

ПОГРЕШНОСТЬ БАЗИРОВАНИЯ ЛОПАТКИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Новикова Анна Алексеевна

Студент 4 курса,

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.В. Тумакова,

старший преподаватель кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Одной из самых важных частей газотурбинного двигателя являются лопатки. Качественный контроль геометрических параметров пера лопатки газотурбинного двигателя является одной из первостепенных задач, так как точность этих деталей определяет КПД основных узлов двигателя (вентилятора, компрессора и турбины). В процессе их измерения появляется множество вопросов, которые необходимо решить: выбор средства измерения, числа точек при контроле, количества сечений и метода базирования. Последняя составляющая оказывает наибольшее влияние на погрешность проведенных измерений. В данной работе подробнее рассмотрены методы базирования, их достоинства и недостатки, а также расчёты для каждого из них.

Важность вопроса высокоточного контроля лопаток определяется степенью их ответственности и большим количеством в одном двигателе. В одном двигателе устанавливается до 2 тысяч лопаток разных габаритов, каждая из которых должна отвечать установленным требованиям. На рисунке 1 представлен чертеж лопатки с указанными требованиями.

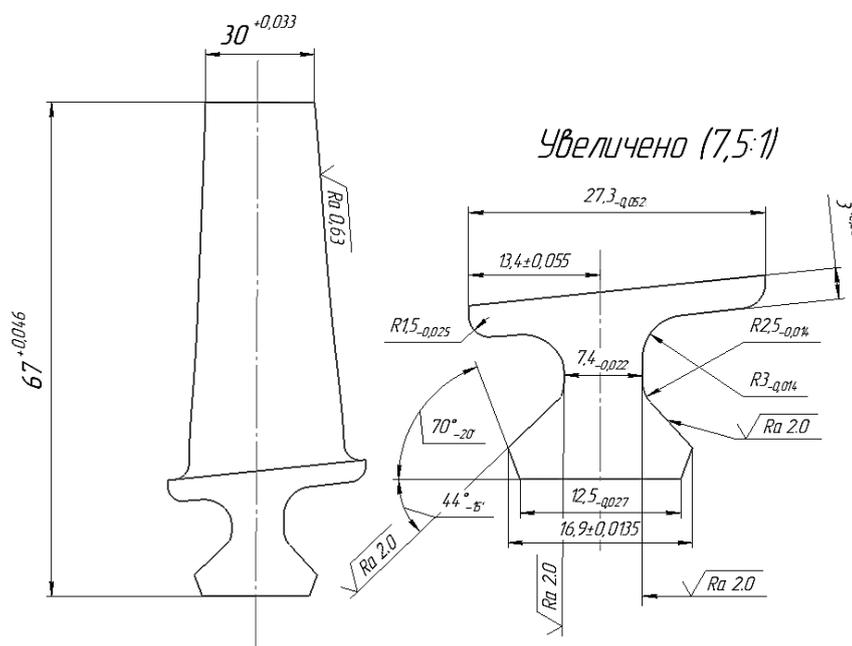


Рис. 1. Чертеж лопатки

Согласно ОСТ 1 02571-86 к точности геометрических параметров профиля пера и шероховатости пера лопаток компрессора предъявляются следующие требования:

- 1) Отклонение профиля спинки $\Delta\Pi_C$ и корыта $\Delta\Pi_K$ пера в расчетных сечениях от заданного номинального не должно превышать 0,04 мм,
- 2) Отклонение входной $\Delta\Pi_{вх}$ и выходной $\Delta\Pi_{вых}$ кромок 0,15 мм,

- 3) Отклонение толщины профиля пера $\Delta C_{max} = \Delta \Pi_C + \Delta \Pi_K$,
- 4) Предельное отклонение угла установки $\alpha_T(\beta_T)$ фактического профиля не должно превышать $\pm 0,30'$,
- 5) Отклонение ширины хорды профиля пера Δb не должно превышать $\pm 0,20$ мм,
- 6) Смещение фактического профиля от номинального положения в направлении оси Y должно быть не более $\delta_{у\text{корн}} = \pm 0,1$ мм для корневых сечений, на высоте h_i . В направлении оси смещение Y рассчитывается по формуле (1):

$$\delta_{yi} = \delta_{у\text{корн}} + kh_i \quad (1)$$

7) Смещение профиля пера лопатки для выходной кромки профиля от теоретического положения в направлении оси X должно быть не более $\pm 0,2$ мм,

8) Шероховатость пера лопатки $R_a = 0,63 \dots 0,08$ мкм.

Зная требования точности лопаток, мы можем вычислить допускаемую погрешность средства измерения. Предел допускаемой погрешности измерений $\Delta_{и}^{\text{доп}}$ определяется по формуле (2):

$$\Delta_{и}^{\text{доп}} = A_{\text{мет}} \cdot T = 0,25 \cdot 40 = 10 \text{ мкм}, \quad (2)$$

где T – допуск на размер, мкм,

$A_{\text{мет}}$ – коэффициент, зависящий от качества.

Зная $\Delta_{и}^{\text{доп}}$, вычисляем допускаемую погрешность средства измерения $\Delta_{си}^{\text{доп}}$ по формуле (3):

$$\Delta_{си}^{\text{доп}} = 0,7 \cdot \Delta_{и}^{\text{доп}} = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ мкм}. \quad (3)$$

На основе данных о допускаемой погрешности средства измерения выбирается подходящее средство измерения. Особенностью при измерении лопаток является то, что её поверхности имеют сложную геометрию, т.е. являются сложнопрофильными. Измерения подобных поверхностей можно проводить двумя методами: контактным и бесконтактным. Бесконтактные методы просты в использовании и исключают возможность механических повреждений измеряемого объекта, а контактные методы имеют возможность автоматизации и более высокую точность измерений. В таблице 1 представлено сравнение погрешностей средств измерений:

Таблица 1. Сравнение средств измерения для измерения лопаток

Контактные методы		Бесконтактные методы	
Координатно-измерительная машина	Видеоизмерительная машина	Оптический 3D-сканер	Лазерный сканер
КИМ Mitutoyo Cristal Plus M544	Видеоизмерительная система Norgau MNV-3020CNC	Оптический сканер ПОЛИГОН-90	3D сканер RangeVision PRIME
			

Продолжение таблицы 1

Погрешность ,мкм			
$\pm(3,5 + \frac{4L}{1000})$	По осям X и Y: $\pm(3,0 + \frac{L}{200})$ По оси Z: $\pm(4,5 + \frac{L}{100})$	± 10	± 14

Исходя из данных таблицы можно сказать, что бесконтактные средства измерения не могут обеспечить необходимую точность ввиду большой погрешности измерения, которая достигает 14 микрометров. Поэтому в качестве выбранного средства измерения подходят средства измерения с контактным щупом, такие как координатно-измерительные.

На этапе проведения измерений актуальным вопросом является обеспечение точности базирования детали. Потому что в процессе закрепления и последующего контакта с щупом появляется перекося детали, что является источником погрешности, которую нужно либо правильно учесть, либо предвидеть и устранить. Существуют три основных метода базирования лопатки при контроле геометрических параметров пера: базирование прижимами, базирование в тисках и применение оснастки, повторяющей геометрию хвостовика лопатки.

Базирование прижимами применяется при измерении детали на координатно-измерительной машине. Существенным преимуществом является его универсальность для лопаток разных габаритов и конфигураций: под каждую лопатку можно собрать индивидуальную конструкцию благодаря большому количеству комплектующих в наборе оснастки. Недостатком является сравнительно высокая цена данного набора и возможность применения только на КИМ, выбор иного средства измерения делает затруднительным применение данного метода.

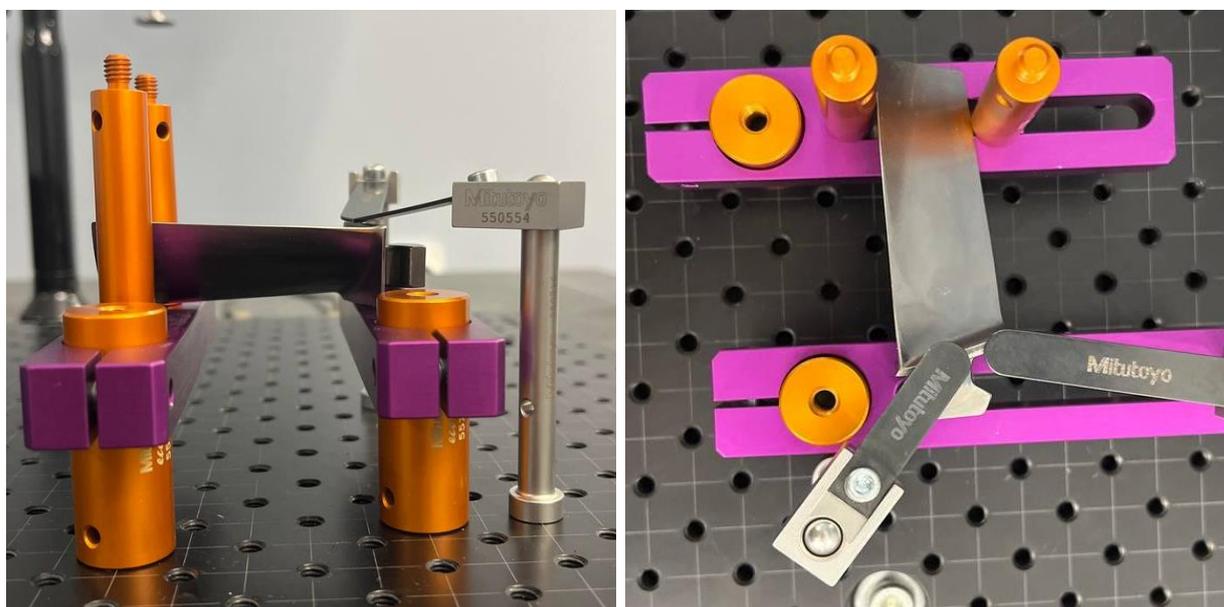


Рис. 2. Лопатка, закрепленная прижимами

После сборки конструкции с прижимами были проведены измерения сечения пера лопатки на координатно измерительной машине. Точки выбирались в соответствии с требованиями, изложенными в ОСТ 1 02571-86. По полученным точкам построен измеренный профиль. Сравнение с теоретическим профилем, представленное на рисунке 3, показало максимальное отклонение равно 0,21 мм.

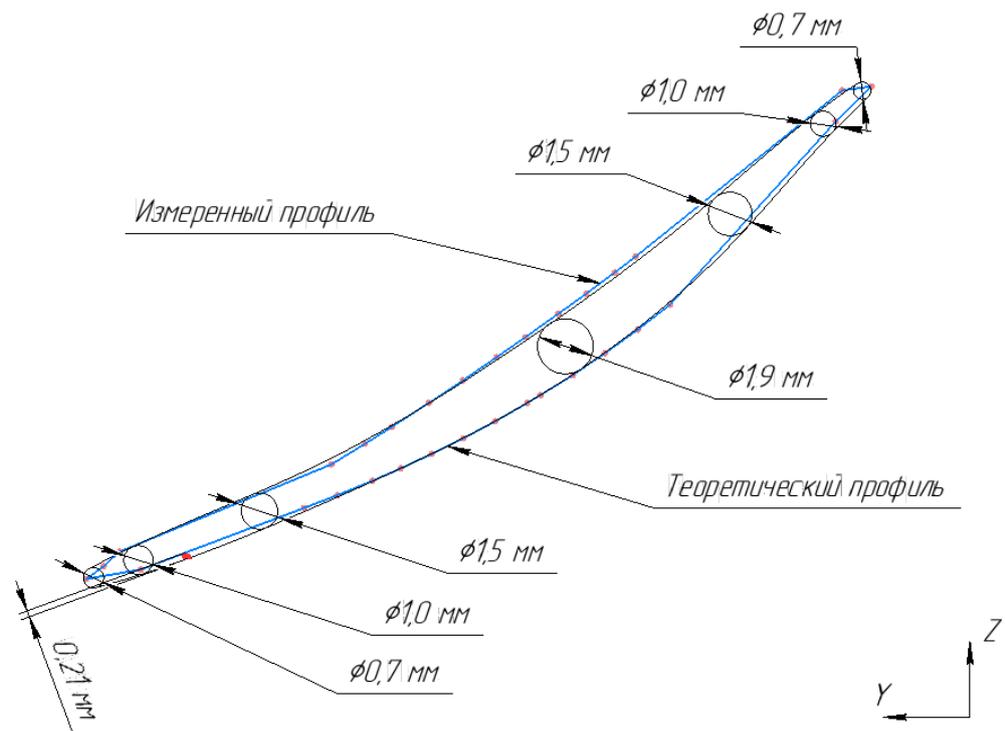


Рис.3. Сравнение измеренного и теоретического профилей при проведении измерений с помощью прижимов

Базирование в тисках является простым и быстрым способом базирования лопаток при измерении различными средствами измерения. Универсальность данного метода меньше по сравнению с тисками, но в тисках измеряются лопатки разных габаритов. Недостатком данного метода являются возможные деформации хвостовика, перекосы от закрепления и сложность привязки системы координат из-за ограниченного доступа к поверхностям хвостовика.

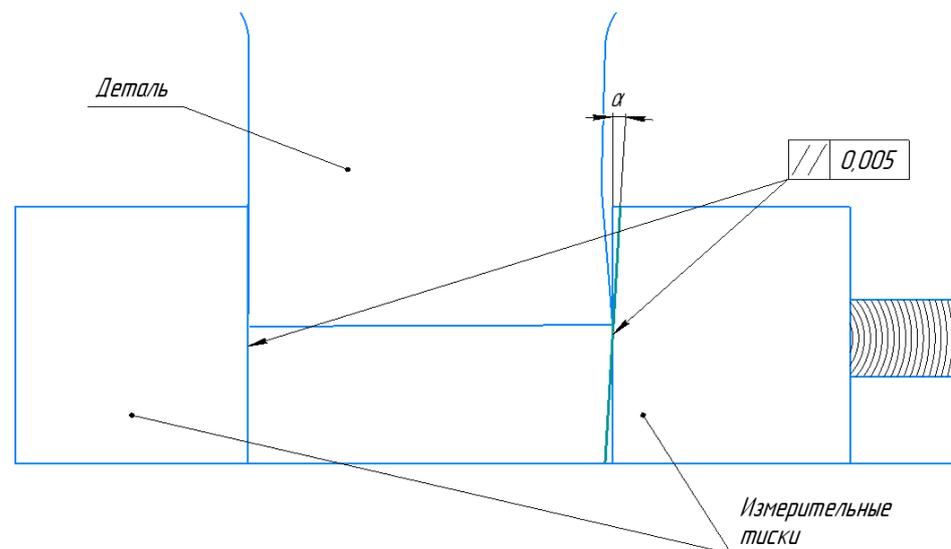


Рис. 4. Чертеж тисков

Погрешность при базировании в тисках определяется допуском на параллельность самих тисков. Различные тиски имеют допуски от $0,002 \text{ мм}$ до $0,005 \text{ мм}$. С помощью геометрических построений проведем расчет погрешности (рисунок 5).

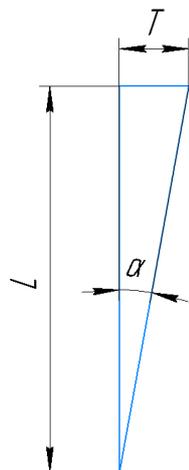


Рис. 5. Схема расчета погрешности перекоса

Из треугольника на пояснительной схеме следует, что тангенс угла определяется по формуле(4):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{T}{L} = \frac{0,005}{25} = 0,0002, \quad (4)$$

где T— допуск на параллельность поверхности тисков;
L—высота рабочей поверхности тисков.

Вычислим угол перекоса:

$$\alpha = \operatorname{arctg}(0,0002) = 0,01^{\circ}, \quad (5)$$

При установке детали в тиски максимальный перекоос будет соответствовать Δ, как показана на рисунке 6:

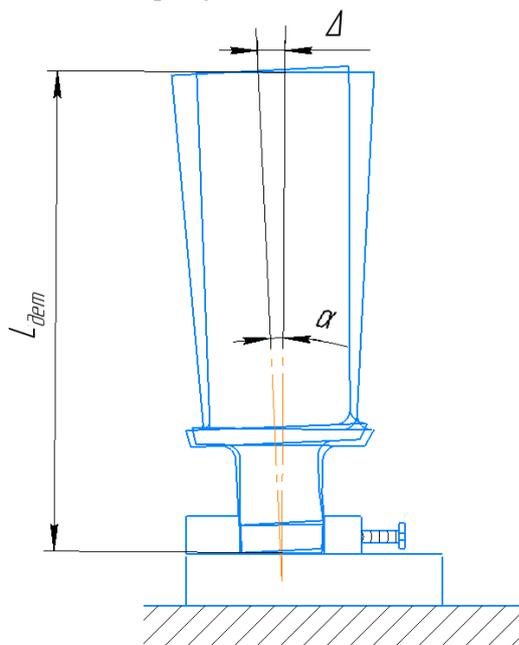


Рис. 6. Схема перекоса детали в тисках

Из данной схемы следует, что максимальная перекоса детали при базировании в

тисках будет определяться по формуле (6):

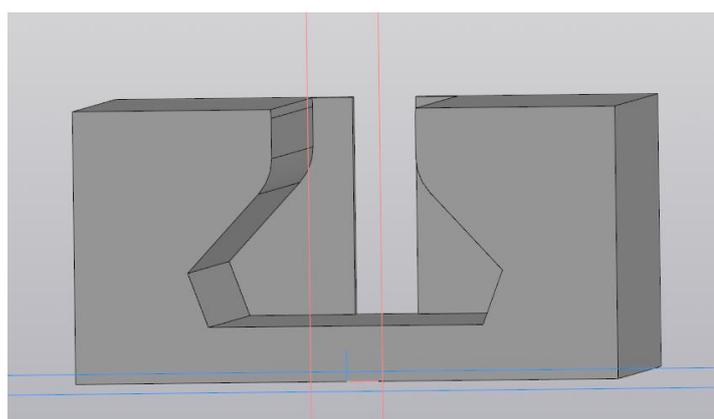
$$\Delta = L_{\text{дет}} \cdot \operatorname{tg}(\alpha) = 67 \text{ мм} \cdot \operatorname{tg}(0,01^\circ) = 0,012 \text{ мм} = 12 \text{ мкм}. \quad (6)$$

где $L_{\text{дет}}$ — длина устанавливаемой в тиски детали.

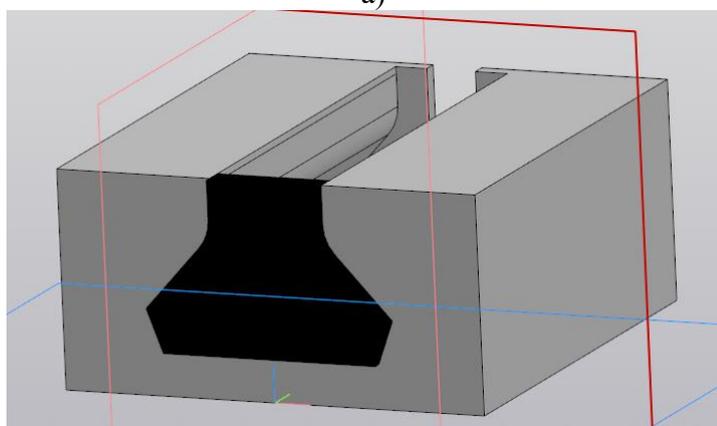
Данный расчёт справедлив для тисков с разным уровнем точности и деталей разной длины. Однако, помимо погрешности тисков существует и погрешность хвостовика лопатки, поведение которой теоретически посчитать не представляется возможным.

Базирование в оснастке, повторяющей геометрию хвостовика самый трудоёмкий метод, так как под лопатки разных габаритов нужна оснастка разных размеров, а сам процесс изготовления подобной оснастки нельзя назвать простым. Но, с другой стороны, для данной оснастки можно задавать любые требования по точности, выбирать различные материалы и назначать дополнительные параметры, которые расширят её функционал.

Была разработана 3D модель оснастки и сборки оснастки с заглушкой, представленный на рисунке 7.а, 7.б, и чертеж оснастки для исследуемой лопатки, представленный на рисунке 8. Оснастка была усовершенствована путем добавления стенки с выемкой и заглушки, которые позволят исключить качание лопатки в оснастке по оси Z. Заданы допуски на линейные размеры, отклонения формы и расположения. Дополнительно введены допуски плоскостности и параллельности на наружные поверхности для упрощения привязки системы координат при проведении измерений на координатно-измерительной машине. В дальнейшем будет проведена экспериментальная оценка погрешности.



а)



б)

Рис. 7.а .3D модель оснастки,
7.б. Сборка оснастки с заглушкой

