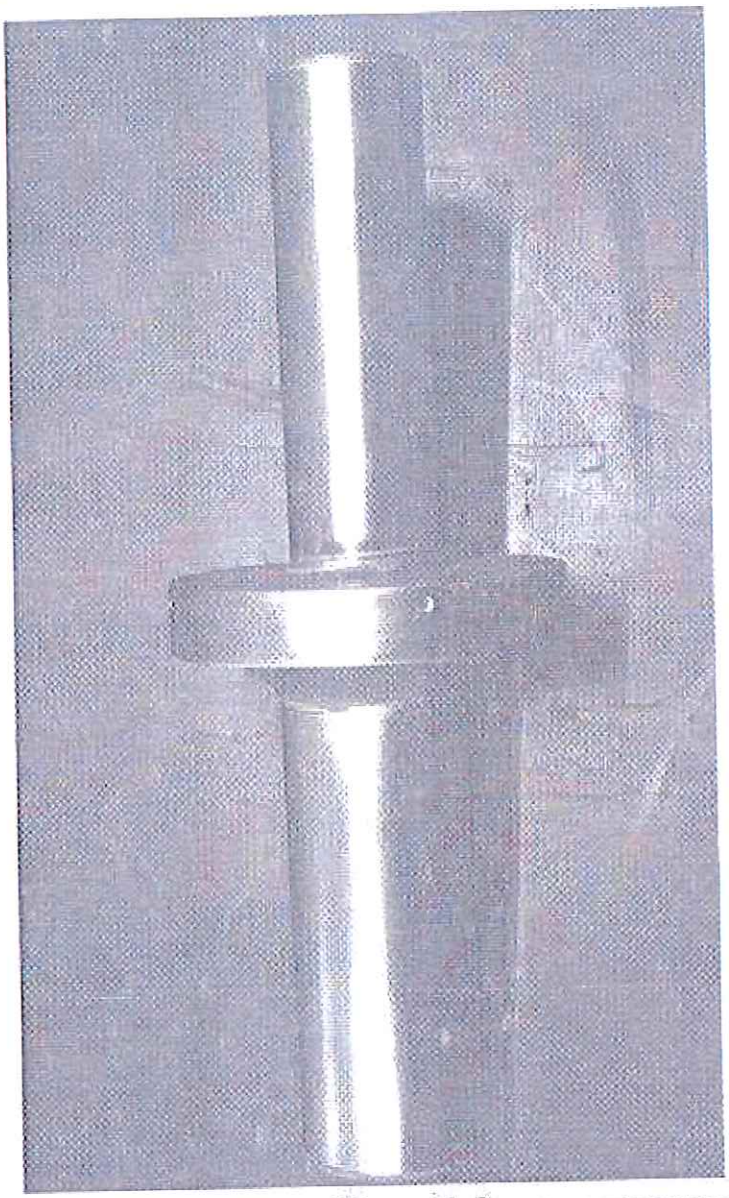

Рисунок 2 – Деталь «Шток № 2» с кластерным хромовым покрытием без последующей механической обработки

Таблица 2 – Режимы хромирования

Тип детали	«Шток № 1»	«Шток № 2»
Загрузка в ванну	3 детали	3 детали
Анодная активация	500 А; 0,5-1 мин	900 А; 0,5-1 мин
Рабочий ток	800-900 А	1500-1600 А
Выход на рабочий ток осуществляется плавно в течение 5 минут, удар током не проводится		
Температура электролита	54-58°С	54-58°С
Время выдержки	120 минут	120 минут

Хромирование деталей в гальваническом цехе АО «Авиаагрегат» осуществлялось по следующей технологии:

1) Проведение контроля прижогов на деталях.

2) Подготовка поверхности под хромирование и монтаж деталей на приспособление.

3) Хромирование деталей «Шток № 1» и «Шток № 2» в кластерном электролите по режимам, указанным в табл. 2.

4) Замер толщины нанесённого покрытия.

5) Проведение обезводораживания.

Хромовое покрытие соответствовало требованиям технологического процесса.

Применение углеродных нанотрубок NCM Chrome S позволило в 2 раза увеличить фактическую скорость хромирования и, соответственно, сократить время хромирования. Также было уменьшено количество хромового ангидрида в составе электролита – с 225-275 г/л до 140-170 г/л.

После хромирования были проведены шлифовальная и полировальная обработки покрытия. В инструментальном цехе АО «Авиаагрегат» детали «Шток № 1» и «Шток № 2» были разрезаны электроэрозионным способом на образцы.

В ЦЗЛ АО «Авиаагрегат» были исследованы следующие свойства покрытия деталей «Шток № 1» и «Шток № 2»:

1) Пористость хромового покрытия определялась на образцах, вырезанных из штоков – покрытие ровное, гладкое.

2) Прочность сцепления покрытия с материалом детали (адгезия) после выдержки образца в печи при температуре 300°С в течение 1 часа – вздутие и отслаивание покрытия отсутствуют.

3) Микротвёрдость - 1110 кгс/мм^2 – данное значение соответствует требованиям технологического процесса производства деталей «Шток № 1» и «Шток № 2».

9. II этап. Климатические и ресурсные испытания деталей «Шток № 1» и «Шток № 2»

Детали ««Шток № 1» и «Шток № 2» являются частями Аппаратов поглощающих эластомерных (Аппараты), гасящих энергию колебаний при движении железнодорожных вагонов. С целью внедрения нового состава электролита в технологическую документацию деталей «Шток № 1» и «Шток № 2» было необходимо предварительно апробировать детали в комплекте Аппаратов под действием температурных и силовых нагружений.

Штоки были доукомплектованы другими деталями и собраны в Аппараты, которые были выдержаны при температурах минус 60±5˚С и плюс 50±5˚С в течение 6-ти часов в испытательном центре АО «Авиаагрегат». После успешно пройденных климатических испытаний были проведены ресурсные испытания (обкатка) с различным количеством блоков нагружений Аппаратов (рис. 3). В конце каждого этапа испытаний проводилось снятие диаграмм статического обжатия в сборочном цехе и в испытательном центре АО «Авиаагрегат». Анализ показателей диаграмм позволяет сделать вывод о результатах проведённых испытаний – испытания пройдены успешно.

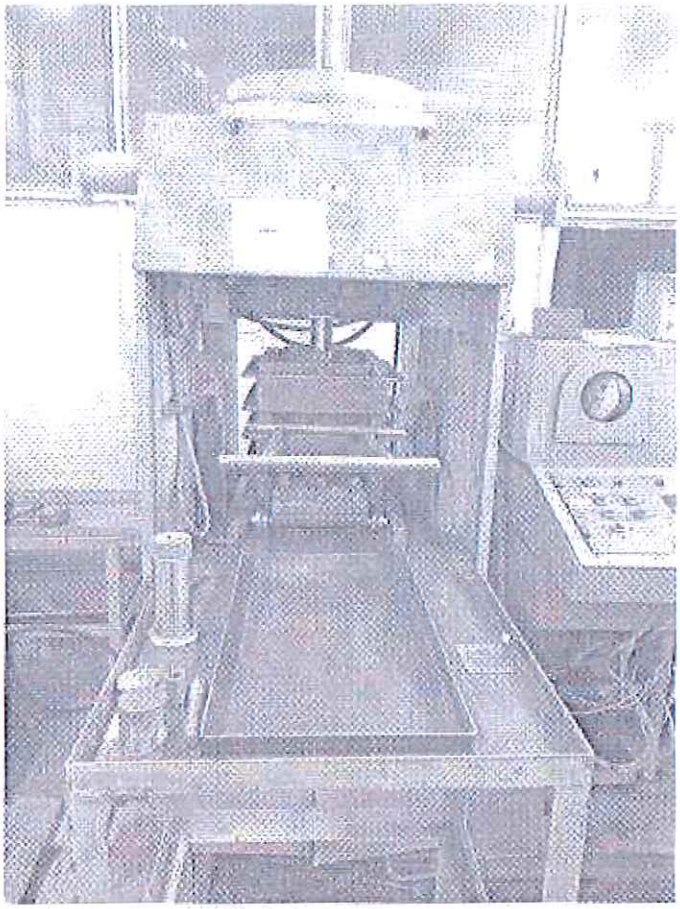

Рисунок 3 – Аппарат поглощающий эластомерный со штоком внутри во время испытаний на прессе

10. III этап. Исследование свойств покрытия деталей «Шток № 1» и «Шток № 2» после климатических и ресурсных испытаний.

После проведения испытаний Аппараты были разобраны, проведена дефектация деталей. В инструментальном цехе АО «Авиаагрегат» детали «Шток № 1» «Шток № 2» были разрезаны электроэрозионным способом на образцы с целью дальнейшего исследования свойств хромового покрытия в ЦЗЛ АО «Авиаагрегат»:

1) Пористость хромового покрытия определялась на образцах, вырезанных из штоков – покрытие ровное, гладкое.

2) Прочность сцепления покрытия с материалом детали (адгезия) после выдержки образца в печи при температуре 300°С в течение 1 часа – вздутие и отслаивание покрытия отсутствуют.

3) Толщина хромового покрытия – соответствует требованиям технологического процесса.

4) Микротвёрдость детали «Шток № 1» - 1230 кгс/мм^2 – соответствует требованиям технологического процесса производства деталей «Штоки».

Микротвёрдость детали «Шток № 2» - 1290 кгс/мм^2 – данное значение превосходит требования технологического процесса производства штоков. Фотографии покрытий при определении микротвёрдости представлены на рис. 4 и рис. 5.

5) Шероховатость покрытия - соответствует требованиям технологического процесса.

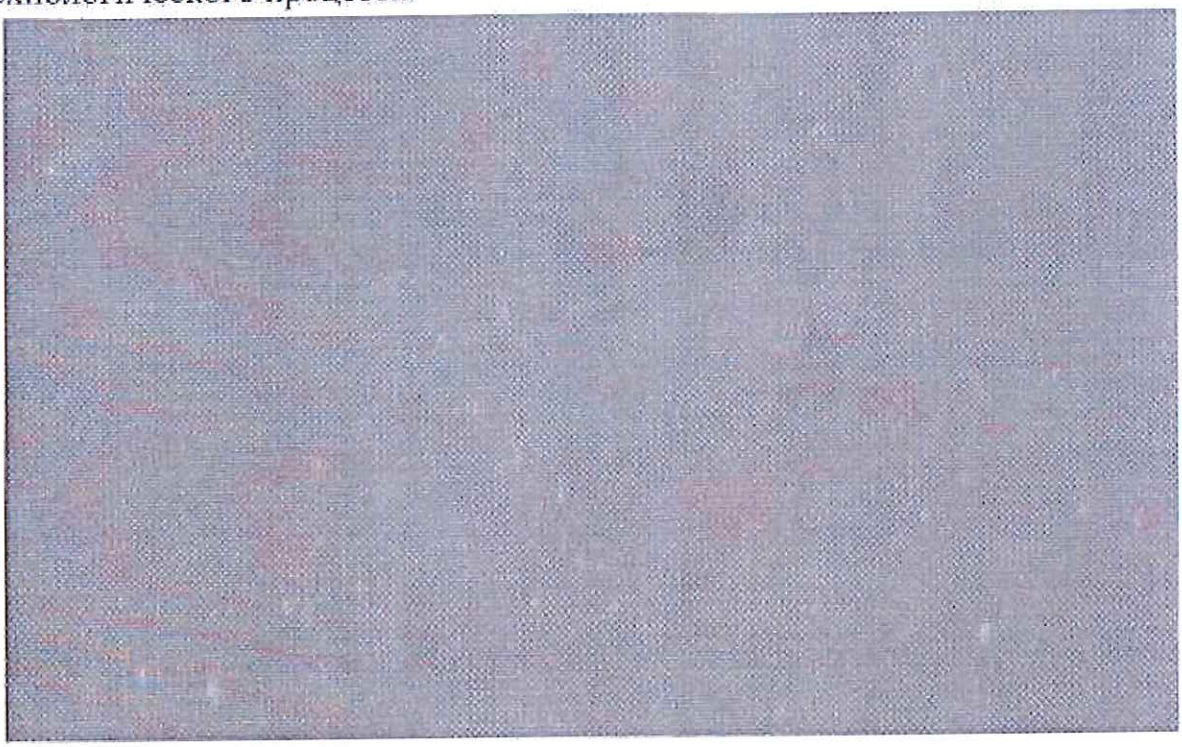

Рисунок 4 – След от алмазного индентора в хромовом покрытии детали «Шток № 1» при исследовании микротвёрдости, увеличение ×500 крат

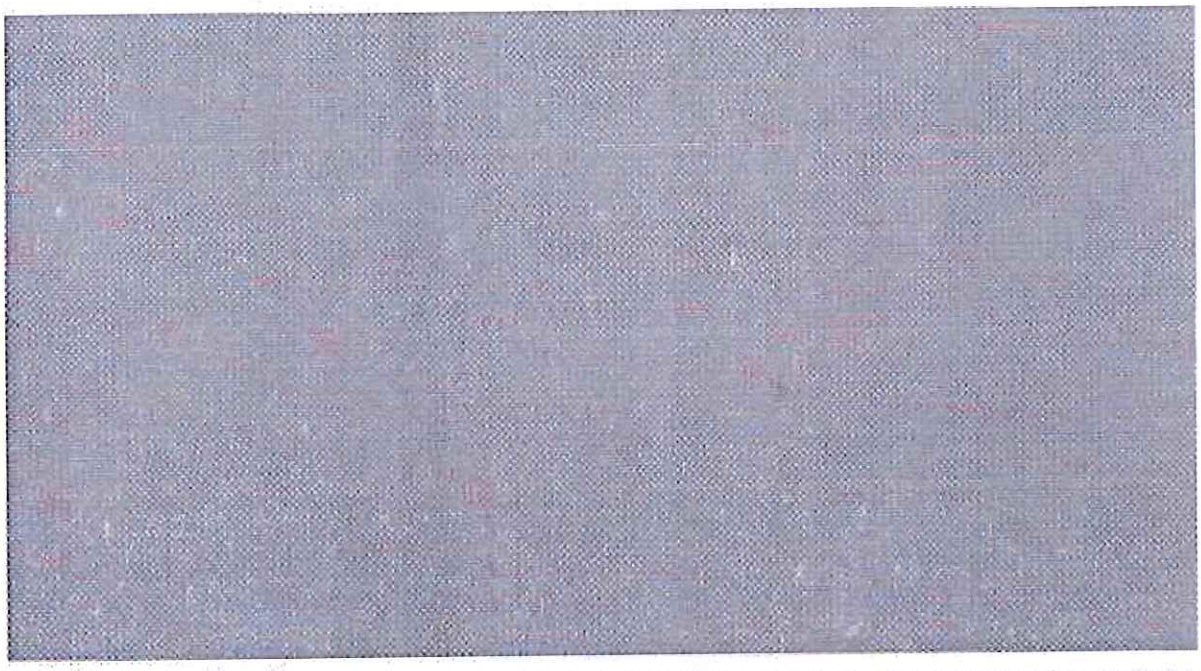

Рисунок 5 – След от алмазного индентора в хромовом покрытии детали «Шток № 2» при исследовании микротвёрдости, увеличение ×500 крат

В настоящий момент на основе успешно проведённых опытно-технологических работ и испытаний ожидается принятие решения о внесении дополнений и уточнений в технологический процесс нанесения хромового покрытия на детали «Шток № 1» и ««Шток № 2» (рис. 6).

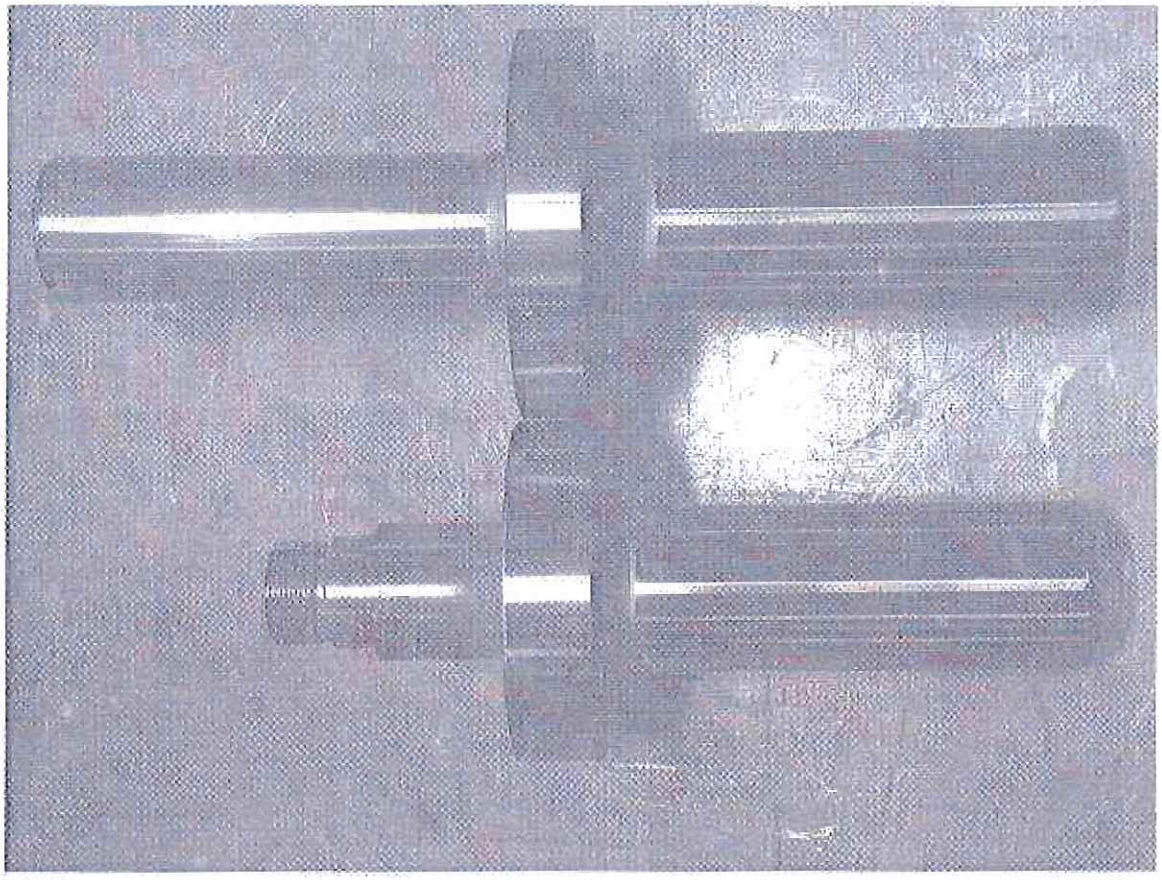

Рисунок 6 – Штоки с хромовым покрытием с добавлением углеродных нанотрубок NCM Chrome S

Следующим этапом оптимизации производства планируется перевод ещё 3-х ванн хромирования на электролит с добавлением углеродных нанотрубок NCM Chrome S с целью значительного ускорения производства деталей. По результатам успешного создания данной линии для хромирования будет рассматриваться вопрос о переводе авиационных деталей на хромирование в электролите с углеродными нанотрубками NCM Chrome S.

11. Результаты работы

- Внедрена в производство ванна объёмом 1580 л, в состав электролита которой входят углеродные нанотрубки NCM Chrome S. Успешно захромированы детали «Шток № 1» и «Шток № 2», хромовое покрытие которых соответствует требованиям технологического процесса.
- Хромирование деталей в электролите с углеродными нанотрубками NCM Chrome S проходит быстрее на 25-30% по сравнению с хромированием в стандартном электролите. Соответственно, сокращено время хромирования.
- Применение углеродных нанотрубок NCM Chrome S позволило уменьшить количество хромового ангидрида в составе электролита с 225-275 г/л до 140-170 г/л.
- Успешно пройдены климатические и ресурсные испытания деталей «Шток № 1» и «Шток № 2», укомплектованных штоками с хромовым покрытием, полученным при использовании углеродных нанотрубок NCM Chrome S.
- Обеспечено повышение твёрдости хромового покрытия с использованием углеродных нанотрубок NCM Chrome S до величины 1290 кгс/мм^2.
- Кластерное хромовое покрытие деталей с углеродными нанотрубками NCM Chrome S соответствует требованиям технологического процесса по твёрдости, прочности сцепления покрытия с основным материалом детали (адгезии), пористости и шероховатости.
- В производстве АО «Авиаагрегат» благодаря замене электролита в рамках всего одного технологического процесса получено покрытие, превосходящее по своим свойствам и по скорости нанесения покрытие, получаемое по исходному технологическому процессу.

Начальник Лаборатории
технологических проблем
АО «Авиаагрегат» Букатый А.С.

Главный инженер
АО «Авиаагрегат» Коптев А.А.