

Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило // Обработка высокопрочных сталей и сплавов инструментами из сверхтвердых синтетических материалов: межвуз. (межвед.) тематич. сб. науч. трудов. – 1980. – №2. – С. 91–97.

4. Кравченко, Б.А. Обработка и выносливость высокопрочных материалов / Б.А. Кравченко, К.Ф. Митряев. – Куйбышев: Куйбышев. кн. изд-во, 1968. – 132 с.

5. Evdokimov D.V., Skuratov D.L. Influence of tool wear on the heat-flux distribution and temperature at the contact surfaces in the end milling of OT4 titanium alloy // Russian Engineering Research 2016. – Vol. 36. Issue 4. – P. 324–327.

6. Евдокимов, Д.В. Исследование коэффициента трения титановых и инструментальных сплавов. Сухое и граничное трение / Д.В. Евдокимов, М.А. Олейник // Известия СНЦ РАН. – 2020. – Т. 22. – № 1. – С. 43–46.

УДК 621.787:539.319

*Букатый А.С., Фёдоров Д.Г., Санхинес Лесама Ф.,  
Салтанов С.В., Сахаров М.В.*

## **УПРОЧНЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ШАССИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ**

Упрочнение дробеструйной обработкой приводит к появлению остаточных напряжений в поверхностном слое деталей и, как следствие, технологическим остаточным деформациям (ТОД). При дробеструйном упрочнении деформации осей приводят к увеличению диаметра посадочных поверхностей, превышающих технологические допуски, в связи с чем целью данной работы является прогнозирование

деформаций и назначение режимов упрочнения, обеспечивающих изготовление осей в соответствии с повышенными технологическими требованиями к точности.

Деталь, подвергаемая исследованиям – ось из материала ВТ-22. Упрочнению подвергались посадочные поверхности под подшипники (рис. 1). Решение поставленной задачи осуществлялось на основе разработанных расчётных методик [1], позволяющих методом конечных элементов осуществить прогнозирование ТОД от воздействия остаточных напряжений. С этой целью был изготовлен образец цилиндрической формы из материала ВТ-22, имитирующий элемент детали. Образец упрочнялся на режиме, соответствующем технологии изготовления детали. Определение остаточных напряжений осуществлялось на установке АСБ-1 [2] методом электролитического травления. Полученное распределение остаточных напряжений использовалось при расчётах ТОД оси, подлежащей упрочнению. Расчётное прогнозирование ТОД производилось в системе ANSYS. Конечно-элементная модель представляет собой ось, в поверхностный слой которой загружаются остаточные напряжения. Внутренний диаметр оси составляет 110мм, толщина стенки 15 мм. По результатам расчётов изменение диаметра составило

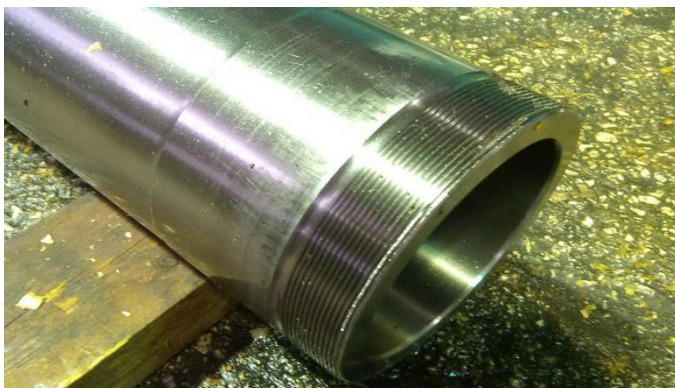


Рис. 1. Ось шасси

0,0142 мм. Корректировка режима упрочнения на основе дополнительных расчётов позволила сократить изменение диаметра оси до 0,01 мм. По результатам расчётно-экспериментальных работ упрочнению подвергалась производственная деталь. Изменение диаметра упрочняемых посадочных поверхностей под подшипники составило 0,008-0,01 мм.

Применительно к деталям, изготовленным с отклонениями, проводились работы по увеличению диаметра посадочных поверхностей. С этой целью проводились аналогичные расчёты методом конечных элементов, в результате чего максимально возможное увеличение диаметра с применением пневмодробеструйного упрочнения стальными микрошариками диаметром 600 мкм составило до 0,01 мм. В ряде случаев диаметр посадочных поверхностей был занижен более чем на 0,01 мм. Для увеличения диаметра оси более 0,01мм использовалось приспособление для раскатки (рис. 2), конструкция которого была переработана с целью увеличения раскатывающего усилия.



Рис. 2. Приспособление для раскатки

Применение раскатного приспособления позволило увеличить диаметр опытных бракованных деталей на величину до 0,1 мм. При этом начальное изменение диаметра составляло 0,2–0,25 мм, после чего с течением времени протекали релаксационные процессы и диаметр через 24 часа уменьшался на 0,1–0,15 мм. Необходимо отметить, что использование раскатного оборудования применительно к деталям из титана требует проведения дополнительных исследований релаксации остаточных напряжений и изменения напряжённо-деформированного состояния раскатанных поверхностей с течением времени.

### **Выводы**

1. Расчётное прогнозирование ТОД необходимо производить для всех упрочняемых деталей, подверженных изменению размеров и формы.

2. Упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД) применимо в ремонтном производстве с целью увеличения диаметра посадочных поверхностей.

3. При исправлении геометрии деталей методами ППД необходимо дополнительно определять остаточные напряжения в образцах, упрочнённых на используемых режимах, так как в ряде случаев могут быть использованы интенсивные режимы, приводящие к перенаклёпу поверхностного слоя и возникновению растягивающих остаточных напряжений.

4. Назначение режимов дробеструйной обработки деталей из титановых сплавов требует тщательного исследования, так как в ряде случаев замечена быстро протекающая релаксация остаточных напряжений, сопровождающаяся соответствующими ТОД.

### ***Библиографический список***

1. Букатый, С.А. Энергетический метод определения рациональных режимов упрочнения тонкостенных и маложёстких дета-

лей ГТД поверхностным пластическим деформированием / С.А. Букатый, А.С. Букатый // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2009. – № 10(67). – С. 45–49.

2. Букатый, С. А. Автоматизированная система определения остаточных напряжений / С.А. Букатый, А.С. Букатый // *Механика и процессы управления. Труды XXXVIII Уральского семинара*. – 2008. – Том 1. – С. 191–194.

УДК 621.438:519.24

*Букатый С.А., Букатый А.С., Зотов Е.В.,  
Ахтамьянов Р.М., Баранова В.Р.*

## **ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ЖЁСТКОСТИ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РАЗРУШЕНИЙ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Основные детали (диски, валы и др.), определяющие ресурс газотурбинных двигателей (ГТД), работают в условиях малоциклового усталости и длительной прочности. При этом в наиболее нагруженных областях – зонах концентрации напряжений в каждом цикле нагружения возникают упругопластические деформации. Поэтому возникает необходимость расчётного диагностирования состояния деталей и выявления наиболее нагруженных областей с учётом условий деформирования и типа напряжённо-деформированного состояния (НДС), которые существенно влияют на циклическую долговечность деталей.

Известно, что увеличение составляющих всестороннего растяжения – шарового тензора напряжений существенно увеличивает жёсткость напряжённого состояния (НС) и уменьшает предельную пластичность материала. Однако в практике проектирования ГТД