

ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОМАШИН. УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГТД

Симонов С.К.
ПАО «ОДК-УМПО», г. Уфа

Ключевые слова: прочность, упрочнение, электроискровое легирование, вибрационная обработка, пневмогидродробеструйное упрочнение, остаточные напряжения, шероховатость, усталостная прочность.

Прочность сталей и сплавов – важная функциональная характеристика, определяющая качество готовой продукции. Использование высокопрочных материалов позволяет решить ряд практических задач, связанных с обеспечением надёжности и долговечности различных механизмов, машин и металлоконструкций. Однако, в более нагруженных системах необходимо дополнительно упрочнять поверхности изделий для обеспечения ряда эксплуатационных характеристик.

Существует большое количество способов повысить прочность деталей. Пожалуй, к основным методам можно отнести нанесение различных покрытий и деформационные способы упрочнения.

В ПАО «ОДК-УМПО» используются различные способы упрочнения деталей ГТД. Все виды упрочнений распределены между службами трёх главных специалистов: по управлению Главного технолога (УГТ) – нанесение покрытий методом электроискрового легирования, виброгалтовка и виброшлифование, а также различные методы пневмо- и пневмогидродробеструйного упрочнения деталей, по управлению Главного Metallурга (УГМет) - алитирование, цементация, серебрение, меднение, фосфатирование, оксидирование, термические виды упрочнения и другие, по отделу Главного сварщика (ОГС) – плазменное напыление, детонационное напыление, вакуумно-плазменное нанесение покрытий и другие.

Главная проблема, связанная с упрочнением ДСЕ – невозможность оценить результат выполнения упрочняющей операции. Качество выполнения таких операций зависит от оптимально подобранных режимов выполнения операции – так как, оценка уровня остаточных напряжений в ДСЕ в большинстве случаев выполняется непосредственно разрушающими методами контроля.

С целью определения влияния внедрения гидродробеструйного упрочнения лопаток ротора компрессора высокого давления на ресурс и лётную годность изделия ПД-14 в 2022 году специалистами ПАО «ОДК-УМПО» были достигнуты положительные результаты при обработке лопаток ротора КВД изд. ПД-14. В ходе работ была выполнена отработка режимов гидродробеструйного упрочнения керамическими микрошариками на лопатках компрессора высокого давления ст. 3, 5, 7 из титанового (ВТ8М-1) и жаропрочного сплавов (ЭП718-ИД).

По результатам отработки режимов в совокупности интенсивности сжимающих остаточных напряжений, а также минимизации влияния на шероховатость поверхности пера (операция гидродробеструйного упрочнения реализована до операции виброшлифования) и геометрических параметров пера, были определены режимы упрочнения лопаток под каждый вид материала детали.

По результатам усталостных испытаний получен прирост пределов выносливости лопаток:

- 22% для лопаток рабочих 3 ст. КВД изд. ПД-14 (с 36 до 44 кгс/мм²);
- 44% для лопаток рабочих 5 ст. КВД изд. ПД-14 (с 34 до 49 кгс/мм²);
- 31% для лопаток рабочих 7 ст. КВД изд. ПД-14 (с 38 до 50 кгс/мм²).

По предварительной оценке, минимальные коэффициенты запаса усталостной прочности на лопатках компрессора высокого давления 3, 5, 7 ст., изготовленных с упрочнением, в сравнении с сертификационными результатами без упрочнения гидродробеструйной обработкой возросли до значений:

- для деталей из материала ВТ8М-1 в 6 раз выше среднего показателя;
- для деталей из жаропрочных сплавов ЭП718-ИД в 3 раза выше среднего показателя.

Данные показатели удовлетворяют требованиям норм прочности для длительных режимов работы двигателя и позволяет снять эксплуатационные ограничения по длительности работы на режимах и периодичности осмотров, связанных с вибрационным состоянием лопаток ротора КВД.

По результатам контроля зафиксирована шероховатость поверхностей пера лопаток:

- по лопаткам рабочим 3 ст. КВД изд. ПД-14 – спинка Ra от 0,28 до 0,63 мкм, корыто Ra от 0,27 до 0,59 мкм,

- по лопаткам рабочим 5 ст. КВД изд. ПД-14 – спинка Ra от 0,53 до 0,81 мкм, корыто Ra от 0,33 до 0,76 мкм,

- по лопаткам рабочим 3 ст. КВД изд. ПД-14 – спинка Ra от 0,44 до 0,76 мкм, корыто Ra от 0,44 до 0,82 мкм.

Согласно требованиям КД на лопатки ротора КВД сжимающие остаточные поверхностные напряжения должны быть в диапазоне -100...-1000 МПа, по методу Давиденкова -10...-100 кгс/мм². Полученные фактические результаты контроля ОПН в полной мере соответствует требованиям КД.

Согласно требованиям КД на лопатки ротора КВД шероховатость поверхностей пера должна составлять не более Ra 0,63 мкм. Полученные результаты контроля шероховатости показывают, что для титановых лопаток параметр шероховатости соответствует требованиям КД. Шероховатость поверхности пера упрочненных лопаток из сплава ЭП718-ИД превышает требуемую по КД. Для оптимизации шероховатости пера лопаток после проведения гидродробеструйного упрочнения выполнена операция виброшлифования по серийному технологическому процессу. По результатам контроля лопаток в ПАО «ОДК-УМПО» шероховатость пера лопаток соответствует требованиям КД.

Учитывая идентичность материалов лопаток ротора КВД изд. ПД-14 остальных ступеней было принято решение распространить положительный результат в части повышения предела выносливости на лопатках ротора КВД других ступеней, в том числе и на ДСЕ других изделий.

Список литературы

1. Современные методы обеспечения прочностной надёжности деталей авиационных двигателей / Под ред. Ю.А. Ножницкого, Б.Ф. Шорра, И.Н. Долгополова. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. 456 с.

2. Антропов Л.И. Лебединский Ю.Н. Композиционные электрохимические покрытия и материалы. Киев. Техніка. 1986. 199 с.

3. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах. Москва. Машиностроение. 1979. 224 с.

Сведения об авторе

Симонов Сергей Константинович, магистр, инженер-технолог бюро поверхностных упрочнений управления Главного технолога ПАО «ОДК-УМПО». Область научных интересов: двигателестроение, машиностроение, материаловедение и технология материалов, современные способы обработки деталей.

THE STRENGTH OF TURBOMACHINE PARTS. HARDENING OF GAS-TURBINE UNIT

Simonov S.K.

UEC – UMPO. Ufa

Keywords: strength, hardening, electric spark alloying, vibration treatment, pneumatic hydroblasting hardening, residual stresses, roughness, fatigue strength.

The strength of steel and alloys is an important functional characteristic that determines the quality of finished products. The use of high-strength materials makes it possible to solve a number of practical problems related to ensuring the reliability and durability of various mechanisms, machines and structures.