

*Евдокимов Д. В., Ахтамьянов Р. М., Алексенцев А. А.,  
Чжуан С., Лунин В. В.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОРОБЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНОГО УСТРОЙСТВА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

В последнее время возрастает количество сложнопрофильных и ответственных изделий, что является следствием усложнения узлов и агрегатов, особенно в авиационной отрасли. При изготовлении таких изделий очень важно обеспечить надлежащее качество их поверхности, так как состояние поверхностного слоя изделия напрямую влияет на его ресурс. Так возникает необходимость разработки специальных методик, которые будут учитывать влияние на ресурс изделия отдельных этапов технологического процесса [1]. Это позволит оптимизировать каждый в отдельности этап техпроцесса как с позиции рабочего ресурса детали, так и точности её изготовления [2].

В данной работе представлена расчётная методика, которая позволяет оценивать напряжённо-деформированное состояние изделий от действия остаточных напряжений. В качестве примера рассмотрена траверса взлётно-посадочного устройства, выполненного из ковочного алюминиевого сплава марки 1933. Основной проблемой, связанной с эксплуатацией данной детали, являлось возникновение трещин в месте установки кронштейнов.

Разрушения обусловлены образованием трещин на поясах отверстий. Однако, прочностной численный анализ статического и динамического нагружения траверсы показал достаточный коэффициент запаса по прочности для разрушающегося участка. Ис-

ходя из этого, было принято решение проанализировать технологический процесс получения проблемных посадочных отверстий. Особое внимание было уделено величине, знаку и характеру распределения остаточных напряжений в поверхностном слое зоны при исследуемых отверстиях траверсы. Для каждой операции механической обработки были выписаны наиболее вероятные значения величин остаточных напряжений, для соответствующих технологических операций.

На основании проанализированной литературы был сделан вывод, что в результате механической обработки зоны возле посадочных отверстий под кронштейны располагается поле растягивающих остаточных напряжений, что несомненно способствует процессу трещинообразования, тем самым снижая ресурс детали. Для решения данной проблемы стало обоснованным использование методов поверхностного пластического деформирования, с целью формирования в поверхностном слое разрушающегося участка траверсы сжимающих остаточных напряжений. Однако, на данном этапе важным было не только назначение оптимальных режимов упрочнения поверхностного слоя, но и отслеживание технологических деформаций изделия, чтобы деталь находилась в своих контролируемых размерах внутри допустимых значений согласно конструкторской документации. Выбор метода поверхностного пластического деформирования был остановлен на дробеструйной обработке, что наилучшим образом подходит для детали, имеющей представленную конфигурацию.

Для более детального анализа полей растягивающих остаточных напряжений, а также деформаций детали была разработана виртуальная конечно-элементная модель. Конечно-элементная модель состоит из трёх основных виртуальных тел, а именно поверхностные слои первого и второго исследуемых разрушающихся отверстий, а также остальное тело траверсы.

С целью апробации виртуальной модели, в поверхностные слои проблемных монтажных отверстий загружались эпюры остаточных напряжений [3], с максимумом, изменяющимся в диапазоне от +50 МПа до +250 МПа. Данный диапазон был выбран исходя из наиболее вероятных пиковых значений, возникающих в ходе аналогичных операций механической обработки, содержащихся в базовом технологическом процессе. Примеры компьютерных вычислений по конечно-элементной модели возможно видеть на рис. 1.

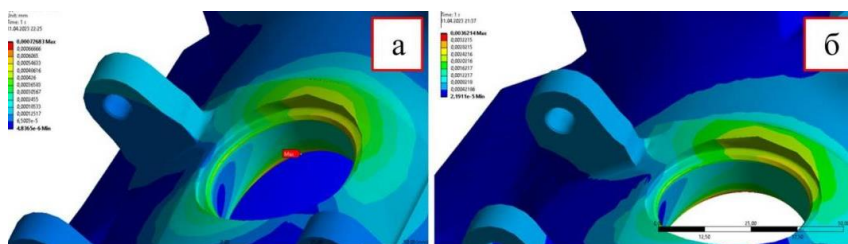


Рис. 1. Поля эквивалентных напряжений в зонах исследуемых монтажных отверстий, где были загружены в поверхностный слой эпюры остаточных напряжений с максимальными значениями: +50 МПа (а) и +150 МПа (б)

В ходе численного эксперимента были получены графики изменения максимальной величины эквивалентных напряжений и деформаций, распределённых по проблемному участку траверсы в зависимости от пикового значения растягивающих остаточных напряжений, формирующихся в поверхностном слое изделия на этапах механической обработки (рис. 2,а).

Затем эпюра остаточных напряжений при наибольшем значении +180 МПа, была загружена в поверхностный слой конечно-элементной модели. Также с целью поиска оптимального режима упрочнения, производилась загрузка эпюры остаточных напряжений, формирующихся в поверхностном слое изделия при дробе-

струйном упрочнении. В процессе проведения вычислений по конечно-элементной модели производилось варьирование максимального значения эпюры напряжений, формирующихся в процессе поверхностного пластического деформирования. По результатам расчётов были построены графики, аналогично графикам, приведенным на рис. 2 а, с той разницей, что в процессе вычислений первичная эпюра распределения остаточных напряжений, формирующихся в процессе формообразующей механической обработки, оставалась без изменений, но изменялась эпюра остаточных напряжений, формирующихся при дробеструйной обработке. Ознакомиться с полученными результатами возможно на рис. 2,б, где  $\sigma_{max}^{экв IV}$  – максимальная величина эквивалентных напряжений,  $\epsilon_{max}$  – максимальная величина деформации,  $\sigma_{ост}$  значения растягивающих остаточных напряжений.

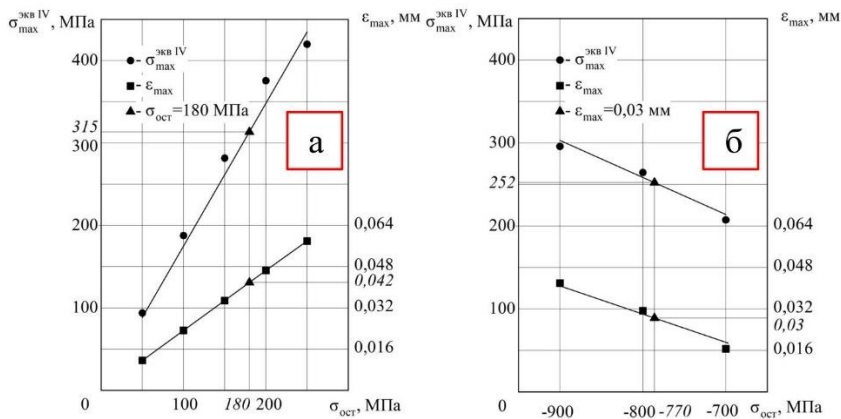


Рис. 2. Графики изменения максимальной величины эквивалентных напряжений и деформаций, в зависимости от растягивающих остаточных напряжений (а) и в зависимости от сжимающих остаточных напряжений (б)

Исходя из требуемой геометрической точности изготовления траверсы передней опоры, а также максимально возможного уровня сжимающих остаточных напряжений, был подобран оптимальный режим дробеструйного упрочнения, при котором рабочий ресурс детали возрастает до требуемого значения, а контролируемые исполнительные размеры остаются в допускаемых конструкторской документацией значениях.

Использование расчётной методики, представленной в данной работе, позволило оптимизировать технологический процесс изготовления траверсы передней опоры, что повысило рабочий ресурс детали до требуемого значения. Важной особенностью представленной методики является возможность оценки напряжённо-деформированного состояния изделия как на этапе отдельно взятой технологической операции, так и в зависимости от совокупного влияния технологических операций, что представляет возможность оценки напряжённо-деформированного состояния изделия в процессе его изменения от одной технологической операции к другой.

### *Библиографический список*

1. Акимов, В.М. Основы надежности газотурбинных двигателей / В.М. Акимов. – Москва: Машиностроение, 1981. – 207 с.
2. Антонюк, В.Е. Технологические возможности повышения точности изготовления дисков и валов / В.Е. Антонюк // Технология машиностроения. – 2005. – № 6. – С. 43–48.
3. Евдокимов, Д.В. Расчетное прогнозирование технологических остаточных деформаций лопаток ГТД на этапе конечного фрезерования / Д.В. Евдокимов, Д.Л. Скуратов, А.С. Букатый // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2022. – Т.24. – № 1. – С. 11–19.