

УДК 621.787:539.319

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОПАСНОМ СЕЧЕНИИ ВПАДИНЫ ЗАМКА ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ГТД

Кочерова Е. Е., Шестакова Д. А., Вакулюк В. С.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Соединение рабочих лопаток с диском – напряжённое и ответственное место в конструкции турбины. В настоящее время крепление рабочих лопаток в диске турбины выполняется в виде так называемого «ёлочного замка».

Для повышения сопротивления усталости замок лопатки ГТД подвергается поверхностному упрочнению обработкой микрошариками диаметром  $100\div 315$  мкм, время обдувки – 3 мин., обороты дробемёта –  $3100\pm 100$  об/мин [1].

Одновременно с упрочнением замка лопатки проводилось упрочнение образца-свидетеля. По известным методикам определялись окружные  $\sigma_\varphi$  остаточные напряжения в упрочнённом слое образца-свидетеля (рис. 1).

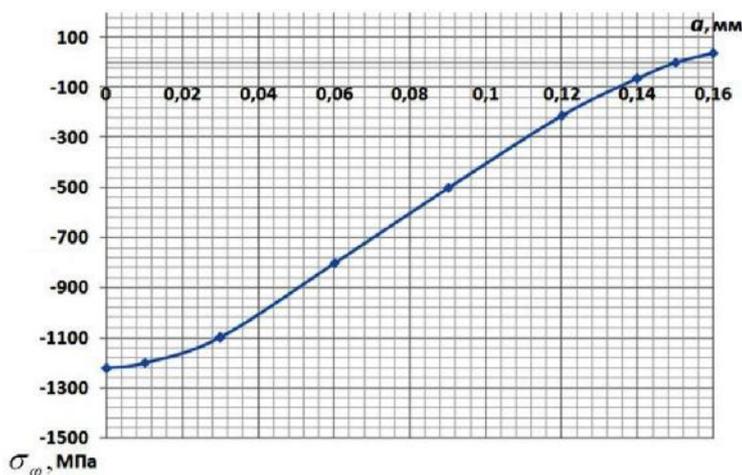


Рис. 1. Распределение окружных  $\sigma_\varphi$  остаточных напряжений по толщине упрочнённого поверхностного слоя образца-свидетеля

Проведённый с использованием МКЭ расчёт и справочные данные [2] показали, что наиболее нагруженное от действующих напряжений поперечное сечение находится в первой от пера лопатки впадине замка, причём наиболее нагруженные точки впадины замка находятся в диапазоне углов  $\theta$  от 25 до 35 градусов. Угол  $\theta$  отсчитывается от нижней точки впадины  $r = 0,5$  мм в направлении вершины зуба.

Для нахождения распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя  $a$  опасного сечения была разработана конечно-элементная модель замка лопатки и выполнены расчёты с использованием расчётного комплекса NASTRAN/PATRAN. Моделирование остаточных напряжений в упрочнённом слое выполнено по методу термоупругости по первоначальным деформациям с использованием эпюры остаточных напряжений образца-свидетеля, приведённой на рис. 1 [3]. Конечно-элементная модель (рис. 2) представляет собой плоское сечение замка лопатки с наложением соответствующих граничных условий по перемещениям. При моделировании использован плоский шестиузловой треугольный конечный элемент типа Shell.

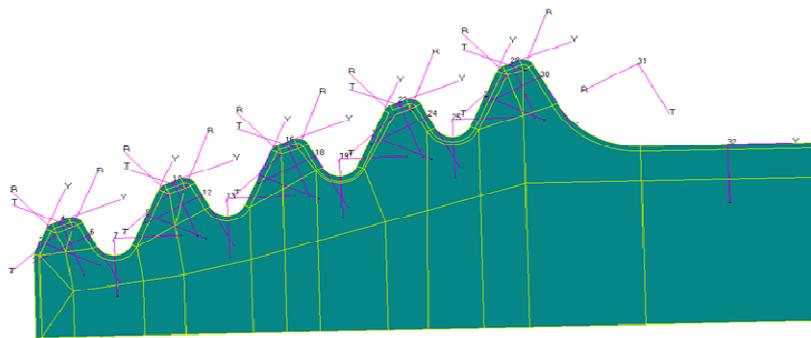


Рис. 2. Конечно-элементная модель замка лопатки

Эпюры распределения окружных  $\sigma_\varphi$  остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя а опасного сечения для различных значений угла  $\theta$  по впадинам зубьев замка лопатки и исходная эпюра (для гладкого образца) приведены на рис. 3.

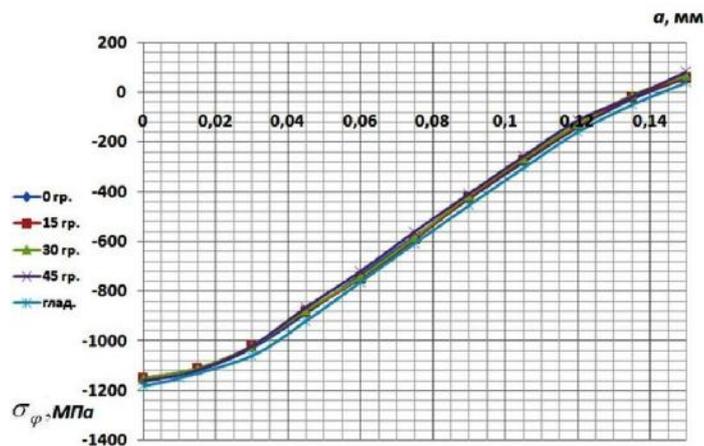


Рис. 3. Распределение окружных  $\sigma_\varphi$  остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя впадины первого зуба замка лопатки для различных углов  $\theta$

Анализ результатов расчёта показал, что распределение окружных остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя впадины замка лопатки практически одинаково для всех углов  $\theta$  опасной зоны. При этом эпюры остаточных напряжений отличаются от исходной для гладкого образца не более, чем на 4-5% (в меньшую сторону).

#### Библиографический список

1. Кузнецов, Н. Д. Регулирование остаточных напряжений в деталях ГТД обработкой микрошариками [Текст]/ Н. Д. Кузнецов, В. И. Цейтлин, А. Н. Цейтлин, В. И. Волков // Конструкционная прочность двигателей: тезисы доклада V Всесоюзной конференции. – Куйбышев, 1978. – С. 83-85.
2. Кузнецов, Н. Д. Технологические методы повышения надёжности деталей машин: справочник [Текст]/ Н. Д. Кузнецов, В. И. Цейтлин, В. И. Волков. – М.: Машиностроение, 1992. – 304 с.
3. Павлов, В. Ф. Расчёт остаточных напряжений в деталях с концентраторами напряжений по первоначальным деформациям: монография [Текст]/ В. Ф. Павлов, А. К. Столяров, В. С. Вакулюк, В. А. Кирпичёв. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 124 с.