

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК СТРУЙНОЙ ФОКУСИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Попов А.И., Радкевич М.М, Кудрявцев В.Н. (СПбПУ, г. Санкт-Петербург, Россия)
Тел./Факс: (812) 552-93-02; E-mail: mmftkm@eandex.ru

Abstract: *This technology may use for processing the surfaces of the blades of the turbine by method focused electrolyte- plazma processing. These technological possibilities of the process focused electrolyte- plazma processing use for heat-resistant stainless steel 20X13. The expenseses to energy on realization of the process focused electrolyte- plazma processing far less. The process passes under low temperature and does not bring about structured change to material, does not change microhardness of the surface layer. This processing allows to reduce the roughness surface layer and reduce inaccuracy to geometries of the product, which there is when processing by submersion. The process has a possibility to automations.*

Keywords: *focused electrolyte-plazma processing, heat-resistant steel, microhardness, roughness, temperature.*

Переход промышленности России к следующему седьмому технологическому укладу, в основе которого лежат роботостроение и нанотехнологии невозможен без создания инновационных продуктов в этой области [1]. Одним из таких продуктов, охватывающим оба направления, является технология фокусированной струйной электролитно-плазменной обработки для формирования поверхности турбинных лопаток [2].

Турбинные лопатки являются одним из самых сложных и дорогостоящих элементов современной турбины. Достижение КПД и надежности турбины во много связано с материалами, формой, и точностью геометрических параметров применяемых турбинных лопаток. Получение высокой точности геометрического профиля с заданным уровнем шероховатости при обработке высоко и жаропрочных труднообрабатываемых материалов является сложной технологической задачей.

Снижение общей стоимости изготовления турбинных лопаток является одной из основных задач современного турбинного производства. Не смотря на отдельные случаи применения шлифовальных роботизированных комплексов, на ведущих предприятиях отрасли из-за сложности формы лопаток остается значительный объем ручных шлифовальных работ. Альтернативным видом технологии обработки лопаток на шлифовальных роботизированных комплексах является обработка поверхности изделия плазмой в электролите, при этом с поверхности удаляются микронеровности, которые остаются после процесса шлифования и могут работать как концентраторы напряжения, приводя к разрушению лопатки[3].

Технология электролитно-плазменной обработки позволяет резко снизить число микронеровностей на поверхности и тем самым повысить надежность каждой отдельной лопатки, а значит и турбины в целом. Данный вид обработки является значительно менее энергетически затратным, более точным и более экологически чистым [4].

Поэтому целью нашей работы является исследование основных технологических параметров струйной фокусированной электролитно-плазменной обработки, позволяющей в промышленных условиях применить технологию обработки профиля лопаток паровых турбин.

Анализ литературных данных [5, 6] и проведенных экспериментов показал, что одним из существенных преимуществ метода струйной фокусированной элек-

тролитно-плазменной обработки по сравнению с погружением детали является формирование в локальном месте зоны объемного плазменного разряда с повышенной плотностью тока на поверхности. Технологическая возможность создавать высокую плотность до 7 А/см^2 [7] имеется и при обработке погружением. Однако в этом случае это, как правило, ведет к нарушению геометрических параметров изделия по длине [8], в связи с чем на погруженной нижней части изделия происходит значительно более сильная размерная обработка детали, чем в зоне близкой к поверхности. Еще одним существенным недостатком обработки детали в ванне является визуально контролируемое нарушение геометрических параметров лопаток в зоне утонений пера, острых углов, и увеличение радиуса выходных кромок, даже при соблюдении равномерности по глубине, что связано с более высоким зарядом на выступах и острых кромках.

Переход лопаток от обработки погружением к переменному формированию локальных зон обработки на поверхности приводит к управляемой обработке и повышению точности профиля лопатки в особенности на кромках и поверхностях малых радиусных переходов. Формирование в качестве инструмента в виде узкого фокусированного пучка плазменного шнура малого диаметра направленного к поверхности лопатки позволяет получать большие плотности тока в локальной зоне обработки и активизацию процессов атомарного удаления поверхностных слоев. Данное преимущество позволяет увеличить скорость съема материала с поверхности лопаток, не нарушая геометрических параметров остальной части лопатки. Совмещение при этом параллельных процессов: окисления, ударного взаимодействия отрицательных ионов металла соли с атомами железа и хрома, с активизацией процессов анодного растворения позволяет в короткий промежуток времени удалять поверхностные слои металла, обеспечивая при этом параметр шероховатости менее $Ra 0,4 \text{ мкм}$, что соответствует требованиям конструкторской документации для профилей лопаток [3, 9].

Это в перспективе позволяет рассчитывать на создание управляемого инструмента способного производить несколько видов поверхностной обработки: предварительную размерную обработку, электролитно-плазменное полирование, нанесение функциональных покрытий. Эти суммарные преимущества метода сформировали концепцию технологической возможности применения электролитно-плазменной обработки лопаток паровых турбин.

В процессе работы была разработана физическая модель установки для проведения исследований процесса струйной фокусированной электролитно-плазменной обработки. Данная модель позволяет исследовать параметры процесса струйной фокусированной электролитно-плазменной обработки. Максимальная затрачиваемая мощность установки для струйной фокусированной обработки на формирование разряда достигает 2000 Вт по сравнению с 2000 кВт [9] для обработки группы лопаток в ванне.

В результате исследований получена вольт - амперная характеристика процесса, имеющая несколько участков: кривая подъема разрядного тока соответствующая анодному растворению подчиняющемуся закону Фарадея, двумя ниспадающими участками коммутации [10] и двумя участками стабилизации по току.

Показано, что поверхностный плазменный разряд возникает в области напряжений от $180\text{-}230 \text{ В}$. И объемный плазменный разряд возникает в диапазоне напряжений $230\text{-}500 \text{ В}$.

Отмечено, что процесс формирования поверхностного и объемного разряда имеет особенность в виде стекания разряда на поверхность в частности при приближении

катодного модуля к поверхности изделия или отрыве пучка плазмы от поверхности и повторном ее соприкосновении с поверхностью за счет накопленного потенциала заряда (рис.1.).



Рис. 1. Зона электрического пробоя на образце из стали 20X13

Исследование поверхности образцов из лопаточной стали 20X13 в зоне стекания электрического заряда до и после струйной фокусированной электролитно-плазменной обработки позволили выявить блестящие участки округлой формы выглядящие как микрократеры. Данные микрократеры образуются в результате формирования плазменной дуги между электродами.

В связи с этим предложено было исследовать микротвердость поверхности до обработки, после обработки и микротвердость зоны пробоя. Исследования проводились с использованием микротвердомера ПМТ-3. Было оценено влияние процесса струйной электролитно-плазменной обработки на микротвердость поверхностных слоев образца из стали 20X13.

Исследование показывает, что после струйной фокусированной электролитно-плазменной обработки микротвердость поверхностного слоя не изменяется и остается в пределах разброса значений микротвердости до обработки. Значительное увеличение микротвердости поверхностного слоя наблюдается в случае электрического пробоя. При этом для стали 20X13 увеличение микротвердости достигает по сравнению с исходной 56-89%, что говорит о термическом упрочнении поверхностных слоев стали за счет быстрого локального нагрева и охлаждения.

Оценка шероховатости поверхностного слоя прибором определения шероховатости «MarSurf PS1» позволила зафиксировать снижение шероховатости при струйной фокусированной электролитно - плазменной обработке в 2,5-3 раза.

Исследование температуры анода хромель - алюмелевой термопарой показало, что в процессе обработки изделие не нагревается выше температуры 110°C. В связи с чем в процессе обработки отсутствуют фазовые переходы в поверхности материала, что также подтверждается результатами измерения микротвердости.

Анализ работы экспериментальной установки показывает, что для проведения безопасных работ при струйной фокусированной обработке необходима защита органов дыхания и зрения. Это обусловлено как наличием зоны испарения электролитного раствора с испарением составляющих, так и наличием излучения от объем-

ного плазменного разряда при высоких напряжениях. Анализ апробации данной технологии показал, что данный технологический процесс является значительно менее энергоемким и более экологически чистым, чем обработка в ванне электролита, так как позволяет резко снизить отрицательное воздействие на обслуживающий персонал за счет снижения на несколько порядков площади и объемов используемого электролита.

Выводы:

1. Оценка технологических возможностей и результатов экспериментов позволяет предполагать технологическую возможность применения метода струйной электролитно-плазменной обработки для процесса финишной обработки лопаток паровых турбин.

2. Развитие предлагаемой технологии в целом позволит повысить точность обработки и снизить затраты на технологический процесс получения лопаток паровых турбин.

Список литературы: 1. Надеев А.И., Попова А.И., Сурина А.В., Свечников Ю.К. Принципы построения автоматизированных систем поддержки жизненного цикла инновационных продуктов // Датчики и системы. - 2006. - N 11(90). - С.59-63. 2. Щербаков С.Р., Попов А.И., Кудрявцев В.Н. Исследование вольт-амперной характеристики процесса струйной электролитно-плазменной полировки //Материалы научного форума с междунар. участием «Неделя науки СПбПУ» 30 ноября-5декабря.2015.- с.158 -159 3. Новиков В. И., Попов А. И., Тюхтяев М. И., Зейдан М. Н. Возможности электролитно-плазменного полирования при обработке деталей с различным начальным уровнем шероховатости поверхности// Металлообработка, 1(61)2011 Издательство «Политехника», СПб, С.13. 4. Веселовский А. П., Ушомирская Л. А. Интенсификация технологических процессов изготовления деталей машин при использовании различных видов энергии / Металлообработка. - 2010. - N 2. - С. 46-49. - ISSN 1684-6702 5. Гайсин Ал. Ф., Сон Э.Е. Паровоздушные разряды между струйным электролитическим катодом и металлическим анодом при пониженных давлениях//Теплофизика высоких температур, 2010, том 48, выпуск 3, 470-472. 6. Куликов, И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов/ И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 232 с. – ISBN 978-985-08-1215-5 7. Патент RU 2357019 Способ электролитно-плазменной обработки деталей. 8. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов.– Москва: Техносфера, 2011.– 464 с. 9. Плотников Н. В., Смыслов А. М., Таминдаров Д. Р. К вопросу о модели электролитно-плазменного полирования поверхности // Вестник УГАТУ.– Т.17, № 4 (57).– Уфа: УГАТУ, 2013.– С. 90–95. 10. Дураджи В.Н. Обработка алюминия в электролитной плазме при анодном процессе / В.Н. Дураджи, Д.Е. Капуткин // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т.3, №3. – С. 38-41.