

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ ЭИ961-Ш  
ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ХРОМИРОВАНИЕМ**  
RESTORATION OF PARTS MADE OF STEEL EI961-SH BY  
ELECTROLYTIC CHROME PLATING

**И. М. Ковенский, С. В. Малыш**

I. M. Kovenski, S. V. Malysh

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень*

*Ключевые слова: восстановление деталей; качество поверхности; термо-эдс;  
хромирование; уровень Ферми*

*Key words: restoration parts; surface quality; thermal - e.m.f.; chrome plating; Fermi level*

В процессе эксплуатации газотурбинных установок, используемых в нефтегазовой промышленности для перекачки газа, происходит износ посадочных поверхностей подшипников, роторов и валов. Восстановление таких деталей связано с рядом особенностей. В частности, ротор турбины, изготовленный из стали ЭИ961-Ш и подверг-

нутый в местах посадки подшипника азотированию на глубину 0,3 мм, вследствие неравномерного износа по поверхности контакта с обоймой подшипника может содержать области с азотированным слоем, без азотированного слоя, с высокопрочненным слоем и т. д. Чаще всего наличие на поверхности деталей областей с различной структурой и составом приводит к отслоению хромовых покрытий от основы [1, 2].

Известно также, что азотированные стальные поверхности малоприспособны для хромирования, которое предусмотрено в технологии ремонта как обеспечивающее максимальную износостойкость поверхности. Поэтому вопрос подготовки поверхности для электролитического хромирования деталей, ранее подвергнутых азотированию, весьма актуален. В то же время эффективные методы контроля поверхности, учитывающие данное обстоятельство, практически не разработаны. В настоящей статье изучено влияние структуры поверхности на качество хромового покрытия, и предложена методика оценки качества подготовки поверхности перед электроосаждением.

Из анализа материалов [3, 4] по определению работы выхода электрона в зависимости от состояния поверхности следует, что величина разброса термо-эдс по поверхности может служить критерием оценки качества поверхности перед электролитическим хромированием. Установлено, что в состоянии упругой деформации в металле происходит увеличение работы выхода электрона и, следовательно, уменьшение уровня Ферми, а в условиях пластической деформации работа выхода электрона уменьшается, соответственно уровень Ферми увеличивается. Изменение уровня Ферми в свою очередь вызывает изменение термо-эдс на поверхности детали.

Как отмечалось выше, износ детали может происходить неравномерно, вследствие чего на ее поверхности могут образовываться области с различной структурой, имеющие друг с другом общую границу. В случае, когда общую границу имеют области с азотированным слоем и сильным упрочнением, разность работы выхода электрона между областями поверхности будет иметь максимальное значение.

Области с высоким упрочнением образуются в результате пластической деформации, в процессе которой повышается плотность дефектов на поверхности за счет выхода дислокаций по плоскостям легкого скольжения [5]. Это приводит к изменению поверхностного электростатического барьера, уменьшению работы выхода электрона и, соответственно, увеличению уровня Ферми по сравнению с равновесным состоянием. Что касается областей детали с остатками азотирования, то вызываемые ими сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое обуславливают упругую деформацию и приводят к повышению работы выхода электрона на поверхности, снижая тем самым уровень Ферми.

Так как при наличии контакта между любыми областями их уровни Ферми (электрохимический потенциал) будут одинаковыми, то при нахождении детали в электролите хромирования уровни Ферми электролита, областей с высоким упрочнением и азотированных будут равны. Однако за счет большей работы выхода электрона потенциал поверхности в области азотирования будет ниже, чем в области с высоким упрочнением.

В рассматриваемом случае неравномерного износа поверхности в процессе электроосаждения хрома на поверхности детали формируются две области с различными потенциалами. Если разность этих потенциалов окажется достаточно большой, хром будет осаждаться только на азотированную поверхность.

Из вышеизложенного следует, что возможность осаждения хрома обусловлена величиной разности потенциалов между соседними областями поверхности восстанавливаемой детали, то есть разностью работы выхода электрона в этих областях. Поскольку работа выхода электрона непосредственно связана с уровнем Ферми и, следовательно, с термо-эдс, то, контролируя величину разности термо-эдс на поверхности детали, можно судить о качестве подготовки поверхности перед хромированием. То есть чем меньше разброс термо-эдс по поверхности детали, тем выше вероятность равномерного осаждения хрома. И наоборот, чем больше разность термо-эдс в различных областях поверхности, тем выше вероятность того, что хром не осядет на поверхность с более высоким значением термо-эдс.

*Методика подготовки образцов.* Для реализации поставленной цели были изготовлены 10 образцов с различной подготовкой поверхности (таблица). Состояние поверхности образцов контролировалось путем измерения термо-эдс прибором металлиста ПМ-642.

**Значения замеров термо-эдс и результаты хромирования**

№ п/п	Схемы подготовки поверхностей образцов	Технология подготовки образцов	Терм-эдс, мВ		Толщина хрома, мм	
			Азотированная поверхность	Неазотированная поверхность	Азотированная поверхность	Неазотированная поверхность
1		Азотированный шлифованный	6	–	0,05–0,07	–
2		Азотированный наполовину, шлифованный	8	86	0,05–0,07	0,05–0,07
3		Азотированный нешлифованный, обработка микрошариками	23	–	0,1	–
4		Азотированный наполовину, обработка микрошариками, неазотированная часть обрабатывалась микрошариками через слой никеля	22	86	0,1–0,13	0,1–0,13
5		Неазотированный (основной металл), шлифованный	–	86–87	–	0,05–0,06
6		Азотированный наполовину, шлифованный, обработка микрошариками	10	98	0,1	–
7		Азотированный наполовину, обработка микрошариками шлифованный, неазотированная часть обрабатывалась микрошариками через слой никеля	19	86	0,05–0,07	0,05–0,07
8		Неазотированный (основной металл), обработка микрошариками	–	90	–	0,05–0,07
9		Азотированный наполовину, шлифованный	8	86	0,1	0,1
10		Азотированный наполовину, шлифованный, обработка микрошариками	9	100	0,22	–

*Примечание: белая поверхность образца соответствует шлифованию; клетчатая соответствует обработке микрошариками; черная область на боковой поверхности соответствует наличию азотированного слоя.*

Образцы изготавливались из стали 11Х11Н2В2МФ по следующей технологии:

- вырезка заготовок образцов размером 10 X 20 X 100 мм с нумерацией от 1 до 10;
- термообработка, включающая закалку с 1010 °С в масло с последующим отпуском при 650 °С и охлаждением на воздухе;

- шлифование;
- никелирование шести образцов (№ 2, 9, 4, 7, 6, 10) на половину длины (в качестве защиты при азотировании) для изготовления попарно образцов с одинаковой поверхностью, но с электрическим контактом в одном случае со стороны азотированной поверхности, а в другом — чистого металла;
- азотирование шести образцов (№ 2, 9, 4, 7, 6, 10) на половину длины и двух образцов (№ 1, 3) полностью;
- шлифование образцов № 1, 2, 5, 9, 6, 10 на глубину 0,1 мм;
- упрочнение микрошариками образцов № 3, 4, 7, 6, 10 в течение 25 минут;
- снятие никеля с образцов № 4 и 7 шлифованием.

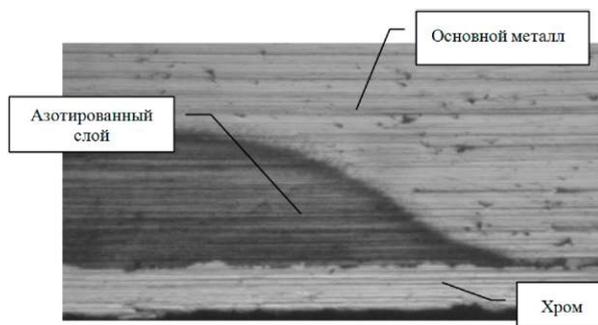
Все образцы подвергались хромированию в стандартном электролите при температуре 54 °С, плотности тока 55 А/дм<sup>2</sup>.

После хромирования проводилось исследование микроструктуры всех образцов на микроскопе «Neofot-32».

*Результаты* замеров термо-эдс исходных образцов приведены в таблице. Как видно из таблицы, при азотировании происходит изменение термо-эдс по сравнению с основным шлифованным металлом (образец № 5).

На образцах № 3, 4, 7, 6, 8, 10 после обработки микрошариками изменения термо-эдс в местах азотирования не произошло, на поверхности без азотированного слоя наблюдалось увеличение термо-эдс на 5–10 мВ.

В таблице приведены данные по измерению толщины хромового покрытия на исследуемых образцах. Осаждение хрома происходило на всех образцах, кроме образцов № 6, 10. На рисунке, где представлен типичный шлиф образца, видно, что хром осаждался равномерно по всей поверхности. Очевидно, на начальных стадиях электрокристаллизации при осаждении нескольких монослоев хрома происходит выравнивание величины работы выхода электрона по поверхности, вследствие чего и происходит равномерное осаждение хрома.



*Рисунок. Типичный шлиф образца с электроосажденным хромом (x100)*

На образцах № 6, 10 на неазотированной поверхности, прошедшей обработку микрошариками, хром не осаждался. На этих образцах разность термо-эдс между соседними областями (на поверхности азотированного слоя и на поверхности упрочненного основного металла) максимальна и составляет порядка 90 мВ, подтверждая предположение о возможности контроля качества подготовки поверхности для хромирования по величине разности термо-эдс.

Таким образом, установлено, что качество электролитического хромирования зависит от разности величины термо-эдс на поверхности восстанавливаемой детали. Определив максимально допустимое значение разброса термо-эдс на поверхности для материала, подлежащего хромированию, можно использовать метод термо-эдс для оценки качества подготовки деталей перед электроосаждением.

#### *Список литературы*

1. Ковенский И. М., Поветкин В. В. Электролитические сплавы. – М.: Интермет инжиниринг, 2003. – 288 с.
2. Солодкова Л. Н., Кудрявцев В. Н. Электролитическое хромирование. – М.: Глобус, 2007. – 191 с.

3. Погосов В. В., Бабич А. В. О влиянии деформации и диэлектрического покрытия на работу выхода электронов из металла // ЖТФ. – 2008. – Т. 78. Вып. 8. – С.116.
4. Лоскутов С. В. Изменение работы выхода электронов при упруго пластическом деформировании металлов // ФИП. – 2009. – Т. 1. – № 3–4. – С. 304-309.
5. Яковлева Т. Ю. Локальная пластическая деформация и усталость металлов. – Киев: Наукова думка, 2003.

#### *Сведения об авторах*

*Ковенский Илья Моисеевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология конструкционных материалов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)256909, e-mail: imkoven@tsogu.ru*

*Мальш Сергей Владимирович, аспирант кафедры «Материаловедение и технология конструкционных материалов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)691310, e-mail: ser-malysh@yandex.ru*

#### *Information about the authors*

*Kovenski I. M., PhD, professor, head of the chair «Material science and technology of structural materials», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)256909, e-mail: imkoven@tsogu.ru*

*Malysh S. V., postgraduate of the chair «Material science and technology of structural materials», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)691310, e-mail: ser-malysh@yandex.ru*