

А. М. Смыслов, Д. Р. Таминдаров

ООО НПП «Уралавиаиспецтехнология», Уфа
tamindarov@nppuast.ru

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЕ ПОЛИРОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ЛОПАТОК ГТД

Аннотация. В работе представлен обзорный материал, дающий представление о возможности использования метода электролитно-плазменного полирования в технологии изготовления лопаток ГТД.

Финишная обработка поверхности лопаток во многом определяет их качество и, как следствие, эксплуатационную надежность. На финишных операциях изготовления производится доводка профиля пера лопаток до требуемых размеров по контрольным сечениям, формирование профиля кромок и окончательное полирование [1, 2]. По этой причине на большинстве предприятий, занимающихся изготовлением лопаток ГТД, данные операции выполняются вручную полировальными кругами на войлочной основе, накатанными абразивными шлифпорошками и микрошлифпорошками различной зернистости. В связи с высокими требованиями к качеству поверхности ($Ra \leq 0,32 \dots 0,16$ мкм) и точности геометрических форм (до 0,04 мм) [2, 3] данный метод обработки является очень трудоемким и требует высокой квалификации рабочего персонала. Несмотря на широкое распространение, данный метод обработки характеризуется существенными недостатками, которые могут оказывать негативное влияние на эксплуатационные свойства обработанных лопаток. Окончательная обработка полировальными кругами приводит к большой вероятности появления глубоких единичных рисок, которые могут быть неразличимы на фоне общей шероховатости. Кроме этого, на общем фоне шероховатости могут быть не различимы риски, оставленные режущим инструментом на предыдущих операциях изготовления, и следы шаржирования поверхности абразивными зёрнами. К недостаткам ручной полировки можно отнести и сложность получения округлой формы кромок без получения эффекта «огранки». Учитывая сложность выявления на стадии контроля, данные виды дефектов могут стать причиной преждевременного усталостного разрушения лопаток, так как являются концентраторами напряжений.

Применение метода электролитно-плазменного полирования (ЭПП) в дополнение к методу механического полирования может решить обозначенные выше проблемы. В настоящее время метод ЭПП широко используется в различных отраслях машиностроения. Рядом научных коллективов ведутся работы по внедрению метода ЭПП в технологию производства лопаток ГТД из железоникелевых и титановых

сплавов [4, 5]. Метод обработки реализуется погружением обрабатываемых деталей в ванну с нагретым электролитом, при этом к детали прикладывается положительный потенциал величиной порядка 300 В, относительно стенок ванны. В качестве электролита для ЭПП используют водные растворы неорганических солей общей концентрацией не более 5%. В результате выделения джоулева тепла на поверхности детали происходит процесс испарения электролита, что в совокупности с выделением электролизного газа приводит к формированию вокруг обрабатываемой детали парогазовой оболочки (ПГО). Высокая напряженность электрического поля внутри ПГО приводит к эмиссии электронов с поверхности электролита и ионизации входящих в ее состав газов. Попеременное воздействие ионизированных частиц и компонентов электролита на обрабатываемую поверхность приводит к ее интенсивному окислению и растворению окисленного металла при правильном подборе компонентов электролита. Из-за повышенной напряженности электрического поля вблизи микровыступов обрабатываемой поверхности происходит их интенсивное (преимущественное) растворение. Благодаря избирательному механизму растворения металла с поверхности, описанному выше, реализуется процесс снижения шероховатости обрабатываемых деталей (рис. 1, 2), а также процесс округления кромок (рис. 3).

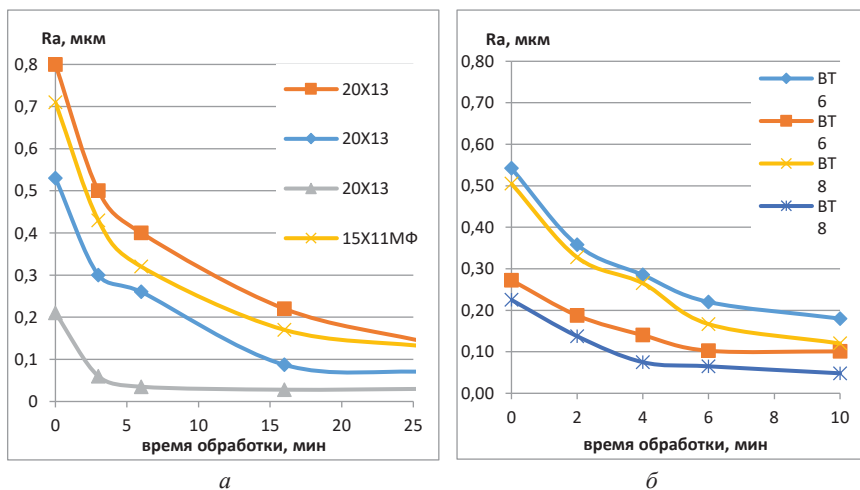


Рисунок 1. Графики изменения шероховатости поверхности в результате ЭПП: *а* — коррозийностойкие стали, *б* — титановые сплавы

Интенсивное снижение шероховатости поверхности идет до тех пор, пока напряженность электрического поля вдоль обрабатываемой поверхности не выровняется, что иллюстрируется формой кривых, описывающих изменение величины шероховатости в зависимости от времени ЭПП (рис. 1). Из графиков видно, что для метода ЭПП характерно достижение минимального значения шероховатости, величина

которого определяется значением исходной шероховатости. Дальнейшее полирование приводит к эквидистантному повторению профиля поверхности с сохранением волнистости, при этом характер изменения шероховатости для деталей из стали и титановых сплавов не отличается. Поверхность после ЭПП характеризуется отсутствием дефектов, характерных для механических способов полировки (рис. 2). В результате ЭПП поверхность приобретает высокую отражательную способность.

Описанные характеристики метода ЭПП позволяют использовать данный метод непосредственно после традиционного формирования профиля корыта и спинки абразивными кругами для получения требуемой шероховатости и геометрии кромок.

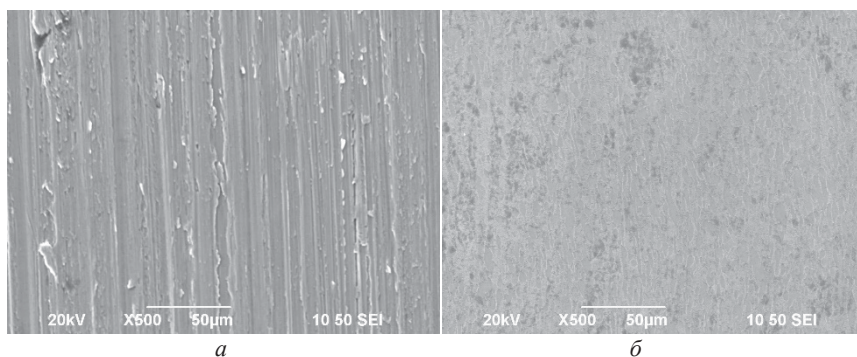


Рисунок 2. Изображение поверхности сплава ВТ6 в отраженных электронах:
a — механическое полирование, *б* — ЭПП

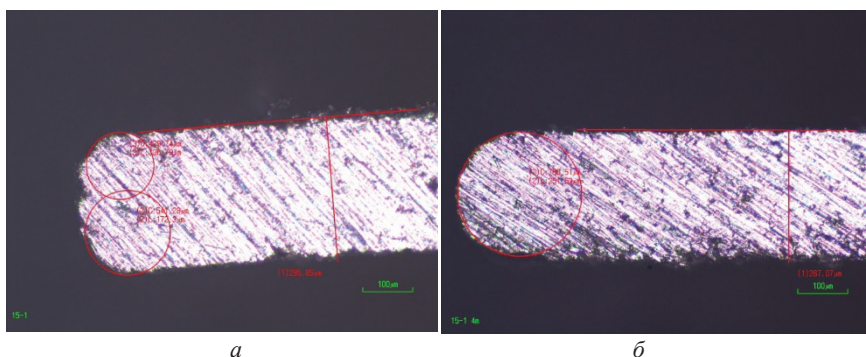


Рисунок 3. Поперечное сечение кромки опытного образца из сплава ВТ6:
a — до ЭПП, *б* — после 4 мин. ЭПП

Глубокие риски, образованные на стадии формирования геометрии профиля лопаток, не могут быть удалены методом ЭПП ввиду особенностей физики процесса,

однако получаемая высокая отражательная способность поверхности способствует выявлению глубоких рисок. Это обстоятельство многократно повышает качество контроля, позволяя вывести риски механически с повторным проведением процесса ЭПП.

Литература

1. *Жуплов М. В., Яковлев М. Г.* Современные проблемы автоматизации финишной обработки пера лопаток авиационных двигателей // Проблемы машиностроения и автоматизации. № 1. 2011. С. 132–138.
2. *Макаров В. Ф., Бычина Е. Н.* Оптимизация процесса полирования лопаток газотурбинных двигателей из титановых сплавов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии № 4/3 (288). 2011. С. 41–47.
3. Отраслевой стандарт 1 02571–86. Лопатки компрессоров и турбин. Предельные отклонения размеров, формы и расположения пера.
4. *Смыслов А. М., Таминдаров Д. Р., Мингажев А. Д., Смылова М. К., Самаркина А. Б.* Пат. Российская Федерация № 2 552 203 С25F 3/16. Способ полирования деталей из титановых сплавов. Оpubл. 2015, бюл. № 16.
5. *Ерочкин Г. М., Ерочкин М. П., Афанасов С. А., Тугов С. Н., Козулин С. В., Герасимова Л. А., Плешкун В. В.* Пат. Российская Федерация № 2 765 553 С1. Способ электролитно-плазменного полирования деталей из жаропрочных сплавов. Оpubл. 2022, бюл. № 4.