

Кондратюк Э.В., Леонтьев В.А., Шуриша А.В., Величко С.И., Довгаль В.А.

Государственное предприятие «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «ПРОГРЕСС» им. академика А.Г.Ивченко, Запорожье, Украина

ПРОФИЛЬНОЕ ГЛУБИННОЕ ШЛИФОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТУРБИН ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассмотрены разработка технологического процесса и установление оптимальных значений режимов обработки при профильном глубинном шлифовании высокоскоростными кругами фирмы «Tyrolit» жаропрочных сплавов ЖС6У-ВИ, ЖС32-ВИ, ЖС26-ВИ.

Ключевые слова: технологический процесс; турбина; лопатка; сектор; шлифование; режим; шлифовальный круг; точность; шероховатость; поверхностный слой.

Цель работы

Разработка технологического процесса и установление оптимальных значений режимов обработки при профильном глубинном шлифовании высокоскоростными кругами фирмы «Tyrolit» жаропрочных сплавов ЖС6У-ВИ, ЖС32-ВИ, ЖС26-ВИ.

На ПП «Ивченко-Прогресс» разработана и внедрена схема профильного глубинного шлифования рабочих лопаток турбины и лопаток сопловых аппаратов (СА) турбины на станке «Mдgerle MFP-50».

В конструкции станка заложена возможность обрабатывать несколько поверхностей не снимая деталь, менять круги, осуществлять непрерывную правку кругов алмазными прецизионными роликами производства ИСМАН (Украина), что значительно позволяет расширить получение профилей любой сложности с высокой степенью точности. Интенсивная промывка круга (380 л/мин) и охлаждение детали позволяют значительно снизить теплообразование при обработке.

В производственных условиях подбор режимов резания выполнялся при обработке рабочих лопаток турбины и лопаток сопловых аппаратов на наиболее массовых операциях технологического процесса.

Для обработки лопаток были рекомендованы высокопористые шлифовальные круги фирмы Tyrolit серии Strato Ultra 300xHx72,6 SU33A 542 GG11 VB1, где

- H – высота круга;
- 33A – тип абразивного зерна;
- 54 – зернистость по FEPA;
- 2 – обозначение зернистости смеси;
- GG – степень пористости;
- 11 – структура круга;
- VB1 – тип связки.

Критерием для оценки правильности подобранных режимов выбраны следующие характеристики:

- получение заданной шероховатости;
- предельные отклонения геометрических размеров на соответствие чертежу;
- получение формы поверхности;
- обеспечение стабильной геометрии инструмента, что для профильного шлифования лопаток сопловых аппаратов в связи с большой длиной дуги контакта, изменяющихся условий формообразования, постоянство параметров геометрии рабочей поверхности круга на протяжении всего процесса особенно актуально.

Технологический процесс обработки секторов СА турбины высокого давления (ТВД), материал ЖС6У-ВИ, составлен таким образом, что сектор обрабатывается за две установки. При первой установке обрабатываются поверхности со стороны выходной кромки, при второй установке – поверхности со стороны входной кромки (рис. 1).

Максимальная величина снимаемого припуска составляет 3,5 мм, максимальная ширина обрабатываемой поверхности – 15 мм. Выбранные режимы обработки сведены в таблице 1.

Особый интерес представляет обработка канавок для уплотнений (рис. 1), так как процесс формообразования требует одновременного перемещения круга и стола станка по двум координатам. В контакте с деталью находится три поверхности круга. Обработка велась эльборовыми (CBN) кругами шириной 2 мм на металлической основе при скорости $V_{кр.} = 45$ м/с, попутной подачи $S = 39$ мм/мин. За стойкость круга принимается износ режущей кромки круга до получения шероховатости $R_{max} = 0,3$ мм. Одним кругом обрабатывается до 55 секторов. Шероховатость обрабатываемой

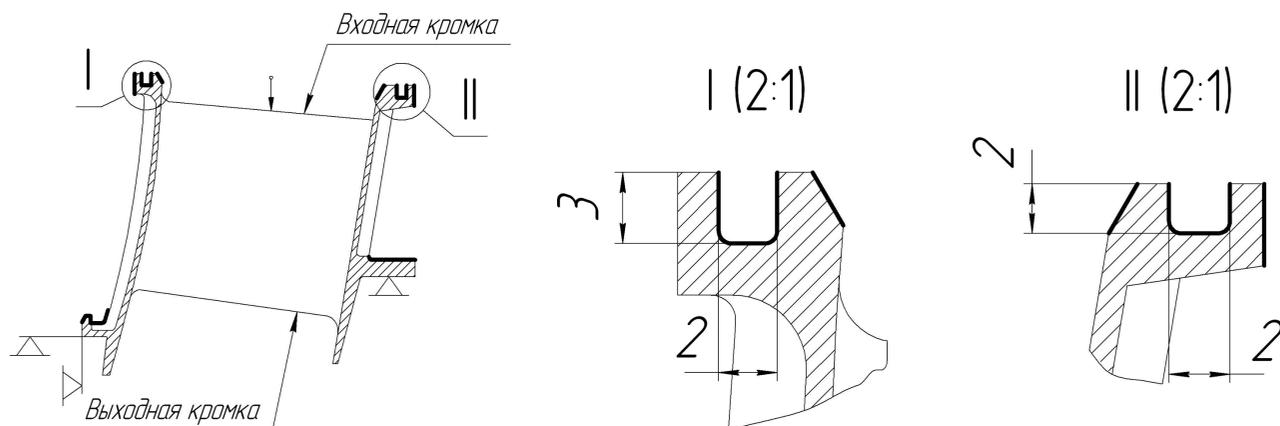


Рис. 1. Обработка со стороны входной кромки

Режимы обработки сектора СА ТВД

Таблица 1

Проход	Скорость круга $V_{кр.}$, м/с	Подача S , мм/мин	Снимаемый припуск, мм	Скорость подачи на правку, мкм/об	Соотношение скоростей ролик/круг
черновой	18...20	350–400	1...1,5	0,4...0,6	0,8
получистовой	20	400–450	0,3...0,5	0,3–0,4	0,8
чистовой	25	500–1000	0,025–0,05	0...0,1	0,4...0,8

мых поверхностей соответствует 7...8 классу шероховатости.

Контроль геометрических параметров обработанных поверхностей СА ТВД осуществляется двумя способами на координатно-измерительной машине «Wenzel» и специальной технологической оснасткой, разработанной для удобства пользования оператором,

при этом деталь с паллеты станка не снимается. Линейные размеры проверялись универсальными средствами. Контроль микротрещин на обработанной поверхности осуществлялся методом ЛЮМ 1-ОВ.

Технологический процесс обработки рабочей лопатки турбины среднего давления (ТСД), материал ЖС26-ВИ, исходя из конструктивных особен-

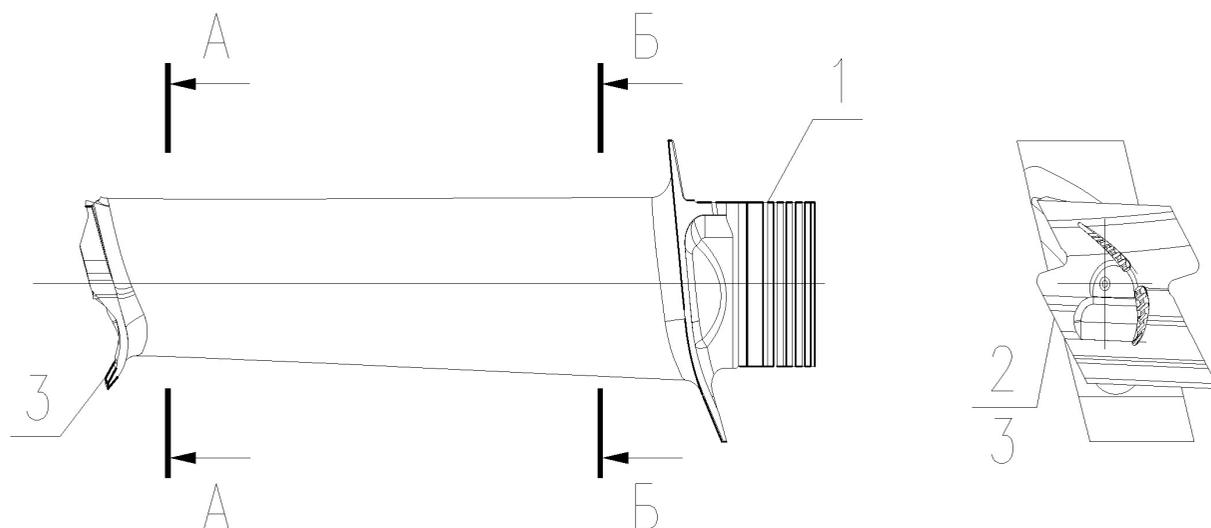


Рис. 2. Схема обработки рабочей лопатки ТСД

1-я установка – окончательная обработка елочного профиля, плоских поверхностей торцов и полок хвостовика;

2-я установка – предварительная обработка «зигзовых» поверхностей бандажной полки под пайку пластин;

3-я установка – окончательная обработка «зигзовых» поверхностей и радиальных поверхностей бандажной полки и полки хвостовика.

стей, был построен таким образом, что все поверхности обрабатываются за три установки (рис. 2).

Для обеспечения точности обработки и возможности максимально обрабатываемых поверхностей за одну установку одним кругом за технологическую базу при первой операции выбрали предварительно обработанные сечения профиля пера (сеч. А—А, Б—Б). Для второй и третьей операций базами служат елочный профиль хвостовика, базовый торец и центровочное отверстие.

При обработке хвостовика (рис. 3) шаг снимаемый припуск за один проход составляет 2,7 мм. Елочный профиль лопатки обрабатывался за 2 цикла. Точное позиционирование станка позволяет обрабатывать хвостовик с переворотом на 180°. Полное формообразование профиля выполнено за 6 проходов (таблица 2). При выполнении данной операции важным является обеспечение гарантированного равномерного припуска по поверхности «ёлки» и в итоге получение сжимающих напряжений (глубиной залегания 25..50 мкм).

Шероховатость обработанных поверхностей соответствует седьмому классу шероховатости. Назначенные режимы шлифования обеспечивают высокую производительность и требуемое качество обработки (таблица 3).

Обработка конструктивных элементов рабочих лопаток ТВД (материал ЖС32-ВИ) осуществлялась за четыре установки. Причем хвостовик обрабатывается предварительно и окончательно из-за наличия комплексного защитного покрытия внутренней и наружной поверхности пера лопатки. После механической обработки выполняется ста-

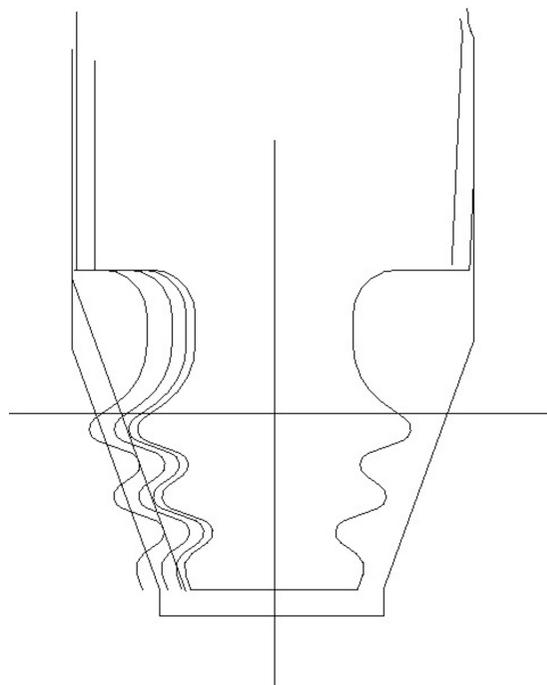


Рис. 3. Схема снимаемых припусков по «ёлке» хвостовика

билизирующий отжиг и поверхностное упрочнение для повышения предела выносливости хвостовиков лопаток. Режимы шлифования приведены в таблице 4.

Шероховатость обработанных поверхностей соответствует седьмому классу. Трещины и прижоги на обработанных поверхностях не наблюдались. Трудоемкость обработки снизилась на 30–40 % по сравнению с традиционной технологией.

Режимы обработки «ёлки» хвостовика р.л. ТВД

Таблица 2

Проход	Скорость круга $V_{кр}$, м/с	Подача S , мм/мин	Снимаемый припуск за проход, мм	Скорость подачи на правку, мкм/об	Соотношение скоростей ролик/круг
1	20	700	2	0,12	0,8
2	20	400	2,7	0,7	0,8
3	20	400	0,8	0,7	0,8
4	20	500	0,3	0,8	0,8
5	25	600	0,18	0,3	0,8
6	25	500	0,02	0	0

Режимы обработки не «елочных» поверхностей р.л. ТВД

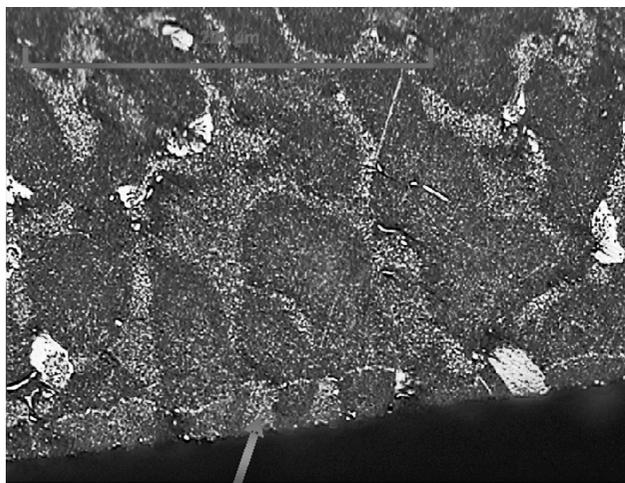
Таблица 3

Проход	Скорость круга $V_{кр}$, м/с	Подача S , мм/мин	Снимаемый припуск, мм	Скорость подачи на правку, мкм/об	Соотношение скоростей ролик/круг
черновой	20	350–400	2,7–0,7	0,2–0,4	0,8–1,0
получистовой	20	400–600	0,7–0,3	0,3–0,5	0,8
чистовой	25	600–700	0,05–0,025	0	0

Режимы обработки р.л. ТВД

Проход	Скорость круга $V_{кр.}$, м/с	Подача S , мм/мин	Снимаемый припуск за проход, мм	Скорость подачи на правку, мкм/об	Соотношение скоростей ролик/круг
черновой	20	250–400	3–1	0,1–0,3	0,8
получистовой	20	400–500	1–0,2	0,3–0,4	0,8
чистовой	25	500–700	0,05–0,025	0	0

Микроисследование, выполненное на оптическом микроскопе OLYMPUS IX70 при увеличениях $\times 200$ – 500 , показало, что по профилю зубьев хвостовика: на рабочих, нерабочих поверхностях, на вершинах и впадинах зубьев, имеется сплошная «рубашка» рекристаллизованных зерен глубиной $0,010...0,030$ мм (рис. 4).



рекристаллизация

Рис. 4. Состояние поверхностей зубьев хвостовика

Кроме установленных режимов резания была выведена зависимость для подсчета количества обрабатываемых деталей одним кругом:

$$a = \frac{\frac{\pi D_{\max}^2 - \pi D_{\min}^2}{4}}{\frac{\pi D_i}{4} - \frac{\pi D (i+1)^2}{4}}$$

где D_{\max} – максимальный диаметр круга,
 D_{\min} – минимальный диаметр круга,
 D_i – диаметр круга после правки,
 a – кол-во обработанных деталей.

В процессе выполнения работ были установлены следующие закономерности:

- при увеличении подачи шлифовальный круг действует мягче, так как нагрузка на отдельное

зерно увеличивается и соответственно повышается хрупкость зерна. То же происходит при увеличении скорости подачи обрабатываемой детали.

- при увеличении скорости резания круга шлифовальный круг действует жестче, в связи с тем, что нагрузка на отдельное зерно становится ниже.

Жесткий круг может стать причиной появления прижогов на обрабатываемых поверхностях. Слишком мягкий шлифовальный круг не обеспечит необходимую чистоту и форму поверхности. Чтобы достичь нужного качества обработки при задании режимов резания необходимо учитывать все вышеперечисленные факторы.

Выводы

Полученные результаты позволяют применить высокопористые круги фирмы «Tyrolit» для формообразования сложных поверхностей. Выбранные режимы обеспечивают шероховатость, точность формообразования и физико-химические свойства поверхностного слоя обработанного материала.

Литература:

- [1] Крымов В.В. Производство лопаток газотурбинных двигателей / Крымов В.В., Елисеев Ю.С., Зудин К.И. ; Под. Ред. В.В. Крымова. М. – М. Машиностроение / Машиностроение – Полет, 2002. – 376 с.
- [2] Глубинное шлифование инструментом с повышенной структурностью / [Толканов Е.Г., Рябцев С.А. и др.] // Ритм 30.04.2012.
- [3] Силин С.С. Оптимизация технологии глубинного шлифования / Силин С.С. – М. Машиностроение, 1989.
- [4] Полетаев В.А. Глубинное шлифование лопаток турбин / Полетаев В.А., Волков Д.И. – М. Машиностроение, 2009 – (Библиотека технолога).
- [5] Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД / Богуслаев В.А., Муравченко Ф.М., Жеманюк П.Д. и др. – Запорожье, 2003.

Kondratjuk E.V., Leontjev V.A., Shursha A.V., Velichko S.I., Dovgal V.A.

Zaporozhye Machine-Building Design Bureau Progress State Enterprise named after Academician A. G. Ivchenko. Ukraine, Zaporozhye.

PROFILE DEEP GRINDING TURBINE DETAILS OF GAS TURBINE ENGINE

In the article were considered technological process development and optimal production mode values selection for profile deep grinding of heat-resistant alloys ЖС6У-ВИ, ЖС32-ВИ, ЖС26-ВИ with high-speed disks «Tyrolit».

Keywords: technological process; turbine; blade; sector; grinding; mode; grinding wheel; precision; roughness; blanket.

References

- [1] Krymov V.V. Proizvodstvo lopatok gazoturbinnnykh dvigatelej / Krymov V.V., Eliseev Ju.S., Zudin K.I.; pod. red. V.V. Krymova. M. – M. Mashinostroenie / Mashinostroenie – Polet, 2002. – 376 p. (In Russian)
- [2] Glubinnoe shliphovanie instrumentom s povyshennoj strukturnostju / [Tolkanov E.G., Rjabcev S.A. i dr.] // Ritm 30.04.2012. (In Russian)
- [3] Silin S.S. Optimizacija tekhnologii glubinnogo shliphovanija / Silin S.S.– M. Mashinostroenie, 1989. (In Russian)
- [4] Poletaev V.A. Glubinnoe shliphovanie lopatok turbin / Poletaev V.A., Volkov D.I. – M. Mashinostroenie, 2009 - (Biblioteka tekhnologa). (In Russian)
- [5] Boguslaev V.A. Tekhnologicheskoe obespechenie ekspluatacionnykh harakteristik detalej GTD / Boguslaev V.A., Muravchenko F.M., Zhemanjuk P.D. i dr. - Zaporozhje, 2003. (In Russian)