

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ ШАССИ ПРИМЕНЕНИЕМ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ**

Для повышения сопротивления усталости деталей, работающих в условиях переменных нагрузок, в настоящее время широко используется упрочнение методом поверхностного пластического деформирования. Это особенно важно для крупногабаритных ответственных деталей шасси из титановых сплавов, для упрочнения которых используется дробеструйный способ упрочнения. При этом в поверхностном слое деталей образуются остаточные напряжения, которые наряду с остаточными напряжениями после операций механической обработки, не только определяют сопротивление усталости, но и оказывают значительное влияние на изменение геометрических размеров и формы деталей. Поэтому назначение режимов упрочнения является ответственной операцией.

В настоящее время для упрочнения крупногабаритных деталей используется роботизированное оборудование [1] (рис. 1).

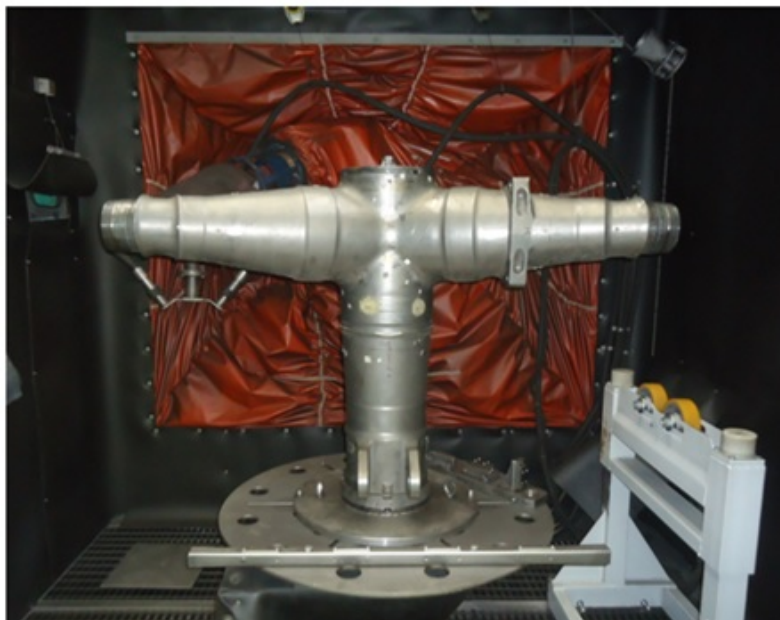


Рис. 1. Упрочняющая обработка траверсы на роботизированной установке

При этом для упрочнения концентраторов напряжений в качестве упрочняющей среды применяются микрошарики диаметром 300...600 мкм. Роботизированное оборудование позволяет с высокой точностью позиционировать сопла,

обеспечивать стабильность и воспроизводимость режимов упрочняющей обработки. Поэтому важной задачей является разработка методики назначения эффективных режимов упрочнения, не приводящих к недопустимым остаточным технологическим деформациям. Большая стоимость таких деталей как траверса (рис. 1) не позволяет проводить опытные работы, в результате которых деформации детали могут превысить технологические допуски. Поэтому для назначения режимов упрочнения траверсы и других аналогичных деталей необходимы специальные методики назначения режимов упрочнения с применением расчётных методов моделирования напряжённо-деформированного состояния деталей после упрочняющей обработки [2].

Для решения этой задачи проводится моделирование процесса упрочнения детали и прогнозирование технологических остаточных деформаций (ТОД). На основе предварительных исследований с использованием типовых образцов для определения остаточных напряжений устанавливается связь между параметрами режимов упрочнения и остаточными напряжениями в поверхностном слое образцов. Такая связь может быть представлена в виде универсальной номограммы [3]. По результатам расчётов на стадии проектирования технологического процесса упрочнения производится назначение оптимальных режимов дробеструйной обработки деталей. Для реализации этих режимов на роботизированном упрочняющем оборудовании разрабатываются программы упрочнения различных зон детали на оптимально подобранных режимах. Предварительное моделирование позволяет подобрать для опасных зон – концентраторов напряжений наиболее эффективные интенсивные режимы упрочнения, обеспечивающие наибольшее повышение сопротивления усталости при обеспечении ТОД в пределах технологических допусков.

В данной работе исследования проводились для крупногабаритной детали шасси – «траверса» (рис. 1), изготовленной из сплава ВТ-22. Траверса с габаритными размерами до 1200 мм выполнена в виде полых цилиндров с толщиной стенки до 10 мм, упрочняется по наружной поверхности пневмодробеструйным способом. Типовой технологический процесс упрочнения не только не обеспечивал необходимое сопротивление усталости, но и приводил к ТОД до 3 мм. В процессе испытаний на усталость опытные детали были подвержены преждевремен-

ным разрушениям. Поэтому целью работ было определить режимы упрочнения детали с применением интенсивных режимов в наиболее нагруженных зонах – концентраторах напряжений. Исследования по определению эффективных режимов упрочняющей обработки траверсы проводились на основе подходов, изложенных в работах [2, 3]. Первичная отладка режима упрочняющей обработки проводилась на контрольных образцах – пластинах по типовому технологическому процессу. В соответствии с базовым технологическим процессом прогиб контрольных образцов должен составлять 1,2...1,6 мм. В данном диапазоне были выбраны режимы минимальной и максимальной интенсивности, обеспечивающие требуемый прогиб. Получена оптимальная скорость перемещения сопел 60 мм/с. По результатам обработки упрочнения контрольных пластин были определены параметры режима упрочняющей обработки: скорость перемещения сопел 60 мм/с; давление воздуха 0,2 МПа; расход дробы для каждого сопла 4,5 кг/мин.

На первом этапе отладки процесса упрочнения проводилось расчётное прогнозирование ТОД траверсы после упрочнения на выбранных режимах. На основе моделирования было установлено, что центральная часть траверсы оказывает наибольшее влияние на изменение геометрических размеров и формы исследуемой детали. Расчётное прогнозирование остаточных деформаций проводилось с применением метода конечных элементов по методике [4]. Модель центральной части траверсы выполнялась в виде объёма, размеченного элементами solid45. Упрочнённый поверхностный слой (рис. 2) выполнен в виде отдельно выделенного объёма, толщина которого равна глубине залегания сжимающих остаточных напряжений. Разбиение поверхностного слоя выполнено элементами Solid-shell 186.

На основе моделирования было установлено, что при сохранении минимальных режимов типового технологического процесса упрочнения гладких поверхностей (стальные микрошарики Ø600 мкм, давление воздуха 0,2 МПа; расход дробы 4,5 кг/мин), наиболее нагруженные зоны детали – концентраторы напряжений можно упрочнять на более интенсивных режимах упрочнения при повышении давления воздуха до 0,28 МПа и расходе дробы до 5 кг/мин. Упрочнение осуществлялось с применением роботизированного упрочняющего оборудования на базе робота АВВ. При этом обеспечивались необходимое повышение сопротивления усталости и геометрическая точность основных поверхностей траверсы.

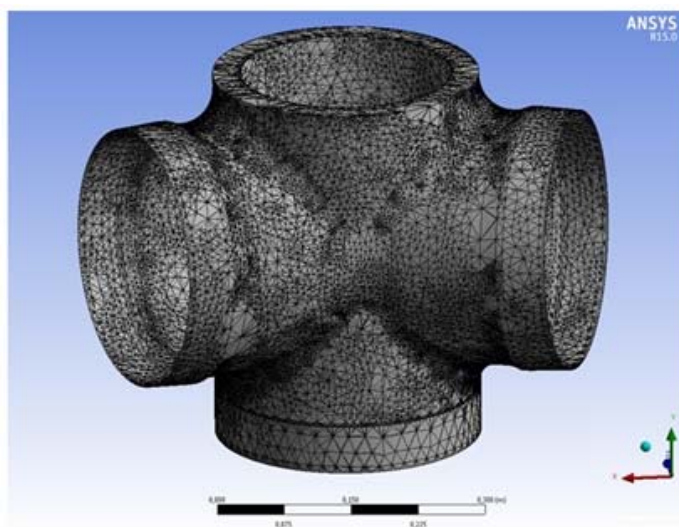


Рис. 2. Конечно-элементная модель поверхностного слоя траверсы

Разработанная методика назначения режимов упрочнения на роботизированных комплексах позволяет варьировать параметры режимов для различных зон детали, что обеспечивает геометрические размеры и форму детали в пределах технологических допусков. При этом становится возможным упрочнение наиболее нагруженных зон деталей на более интенсивных режимах упрочнения по сравнению с режимами, применяемыми на остальных поверхностях без концентраторов напряжений.

### Библиографический список

1. Букатый, С.А. Упрочнение высокоточных деталей микрошариками на роботизированных комплексах / С.А. Букатый, А.С. Букатый // Справочник по процессам поверхностного пластического деформирования под ред. С.А. Зайдеса. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2021. – Т. 1 – С. 235–252.
2. Букатый, С.А. Коробление и размерная стабильность маложёстких тонкостенных деталей в производстве газотурбинных двигателей / С.А. Букатый, И.В. Семенченко// Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, 1994. – №10. – С. 32–37.
3. Букатый, С.А. Прогнозирование коробления деталей ГТД после обработки поверхности на основе исследования остаточного напряжённого состояния материала: автореф. ... докт. техн. наук : 05.07.05, 01.02.06 / С.А. Букатый. – Рыбинск, 1996. 28 с.

4. Букатый, А.С. Методология оптимизации конструкции и технологии поверхностного упрочнения авиационных деталей на основе критерия жёсткости напряжённо-деформированного состояния: автореф. ... докт. техн. наук: 01.02.06 / А.С. Букатый. – Самара, 2019. – 36 с.

УДК 621.787:539.319

*Лунин В.В., Букатый А.С., Мухин А.Ю., Колычев С.А.*

## **ПОВЫШЕНИЕ ТВЁРДОСТИ ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАСТЕРНОГО ХРОМИРОВАНИЯ**

В производстве деталей шасси особое внимание уделяется адгезии, прочности и герметичности гальванических покрытий. Технологический процесс хромирования обеспечивает твёрдость покрытия на уровне, которого в ряде случаев недостаточно для гидроцилиндров шасси, работающих при повышенных циклически изменяющихся нагрузках [1]. В условиях производства АО «Авиаагрегат» существовала 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.

Целью данной работы является отладка технологии кластерного хромирования с применением углеродных нанотрубок NCM Chrome S для получения высоких адгезии и прочности хромового покрытия, а также успешного прохождения испытаний на герметичность хромового покрытия.

Впервые в условиях производства АО «Авиаагрегат» было проведено хромирование в электролите с добавлением углеродных нанотрубок NCM Chrome S на штоки из сталей 30ХГСА и 30ХГСН2А. Для достижения поставленной цели необходимо проведение опытно-технологических работ, состоящих из нескольких этапов.

I этап. Составление ванны электролита с добавлением углеродных нанотрубок NCM Chrome S объёмом 1580 л с последующим кластерным хромированием