Букатый Алексей Станиславович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПО КРИТЕРИЮ ЖЁСТКОСТИ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Самара – 2018

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Высокие требования по массе, прочности и выносливости деталей, развитие производственной базы приводит к необходимости совершенствования конструкции изделий и технологии их изготовления.

Проблема выбора методов оптимизации напряжённо-деформированного состояния (НДС) деталей на стадии проектирования особенно важна при проектировании ответственных деталей авиационных конструкций, испытывающих большие знакопеременные нагрузки. Известно, что зарождение микротрещин и последующее разрушение материала часто происходит в зонах, обладающих сложным НДС, но не являющихся концентраторами напряжений. Вследствие этого детали, работающие как в малоцикловой области (замковые соединения дисков турбин, дисков компрессора, шлицевые соединения валов), так и в многоцикловой (лопатки турбомашин, элементы шасси – оси, траверсы, и др.) подвержены разрушениям. Исследование и анализ отказов на основе традиционных расчётных методов часто не приводит к положительным результатам. Поэтому актуальной задачей является разработка новых методов исследования и анализа НДС, позволяющих оптимизировать конструкцию ответственных деталей на стадии проектирования, а также использовать резервы повышения сопротивления усталости посредством создания более совершенных методов назначения режимов упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД), отвечающих требованиям современного автоматизированного производства и реализующих весь потенциал современного упрочняющего оборудования.

Степень проработанности темы исследования. Анализ публикаций отечественных и зарубежных исследователей показывает, что проблемы выбора критериев, учитывающих вид НДС, и разработка методов оптимизации НДС деталей на стадии проектирования, работающих в малоцикловой и многоцикловой области, исследованы не достаточно. Методики назначения режимов упрочняющей обработки наряду с обеспечением сопротивления усталости в большинстве случаев не учитывают технологические остаточные деформации детали (ТОД). Часто методы и средства учёта остаточных напряжений, возникающих в деталях при упрочнении, не применимы в

производственных условиях и не позволяют производить расчётное прогнозирование ТОД ответственных деталей сложной геометрической формы на стадии проектирования операции упрочнения.

Цель работы

Разработка методов и средств повышения эксплуатационных характеристик ответственных деталей авиационной техники конструктивными и технологическими методами.

Задачи исследования

1. Разработка критериев анализа и оптимизации напряжённо-деформированного состояния ответственных деталей с учётом вида, жёсткости напряжённого состояния и степени нагруженности детали.

2. Исследование эффективности и апробация разработанных критериев на стандартных образцах, деталях ГТД и элементах конструкции авиационных шасси, работающих в многоцикловой и малоцикловой областях.

3. Разработка методов диагностики опасных зон детали, являющихся очагами разрушений, а также оптимизации геометрических параметров деталей на этапе разработки конструкции и при диагностике существующих конструкций.

4. Разработка метода проектирования операций упрочнения маложёстких и высокоточных деталей, обеспечивающего заданные требования по уровню предела выносливости и точности геометрических размеров и формы деталей.

5. Разработка энергетического метода выбора режимов поверхностного упрочнения тонкостенных и маложёстких деталей ГТД.

6. Повышение достоверности методов прогнозирования технологических остаточных деформаций для высокоточных деталей сложной формы после поверхностного упрочнения.

Объект исследования. Напряжённо-деформированное состояние ответственных деталей и элементов авиационных конструкций. Режимы упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием, остаточные напряжения и технологические остаточные деформации деталей.

Предмет исследования. Методы совершенствования конструкции авиационных деталей на основе критериев анализа напряжённо-деформированного состояния; методы совершенствования и повышения эффективности упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием ответственных деталей и элементов

авиационных конструкций с целью повышения их долговечности и геометрической точности.

Научная новизна

1. Впервые характеристика жёсткости напряжённого состояния используется для количественной оценки рациональности конструкции ответственных авиационных деталей, работающих в условиях малоцикловой и многоцикловой усталости.

2. На основе коэффициента жёсткости $K_Ж$ разработаны критерии анализа и оптимизации НДС для ответственных деталей, работающих в условиях упругого и упруго-пластического состояний.

3. На основе разработанных критериев создан метод поиска опасных зон детали, являющихся очагами разрушений. Проведены работы по диагностике опасных зон и совершенствованию конструкции в производственных условиях на деталях ГТД и элементах авиационных шасси. Показана применимость метода для деталей, работающих в многоцикловой и малоцикловой областях.

4. Разработан метод определения параметров режимов упрочнения высокоточных деталей на основе энергии поверхностного пластически деформированного слоя, комплексного критерия вида и жёсткости НС, результатов испытаний на выносливость, анализа и оптимизации НДС деталей с использованием конечно-элементного (КЭ) моделирования.

5. Разработаны общие принципы и основы проектирования операций упрочнения высокоточных деталей, обеспечивающие заданные требования по сопротивлению усталости и геометрической точности.

6. На основе энергетического метода разработаны методики КЭ моделирования остаточных напряжений в поверхностном слое деталей, прогнозирования ТОД и исправления недопустимых ТОД деталей сложной геометрической формы.

7. Создана методика прогнозирования ТОД лопаток ГТД, подвергнутых упрочнению выглаживанием шариком и дробеструйной обработкой. Разработана обобщённая КЭ модель лопатки компрессора ГТД, позволяющая оптимизировать режимы дробеструйной обработки и выглаживания шариком входной и выходной кромок по допускаемым остаточным деформациям.

Теоретическая значимость.

Разработаны: критерии анализа и оптимизации НДС ответственных деталей с учётом вида, жёсткости напряжённого состояния и

уровня нагруженности; методиика поиска опасных зон детали, являющихся очагами разрушений. Создан метод определения параметров режимов упрочнения деталей, обеспечивающий долговечность и геометрическую точность деталей при назначении режимов упрочняющей обработки. Разработаны универсальные методики моделирования остаточных напряжений в поверхностном слое деталей и прогнозирования технологических остаточных деформаций высокоточных деталей, используемые при назначении режимов упрочняющей обработки и в расчётах на прочность. Методики применимы для различных методов ППД. Разработанные методы и подходы в комплексе позволяют обеспечить необходимые долговечность и геометрическую точность деталей.

Практическая значимость.

Метод поиска очагов разрушений в совокупности с методом проектирования операций упрочнения позволяют обеспечить требования по долговечности и геометрической точности деталей, работающих в малоцикловой и многоцикловой областях, на стадии разработки конструкции, в ремонтном производстве, в процессе анализа разрушений и назначения мероприятий по продлению ресурса ответственных авиационных деталей.

Разработанные методики, основанные на критериях анализа НДС, моделировании остаточных напряжений и ТОД, внедрены и апробированы на АО «Авиаагрегат» при назначении режимов упрочнения высокоточных деталей, при исправлении ТОД, превышающих технологические допуски, при внедрении в производство современного роботизированного оборудования в виде программ упрочнения ответственных деталей ГТД и элементов авиационных шасси, а также использованы для расчётного прогнозирования долговечности в малоцикловой области с учётом остаточных напряжений от упрочняющей обработки.

Методы исследования.

Работа выполнена на основе классических методов механики деформированного твёрдого тела. Остаточные напряжения определяли экспериментально методом послойного стравливания поверхностных слоёв. Расчёты остаточных напряжений и остаточных деформаций производились методом конечных элементов в системе ANSYS, а также в пакете Mathcad. Трёхмерные модели деталей и образцов создавались в Unigraphics NX. В работе использовался метод

многофакторного планирования эксперимента с использованием пакета Statistica, оптимизация проводилась в программе-оптимизаторе IOSO.

Разработанные положения:

1. Критерии анализа и оптимизации напряжённо-деформированного состояния и геометрических параметров конструкции ответственных деталей на основе использования характеристик вида и жёсткости напряжённого состояния, энергии упруго-пластического деформирования материала.

2. Метод диагностики опасных зон детали, являющихся очагами разрушений.

3. Методика выбора режимов упрочнения на основе критериев жёсткости напряжённого состояния, энергии поверхностного пластически деформированного слоя и допускаемых деформаций деталей.

4. Метод проектирования операций упрочнения тонкостенных деталей ГТД.

5. Методики КЭ моделирования остаточных напряжений и технологических остаточных деформаций деталей, используемые при назначении режимов упрочнения и в прочностных расчётах.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью постановки задач исследования, применением апробированных методов анализа и расчёта, применением современных расчётных комплексов, сопоставлением результатов, полученных численными методами, с аналитическими решениями и справочными данными, а также прямыми и косвенными экспериментами по многократно апробированным методикам. Сходимость теоретических разработок и результатов экспериментов подтверждается работами, проведёнными на АО «Авиаагрегат», а также исследованиями остаточных напряжений, долговечности в малоцикловой и многоцикловой областях в лабораториях Самарского национального исследовательского университета имени акад. С.П. Королёва.

Реализация результатов работы.

Результаты, полученные в работе, внедрены на АО «Авиаагрегат»: программы упрочняющей обработки деталей – элементов шасси (оси, траверсы, звенья подкосов и др.) для роботизированной дробеструйной установки на базе робота ABB; методики назначения режимов упрочнения типовых деталей, деталей подверженных короблению; мето-

дики исправления недопустимых технологических остаточных деформаций ответственных деталей.

Разработанные методы назначения режимов упрочнения внедрены в производство и апробированы при прохождении международной аккредитации спецпроцессов NADCAP.

Краткое описание достигнутых результатов в 2018 г.

За 2018 г. по направлению профессиональной деятельности Букатым А.С. были получены следующие результаты:

1. Лауреат всероссийского конкурса «Инженер года-2018» с внесением в Реестр Профессиональных инженеров России.

2. Внедрена в производство роботизированная установка плазменного напыления на базе робота ABB.

3. Разработан и внедрен в производство энергетический метод назначения режимов упрочняющей обработки, позволяющий обеспечивать требуемое сопротивление усталости деталей, геометрические размеры и форму деталей в пределах технологических допусков. Разработанные программы упрочняющей обработки деталей – элементов шасси (траверсы, подкосы и многие другие) позволили полностью устранить дефекты вызванные короблением.

4. Проведён комплекс работ по обеспечению адгезии и герметичности гальванических покрытий. Проведённые Букатым А.С. исследования позволили более чем в 2 раза снизить количество перехромирований, что особенно важно для дорогостоящих крупногабаритных деталей шасси – поршни, штоки, цилиндры, траверсы.

5. Многочисленные работы по оптимизации технологических процессов с помощью разработанных Букатым А.С. методов и подходов позволили решить большое количество технологических проблем для ключевых производственных спец. процессов.