

ГЛУБИННОЕ ШЛИФОВАНИЕ ХВОСТОВИКОВ И БАНДАЖНЫХ ПОЛОК РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ

*А.Я. Качан, д-р техн. наук, А.В. Богуслаев, канд. техн. наук, В.Ф. Мозговой, канд. техн. наук,
ОАО «Мотор Сич»,*

О.В. Алексеенко, Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. Обеспечение высоких показателей надежности и ресурса ГТД является актуальной задачей современного авиадвигателестроения, поскольку они в основном определяют надежность и безопасность полетов летательных аппаратов. В то же время ресурс и надежность ГТД определяется в большей степени надежностью и ресурсом рабочих лопаток турбины, которые в процессе эксплуатации испытывают значительные термодинамические нагрузки. Поэтому обеспечение высокого качества их изготовления также является важной и актуальной задачей.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. Одним из методов обработки, который применяется при обработке хвостовиков и бандажных полок рабочих лопаток турбины и обеспечивает высокие требования к их качеству, является глубинное шлифование или шлифование с ползучей подачей [1, 2].

Глубинное шлифование в последнее время получило широкое распространение [3, 4]. Однако в литературных источниках отсутствует информация о систематизации и классификации схем обработки глубинного шлифования при обработке различных поверхностей рабочих лопаток турбины, что несколько сдерживает дальнейшее его широкое распространение.

Качество изготовления рабочих лопаток турбины из жаропрочных никелевых сплавов определяется качеством обработки их хвостовиков и бандажных полок глубинным шлифованием, которое при этом необходимо выполнять при рациональных

технологических условиях и режимах обработки, определяемых, как правило, экспериментально.

Цель исследований. Целью исследований являлась систематизация, анализ и классификация технологических операций, выполняемых глубинным шлифованием при изготовлении рабочих лопаток турбины, а также экспериментальное определение параметров качества при формообразовании их хвостиков данным методом.

Результаты исследований. Систематизация и анализ технологических операций, выполняемых глубинным шлифованием, показали, что наибольшее распространение оно получило как при обработке отдельных плоских поверхностей, так и пересекающихся под различными углами, а также сложнопрофильных поверхностей (табл. 1).

Наиболее эффективно применение глубинного шлифования для формообразования сложнопрофильных поверхностей хвостовиков и бандажных полок.

Технология глубинного шлифования позволяет:

- повысить концентрацию технологических операций и за счет этого исключить отрицательное влияние технологической наследственности каждой из заменяемых операций;
- повысить точность взаимного расположения различных участков сложнопрофильных поверхностей, их формы и геометрических параметров;
- повысить стабильность параметров качества поверхностного слоя;
- сократить трудоемкость изготовления лопаток;
- обеспечить полную автоматизацию цикла обработки.

Классификация схем обработки хвостовиков и бандажных полок лопаток турбины методом глубинного шлифования

Класс	Вид обрабатываемой поверхности	Схема обработки
1	Плоскость	
2	Пересекающиеся плоские поверхности	
3	Сложно-профильные поверхности	

Результаты экспериментальных исследований глубинного шлифования подтверждают высокое значение параметров качества поверхностного слоя сложнопрофильных поверхностей хвостовиков лопаток турбины из жаропрочных сплавов с равноосной кристаллической структурой марок ЖС6К и ЖС6У-ВИ после их обработки.

Формообразование «ёлочного» профиля хвостовика проводилось высокопористыми абразивными кругами 25A10ПЗИ2912K5KØ40 и 25A16ПЗИ3312K5KØ40 соответственно с порооб-

разующими наполнителями в виде фруктовых косточек на станках модели SS013L и ЛШ-220 с охлаждением зоны обработки синтетической жидкостью «АКВОЛ-2» (1,5%-й водный раствор) за три прохода (табл. 2, 3).

Точность обработки - по 8 ... 10 квалитетам.

Шероховатость поверхностей хвостовика лопаток турбины после глубинного шлифования не превышает $R_a = 0,8 \dots 1,2$ мкм.

В поверхностном слое «ёлочного» профиля хвостовиков стабильно формируются остаточные напряжения сжатия (рис. 1).

Таблица 2

Режимы глубинного шлифования «ёлочного» профиля хвостовика лопаток турбины из сплава ЖС6К

Число проходов	Скорость круга V_k , м/с	Скорость детали V_d , мм/мин	Глубина резания t , мм	Съем при циклической правке, мм	Время выхаживания $T_{пр}$, с	Скорость правящего ролика V_p , м/с	Направление шлифования
I проход	25	95 ... 105	1,3	0,2	1	20	попутное
II проход	25	130	0,15	0,2	3	20	попутное
III проход	27	200	0,05	—	—	—	попутное

Таблица 3

Режимы глубинного шлифования «ёлочного» профиля хвостовика лопаток турбины из сплава ЖС6У-ВИ

Число проходов	Скорость круга V_k , м/с	Скорость детали V_d , мм/мин	Глубина резания t , мм	Направлен. правки $S_{пр}$, мкм/об.кр	Скорость правящего ролика V_p , м/с	Направление шлифования
I проход	25	60 ... 75	3,5	0,5	18	попутное
II проход	25	110 ... 130	0,45	0,3	18	попутное
III проход	27	150	0,05	—	—	попутное

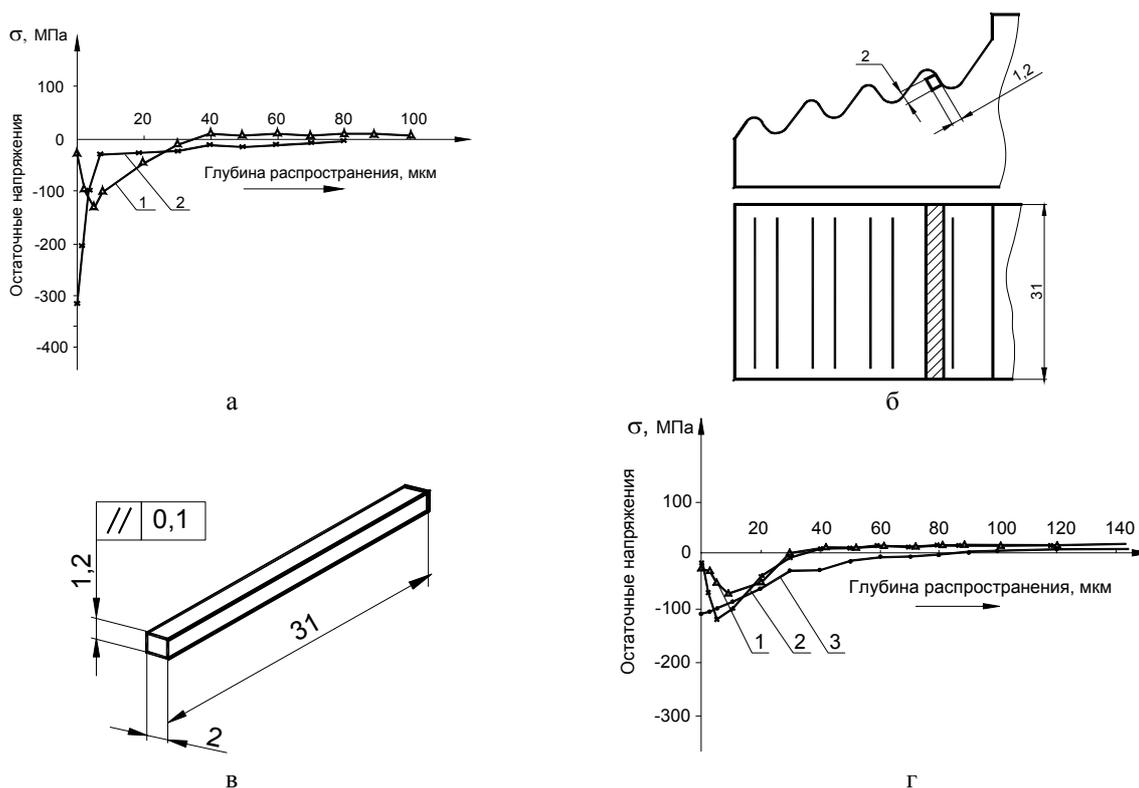


Рис. 1. Эпюры распределения остаточных напряжений в поверхностном слое «ёлочного» профиля хвостовика после глубинного шлифования:

а– материал ЖС6К, инструмент – 25A10ПЗИ2912K5KØ40, станок – модель SS013L;

б– схема вырезки образцов для исследования остаточных напряжений в поверхностном слое;

в – образец для определения остаточных напряжений;

г – материал ЖС6У – ВИ, инструмент – 25A16ПЗИ3312K5KØ40,

1, 2, 3 – обрабатываемые лопатки

Максимальная величина остаточных напряжений сжатия для материала ЖС6К находится в диапазоне от 150 до 300 МПа, а для ЖС6У-ВИ – в пределах от 75 до 125 МПа.

Глубина распространения сжимающих напряжений в поверхностном слое «ёлочного» профиля – в интервале 40 ... 80 мкм.

Максимальная величина степени наклепа – 5 ... 12%.

Глубина наклепанного слоя – 0,03 ... 0,04 мм.

Трещины и прижоги на обработанных поверхностях профиля после глубинного шлифования не выявлены.

Трудоемкость обработки одной детали снизилась на 30 ... 40% по сравнению с обработкой резанием лезвийным инструментом.

Производительность обработки повысилась в 2 ... 2,5 раза.

Металлографические исследования поверхностного слоя у поверхности елочных выступов и в удаленных зонах хвостовиков лопаток турбины из сплавов ЖС6К и ЖС6У – ВИ показали, что их микроструктура стабильна и в процессе шлифования не изменяется и представляет собой твердый раствор с карбидным интерметаллидным упрочнением (рис. 2, 3).

Глубинное шлифование поверхностей хвостовиков лопаток турбины по сравнению с формообразованием этих поверхностей резанием повышает предел выносливости на 4,0 ... 7,0 %.

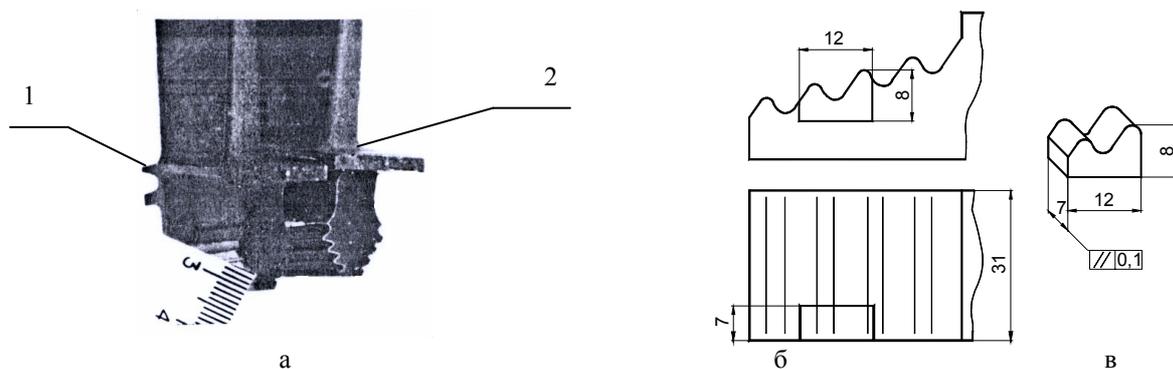


Рис. 2. Рабочие лопатки турбины 2-й ступени изд.Д-36 после глубинного шлифования «ёлочного» профиля хвостовика и схема вырезки образцов для исследования микроструктуры поверхностного слоя:

а – вид на торцы хвостовиков рабочих лопаток 1 и 2 турбин со стороны входных кромок;

б – схема вырезки образцов;

в – образец для исследования микроструктуры поверхностного слоя после глубинного шлифования

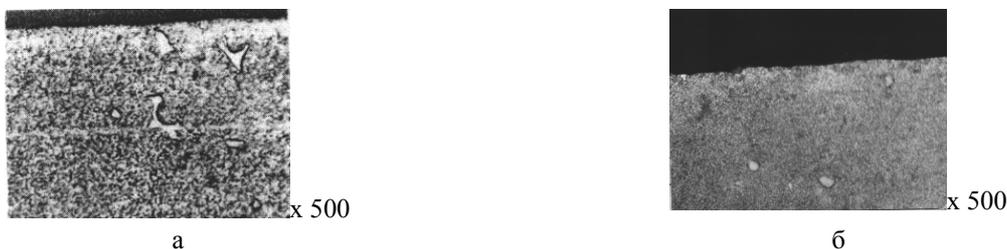


Рис. 3. Микроструктура поверхностного слоя после глубинного шлифования «ёлочного» профиля хвостовиков лопаток турбины 2-й ступени изделия Д-36:

а – лопатка 1 (рис. 2);

б – лопатка 2 (рис. 2)

Перспективы дальнейших исследований. При необходимости дополнительной стабилизации и повышения предела выносливости хвостовиков лопаток турбины после глубинного шлифования выполняют стабилизирующую термообработку с последующим поверхностным упрочнением.

Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния технологической наследственности сочетания глубинного шлифования и различных видов финишной упрочняющей обработки на предел выносливости рабочих лопаток турбины в целях определения наиболее рационального.

Выводы. Полученные результаты позволяют более целенаправленно применять глубинное шлифование при обработке различных поверхностей конструктивных элементов рабочих лопаток турбины, а также более рационально устанавливать технологические условия и режимы обработки, обеспечивающие высокое качество при изготовлении данных деталей из жаропрочных никелевых сплавов.

Литература

1. Andrew C., Howes T.D., Pearce T.R. Greep Feed Grinding.– London; New York; Sydney: Toronto, 1985. –268 p.
2. Глубинное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов / С.С. Силин, В.А. Хрульков, А.В. Лобанов, И.С. Рыкунов.– М.: Машиностроение, 1984.– 64 с.
3. Кирчанов В.П., Макаров В.Ф., Доронин Ю.В. Особенности глубинного шлифования деталей из литейных жаропрочных никелевых сплавов // СТИН.– 1994.– С. 34-37.
4. Елисеев Ю.С. Глубинное шлифование в производстве лопаток турбин двигателя // Авиационная промышленность.– 2000.–№1.– С. 38-40.

Поступила в редакцию 15.05.03

Рецензенты: канд. техн. наук, ст. науч. сотр., вед. инж.-технолог В.М. Мигунов, ОАО «Мотор Сич», г. Запорожье; д-р техн. наук, зав. каф. «Технология производства авиадвигателей», профессор А.И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», г. Харьков.