

тальных ограничений, связанных с фазовым переходом (точка П. Кюри).

#### Библиографический список

1. Зотов В.А., Цаплин М.И. Исследование радиальных зазоров-источников больших потерь / В.А. Зотов, М.И. Цаплин // 75 лет творческой научно-практической деятельности ЦИАМ в авиадвигателестроении. – 2005. – С.250-251.

2. Авиационный двигатель ПС-90А: А.А. Иноземцев, Е.А. Коняев, В.В. Медведев, А.В. Нерадько, А.Е. Ряссов; Под ред.

А.А. Иноземцева. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 320 с.

3. С.Ю. Боровик, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев. Проблемы измерения радиальных зазоров в экстремальных условиях проточной части газотурбинного двигателя и их решение на основе применения одновитковых вихретоковых датчиков // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ – 2014. – С. 6928-6937.

4. García. Desarrollo de un sensor de fibra óptica para la medida del tip clearance y tip timing en motores aeronáuticos // Sensors. 2017.

УДК 621.9.07(075.8)

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНАТКИ ДЛЯ ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ПЕРА ЛОПАТОК ТРЕТЬЕЙ СТУПЕНИ КНД ГТД СЕРИИ «НК»

©2018 Ю.Х. Апкалимова, А.Н. Швецов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

#### DESIGNING OF THE ACCESSORY FOR ABRASIVE-BELT GRINDING OF THE AIRFOIL PROFILE OF THE THIRD STAGE LPC BLADES OF THE GTE OF THE "NK" SERIES

Apkalimova Yu.Kh., Schvetsov A.N. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*The design of the accessory for abrasive-belt grinding of the airfoil profile of the third stage low-pressure compressor blades of the gas turbine engine of the "NK" series is presented. The results of accessory calculating of its accuracy and the stress-strain state of the workpiece during the processing are presented.*

При окончательной обработке профиля пера лопаток КНД достаточно часто применяется ручное полирование. Однако качество выполнения данного процесса в значительной мере зависит от субъективных факторов.

Для повышения качества окончательной обработки профиля пера лопаток и повышения производительности процесса ручное полирование в настоящее время заменяют на ленточное шлифование на станках с ЧПУ. В частности для осуществления данного процесса используют ленточно-шлифовальные станки METABO MTS 1000/CNC 3/6 Маяк 622. Однако внедрение ленточного шлифования пера лопаток в производство требует создания специальных поворотных приспособлений, позволяющих осуществить данный процесс.

Для обработки профиля пера лопаток третьей ступени КНД, изготавливаемых из титанового сплава ВТ9, было спроектирова-

но специальное приспособление, позволяющее осуществить ленточное шлифование спинки и корыта. Общий вид приспособления приведен на рис. 1.

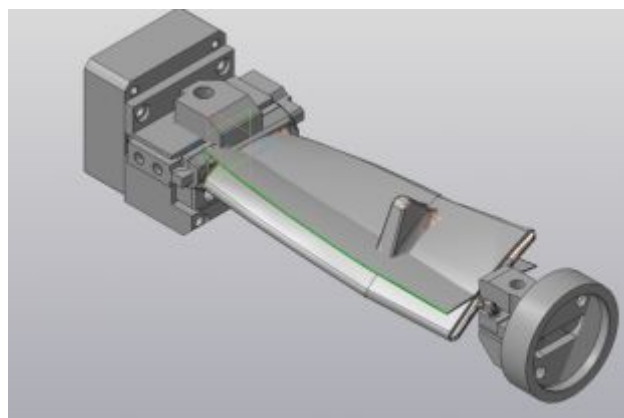


Рис. 1. Общий вид приспособления для ленточного шлифования профиля пера лопаток третьей ступени КНД

В конструктивном плане указанные ранее лопатки содержат три элемента, а именно: перо, антивибрационную полку и замок. Перо лопатки при длине 293 мм, имеет сложную пространственную форму с переменными по длине профилями поперечными сечениями и закрутку пера, равную  $\alpha = 15^\circ \pm 1^\circ$ . Перо имеет малую толщину, тонкие кромки и, следовательно, невысокую жёсткость. На профиле пера расположены антивибрационные полки. Эти полки выполняют также функции вспомогательных конструкторских баз лопаток, на опорные поверхности которых наносятся твёрдосплавное покрытие из карбидов вольфрама и титана (WC+TiC).

Процесс ленточного строчного шлифования спинки и корыта лопатки осуществляется при скорости резания  $v = 15$  м/с и продольной подаче (вдоль оси лопатки)  $S_{np} = 2$  м/мин.

Как известно, результирующая погрешность обработки при выполнении технологических операций с применением приспособлений не должна превышать заданного допуска на геометрический размер

$$\omega \leq T, \quad (1)$$

где  $T$  - допуск на размер, мм;  $\omega = \omega_o + \omega_{y.z}$ ,  $\omega$  - результирующая погрешность обработки, мм;  $\omega_o$  - погрешность, связанная с методом обработки, мм;  $\omega_{y.z}$  - погрешность, связанная с установкой заготовки, мм.

Таким образом, погрешность установки заготовки составляет часть допуска на изготовление, т.е.

$$\omega_{y.z} = T - \omega_o. \quad (2)$$

При проектировании приспособления расчётная погрешность установки заготовки в него  $\omega_{y.z}$  с учётом запаса точности осуществлялась по формуле

$$\omega_{y.z} = 1,2 \cdot \sqrt{\omega_o^2 + \omega_3^2 + \omega_{np}^2}, \quad (3)$$

где  $\omega_o$  - погрешность базирования, мм;  $\omega_3$  - погрешность закрепления, мм;  $\omega_{np}$  - погрешность изготовления и износа приспособления, мм.

В свою очередь погрешность изготовления и износа приспособления определяется по формуле

$$\omega_{np} = \omega_{изг..np} + \sqrt{3\omega_{и..np} + \omega_{у..np}}, \quad (4)$$

$\omega_{изг..np}$  - погрешность изготовления приспособления, мм;  $\omega_{и..np}$  - погрешность, связанная с износом установочных элементов, мм;  $\omega_{у..np}$  - погрешность, связанная с установкой приспособления на станке, мм.

Отклонение профиля пера лопатки компрессора относительно заданных номинальных значений не должно превышать 0,15 мм. Если учесть, что суммарная погрешность метода обработки при шлифовании не превышает 0,02 мм [1], то допустимая погрешность установки в соответствии с формулой (2) будет равна  $\omega_{y.z.don} = 0,13$  мм. В формуле (3) для данного приспособления  $\omega_o$  и  $\omega_3$  равны нулю, а в формуле (4)

$$\omega_{изг..np} = \omega_{изз_1} + \omega_{изз_2} + \omega_{изз_3}, \quad (5)$$

где  $\omega_{изз_1}$  - погрешность размера от оси вращения приспособления (оси лопатки) до базовой поверхности неподвижной губки, мм;  $\omega_{изз_2}$  - погрешность размера от несовмещения оси вращения корпуса с осью тисков, мм;  $\omega_{изз_3}$  - погрешность расстояния от базовой поверхности корпуса до оси вращения шпинделя, мм.

Так как  $\omega_{изз_1} = \pm 0,01$  мм,  $\omega_{изз_2} = 0,02$  мм,  $\omega_{изз_3} = 0,01$  мм, то  $\omega_{изг..np}$  в соответствии с формулой (5) будет равна 0,05 мм. Погрешность износа установочных элементов  $\omega_{и..np}$  принимается равной 0,01 мм [2], а погрешность установки приспособления на станке  $\omega_{у..np}$  в соответствии с расчётом равна 0,0345 мм, тогда  $\omega_{np}$  на основании формулы (4) будет равна 0,088 мм.

Исходя из ранее изложенного, расчётная погрешность установки заготовки, равная  $\omega_{y.z} = 0,105$  мм будет меньше допустимой погрешности установки  $\omega_{y.z.don} = 0,13$  мм.

При ленточном шлифовании, как и при других видах механической обработки, силы резания воздействуют на обрабатываемую заготовку. Однако в связи с тем, что при ленточном шлифовании указанных ранее лопаток главная составляющая сила резания  $P_z$ , как показали расчёты, не превышает 50 Н, а

для крепления лопатки используются шпильки с резьбой М10 и М12, то в выполнении расчёта, связанного с обеспечением неподвижности заготовки при обработке, нет необходимости.

Расчёт напряжённо-деформированного состояния заготовки лопатки при её ленточном шлифовании был выполнен в девяти сечениях вдоль пера лопатки, который показал, что наибольшие напряжения возникают в

заготовке в девятом сечении (рис. 2), когда эквивалентные напряжения составляют  $\sigma_{экв} = 298,6$  МПа. Даже в этом случае коэффициент запаса соответствует требованиям норм прочности и равен

$$K_m = \frac{\sigma_e}{\sigma_{экв}} = \frac{1030}{298,6} = 3,45 > 1,82.$$

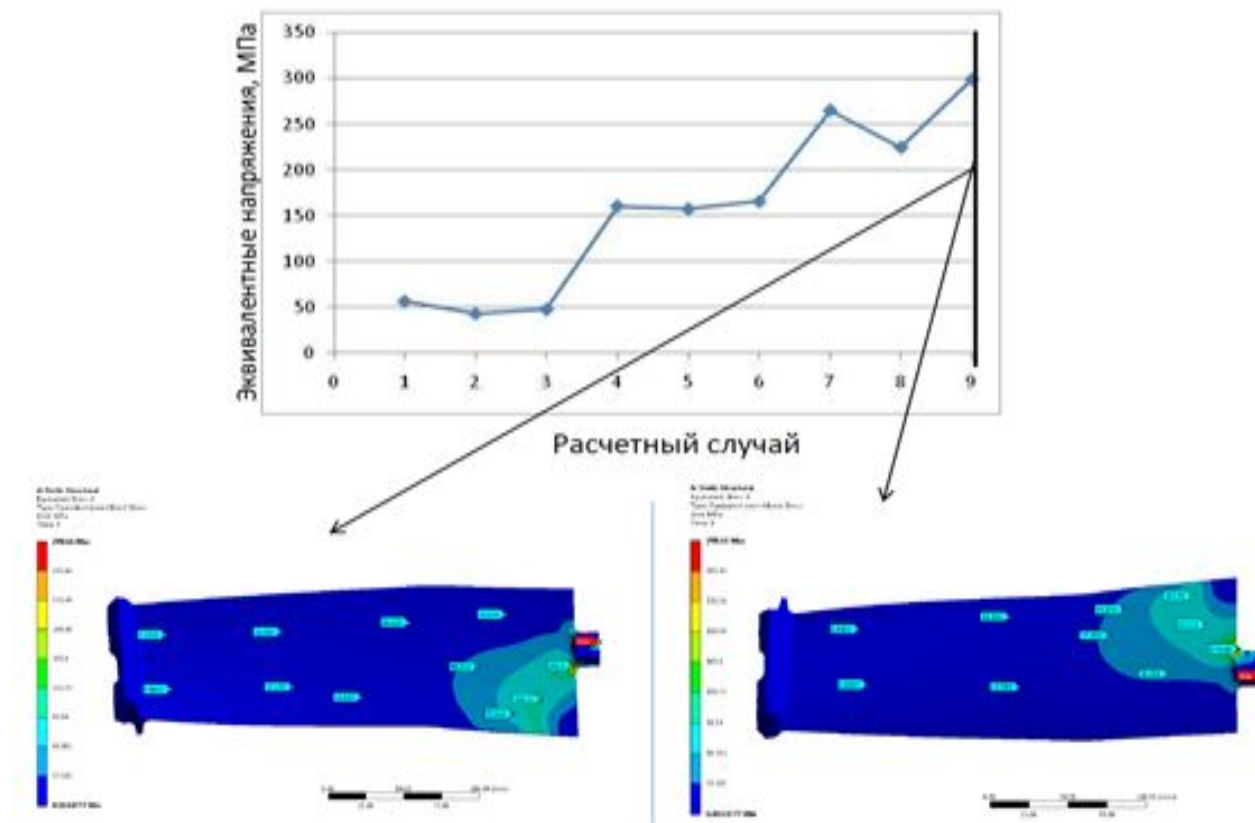


Рис. 2. Эквивалентные напряжения со стороны спинки и корыта в заготовке лопатки при ленточном шлифовании

Таким образом, была разработана конструктивная схема приспособления для ленточного шлифовании, наиболее выгодная по экономическим соображениям при заданной программе выпуска лопаток. Она соответствует всем точностным, прочностным и экономическим требованиям. На основе конструктивной схемы созданы сборочный и рабочие чертежи приспособления.

#### Библиографический список

1. Вардашкина, В.Н. Станочные приспособления: справочник / В.Н. Вардашкина. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.
2. Горошкин, Л.К. Приспособления для металлорежущих станков: справочник / Л.К. Горошкин. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.