

УДК 669-1

М.К. СМЫСЛОВА¹, Д.Р. ТАМИНДАРОВ², А.Б. САМАРКИНА²¹Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия²ООО «НПП «Уралавиаспецтехнология», Уфа, Россия

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН ИЗ СТАЛИ 20Х13

Работа посвящена изучению влияния электролитно-плазменного полирования лопаток из стали 20Х13 на физико-химическое состояние поверхности. Известно, что эксплуатационные свойства лопаток паровых турбин, такие как предел выносливости и коррозионная стойкость, зависят от многих факторов и в значительной степени определяются физико-химическим состоянием поверхности и ее микро-геометрией, формируемыми на финишных операциях изготовления. Показано, что помимо снижения шероховатости поверхности (до 12 класса), результатом электролитно-плазменного полирования являются: повышение предела усталости, увеличение значения потенциала коррозии, увеличение микротвердости образцов. Наблюдаемые эффекты могут быть объяснены протекающей модификацией поверхности – формированием модифицированного поверхностного слоя с повышенным (по сравнению с основой) содержанием хрома.

Ключевые слова: финишная обработка, электролитно-плазменная полировка, механические свойства.

Введение

Известно, что эксплуатационные свойства лопаток паровых турбин, такие как предел выносливости и коррозионная стойкость, зависят от многих факторов и в значительной степени определяются физико-химическим состоянием поверхности и ее микро-геометрией, формируемыми на финишных операциях изготовления.

Так, основными механизмами разрушения лопаток паровых турбин являются усталостные разрушения, а также усталость в условиях коррозии. Это подтверждено исследованиями большого количества изломов разрушенных лопаток [1]. Очагами разрушения при этом служат микронеровности поверхности, являющиеся концентраторами напряжений, а также коррозионные язвы или питтинги, возникающие преимущественно на участках с низким классом шероховатости в результате действия рабочей среды.

В настоящее время для снижения шероховатости используется механическое, химическое или электрохимическое полирование. Для повышения коррозионной стойкости используется химикотермическая обработка или нанесение защитных покрытий.

Одним из перспективных направлений финишной обработки лопаток паровых турбин является электролитно-плазменная обработка (ЭПО), позво-

ляющая повысить класс шероховатости обрабатываемой поверхности и отличающаяся высокой производительностью.

Целью данной работы является изучение влияния электролитно-плазменной обработки поверхности лопаток паровых турбин на физико-химическое состояние поверхности и механические свойства лопаток.

1. Методика эксперимента

Изучение влияния ЭПО на физико-химическое состояние поверхности и механические свойства проводилось на двух группах цилиндрических образцов из стали 20Х13 (рис. 1), применяемой для изготовления лопаток паровых турбин Ленинградским металлическим заводом. Данная сталь относится к мартенситному классу, обладает оптимальным сочетанием высокой прочностью, пластичности и ударной вязкости [2].

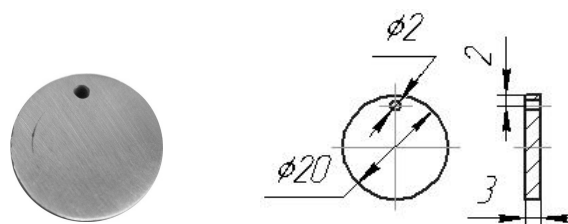


Рис. 1. Внешний вид (а) и эскиз (б) образца

Все образцы прошли термическую обработку: закалка охлаждением в масле ($T = 1080\text{ }^{\circ}\text{C}$), выдержка 60 мин. Отпуск охлаждением на воздухе: $T = 680\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержка 120 мин. Далее образцы были поделены на две группы и прошли следующие стадии обработки:

- механическое полирование до 10-го класса чистоты (Ra от 0,16 до 0,32 мкм) по ГОСТ 2789-85;
- ультразвуковая промывка в водном растворе «Грин-Юниклин» в течение 20 мин;
- промывка в проточной воде;
- сушка в потоке теплого воздуха.

После этого вторая группа образцов была подвержена ЭПО в 5%-м растворе сульфата аммония [3]. Обработка велась при напряжении $U = 280 - 300\text{ В}$ и температуре электролита $\Theta > 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, время обработки 10 мин. Затем образцы промывались в проточной воде и высушивались.

Изменения в поверхностном слое образцов после ЭПО изучали на поперечных шлифах при увеличении 1000-20000х. Исследование проводили на растровом электронном микроскопе JXA-6400 фирмы JEOL (Япония).

Влияние ЭПО на изменение элементного состава поверхности изучали методом вторично-ионной масс-спектропии (ВИМС) на установке «Полюс-4» (МС-7201М).

Для управления экспериментом и обработки результатов измерений использовался универсальный измерительный комплекс на базе персонального компьютера и крейта КАМАК. Полуколичественная оценка результатов ВИМС проводилась методом эталона [4], согласно которому были записаны масс-спектры первой и второй групп образцов в идентичных условиях.

Влияние ЭПО на коррозионные свойства изучали в 3% растворе хлорида натрия с использованием трехэлектродной ячейки, насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения и потенциостата-гальваностата со встроенным АЦП. Скорость развертки потенциала 20 мВ/с. Определение плотностей токов коррозии проводилось с помощью построения поляризационных кривых и экстраполирования линейных участков данных кривых до пересечения их друг с другом.

2. Обсуждение результатов

В нашей предыдущей работе [3] показано положительное влияние ЭПО на шероховатость поверхности и предел выносливости. Усталостные испытания образцов из стали 20Х13, подвергнутых ЭПО, показали повышение предела выносливости образцов на 12% в сравнении с образцами прошедшими механическое полирование.

Измерение потенциала коррозии для образцов первой и второй группы показало, что образцы прошедшие операцию ЭПО характеризуются более положительным значением потенциалов без тока в сравнении с образцами не проходившими ЭПО. Для образцов не проходивших процесс ЭПО потенциал устанавливается на значении $-0,129\text{ В}$, для образцов прошедших ЭПО потенциал устанавливается на значении $-0,042\text{ В}$, что свидетельствует о повышении коррозионной стойкости.

Поляризационные кривые полученные для обеих групп образцов и экстраполирование линейных участков данных кривых до пересечения их друг с другом показаны на рис. 2.

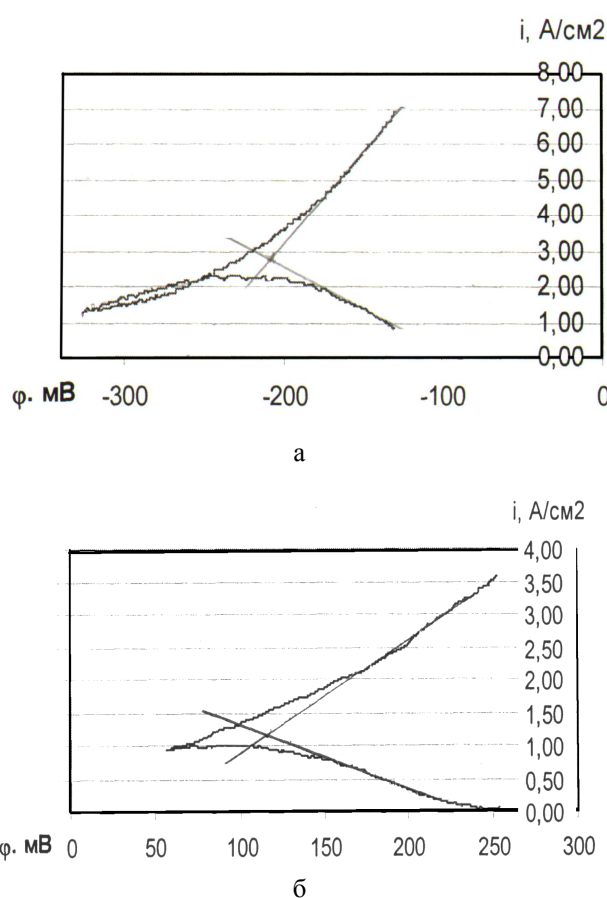


Рис. 2. Поляризационные кривые:
а – образцов не прошедших ЭПО;
б – образцов прошедших ЭПО

Как видно из построенных графиков, для образцов не прошедших операцию ЭПО плотность тока коррозии составляет $2,7\text{ A/cm}^2$, а для образцов прошедших операцию ЭПО плотность тока коррозии составляет $1,25\text{ A/cm}^2$. Таким образом, операция ЭПО позволяет снизить плотность токов коррозии в 2 раза.

Анализ влияния электролитно-плазменной обработки на микротвердость поверхности показал,

что микротвердость поверхности увеличилась на 15%. Микротвердость поверхности образцов без ЭПО и образцов прошедших ЭПО, измеренная при нагрузке 20 г, составила 2200 МПа и 2600 МПа соответственно. Достаточно сильное изменение микротвердости поверхности свидетельствует о произошедших структурных изменениях в поверхностном слое металла.

Изменение химического состава поверхности оценивалось методом вторичной ионной масс-спектрометрии. Исследования показали, что в результате ЭПО происходит увеличение относительного содержания хрома в поверхности относительно основы (железа) (табл. 1, 2).

Таблица 1

Относительная интенсивность пиков для образцов не прошедших операцию ЭПО

Элемент	№ замера					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
Cr	70	75	60	65	70	68
Fe	555	720	640	850	900	733
FeH	75	70	80	90	85	80
FeO	40	45	100	110	130	85

Таблица 2

Относительная интенсивность пиков образцов после ЭПО

Элемент	№ замера					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
Cr	100	120	100	140	155	123
Fe	340	380	390	540	630	456
FeH	35	50	50	50	55	48
FeO	15	20	30	30	40	27

Результаты исследования структуры образцов второй группы при увеличении 20000х представлены на рис. 3. На рисунке имеется зона с более светлым оттенком, свидетельствующая о наличии на поверхности модифицированного слоя толщиной 1,5 – 2,0 мкм с отличным от основы химическим составом.



Рис. 3. Структура модифицированного слоя поверхности после электролитно-плазменной обработки

Заключение

Найдено, что результатом электролитно-плазменного полирования является формирование модифицированного поверхностного слоя толщиной 1,5 – 2,0 мкм с повышенным содержанием хрома, происходит уменьшение плотности тока коррозии, что приводит к увеличению коррозионной стойкости, усталостной прочности – увеличению срока службы лопаток паровых турбин.

Литература

1. Методические указания по предотвращению коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата паровых турбин в зоне фазового перехода: РД 34.30.5007-92. – М.: Минэнерго, 1993. – 110 с.
2. Марочник сталей и сплавов / М.М. Колосков, Е.Т. Долбенко, Ю.В. Каширский и др.; под общей ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001. – 672 с.
3. Таминдаров Д.Р. Особенности способа электролитно-плазменной подготовки поверхности перед напылением. Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки / Д.Р. Таминдаров, А.В. Рева, А.Н. Рамазанов // Материалы 8-й Международной практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – С. 56-60.
4. Методы анализа поверхностей / Под ред. А. Зандерны. – М.: Мир, 1979. – 582 с.

Поступила в редакцию 28.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.М. Смыслов, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия.

**ВПЛИВ ЕЛЕКТРОЛІТНО-ПЛАЗМОВОЇ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНІ
І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛОПАТОК ПАРОВИХ ТУРБІН
ІЗ СТАЛІ 20Х13**

М.К. Смылова, Д.Р. Таминдаров, О.Б. Самаркина

Робота присвячена вивченню впливу електролітно-плазмового полірування лопаток із сталі 20Х13 на фізико-хімічний стан поверхні. Відомо, що експлуатаційні властивості лопаток парових турбін, такі як межа витривалості і корозійна стійкість, залежать від багатьох факторів і в значній мірі визначаються фізико-хімічним станом поверхні та її мікрогеометрією, формованими на фінішних операціях виготовлення. Показано, що крім зниження шорсткості поверхні (до 12 класу), результатом електролітно-плазмового полірування є: підвищення межі втоми, збільшення значення потенціалу корозії, збільшення мікротвердості зразків. Спостережувані ефекти можуть бути пояснені протікає модифікацією поверхні – формуванням модифікованого поверхневого шару з підвищеним (порівняно з основою) вмістом хрому.

Ключові слова: фінішна обробка, електролітно-плазмова полірування, механічні властивості.

**EFFECT OF ELECTROLYTIC-PLASMA TREATMENT ON PHYSICO-CHEMICAL
STATE SURFACE AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEAM TURBINE
BLADES STEEL 20X13**

M.K. Smislova, D.R. Tamindarov, A.B. Samarkina

The paper studies the influence of electrolytic-plasma polishing blades of steel 20X13 on physico-chemical state of the surface. It is known that the performance characteristics of blades pas rovyh turbines, such as fatigue strength and corrosion resistance, depends on many factors and are largely determined by physical and chemical state of the surface and micro-geometry, formed on the finishing operations of manufacturing. It is shown that in addition to reducing the surface roughness (up to grade 12), the result of electrolytic-plasma polishing is-are: increasing the fatigue limit, increasing the corrosion potential, increased micro-hardness of the samples. The observed effects can be attributed to a modification proceeding on the surface - the formation of a modified surface layer with a high (compared to the base) chromium content.

Key words: finishing, electrolytic-plasma polishing, mechanical properties.

Смылова Марина Константиновна – канд. техн. наук, доцент кафедры ОиТСП Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Россия.

Таминдаров Дамир Рамилевич – инженер-технолог ООО «НПП «Уралавиаспецтехнология», Уфа, Россия, e-mail: tamdamir@yandex.ru.

Самаркина Александра Борисовна – канд. хим. наук, инженер-технолог ООО «НПП «Уралавиаспецтехнология», Уфа, Россия, e-mail: samarkinaab@gmail.com.