

На основании результатов СЭМ-исследований поверхности лезвия ножа (рисунок 3) можно заключить, что углерод присутствует на поверхности ZrN-покрытия в виде кластеров размером 0,7–3,5 мкм.

Опытно-промышленные испытания модифицированных фрез с комбинированными Ni-УДА-ZrN-покрытиями при резании ламинированной ДСтП на станках с ЧПУ показали увеличение периода стойкости модифицированного инструмента в 1,3–1,4 раза по сравнению с инструментом без покрытий благодаря специфической структуре Ni-УДА-ZrN-покрытия и высокой адгезии Ni-УДА к ZrN-покрытию из-за наличия графитовых частиц на поверхности ZrN-покрытия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев А.В. Контактные явления в микрообласти лезвия при резании древесины и их влияние на природу затупления инструмента: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Москов. гос. ун-т леса, 1983. – С. 15-16.

2. Чаевский В.В, Дроздович В.Б. Изучение состава и структуры Ni- и Cr- композиционных электролитических покрытий, содержащих углеродные наноматериалы на стали // Труды БГТУ, 2010. – Вып. 18, Сер. 6. Физ.-мат. науки и информатика. – С. 96-98.

3. Дисперсное упрочнение наночастицами алмазного композиционного электрохимического покрытия / Н.И. Полушин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия, 2011. – № 4. – С. 49-53.

4. Влияние ZrN, Mo-N покрытий, сульфационирования на износ ножей дереворежущего инструмента / А.К. Кулешов [и др.] // Трение и износ, 2014. – Т. 35, № 3. – С. 276-286.

5. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / П.А. Витязь [и др.]. – Минск, 2013. – 381 с.

УДК 621.794

Б.А. Шibaев; В.С. Белова; А.В. Балмасов, проф., д-р техн. наук  
(ИГХТУ, г. Иваново)

#### **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ПОЛИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

Электрохимическое полирование конструкционных материалов нашло широкое применение в различных отраслях промышленности. Чаще всего для повышения качества поверхности изделий из легированных сталей используют растворы на основе смеси серной, фосфор-

ной и хромовой кислот, существенным недостатком которых является высокая агрессивность и экологическая опасность.

Известно, что введение в состав раствора электрополирования органических добавок позволяет в ряде случаев повысить качество обработки. Целью настоящих исследований являлось изучение влияния состава электролита на показатели полирования легированной стали марок Ст25Х3МЗНБЦА и Ст30ХН2МФА. Для сравнения использовались электролиты разных составов: широко применяемый на практике электролит на основе фосфорной, серной и хромовой кислот и сернофосфорнокислый электролит с добавкой триэаноламина (ТЭА).

Исследования проводились на установке с вращающимся дисковым электродом с использованием потенциостата Р-30J. Снятие анодных поляризационных кривых проводили в потенциодинамическом режиме. Скорость развертки потенциала составляла 20 мВ/с.

В электролите с хромовым ангидридом при незначительном отклонении от бестокового потенциала имеет место слабовыраженная область активного растворения металла, после которого наблюдается область пассивации. Транспассивное растворение металла начинается при потенциалах положительнее 1,5 В. В области высоких потенциалов увеличение скорости вращения дискового электрода способствует повышению скорости растворения металла, что свидетельствует об определенном торможении стадии массопереноса анодного процесса. При этом на поляризационных кривых отсутствуют площадки предельного тока. Это связано с тем, что растворение металла начинается при потенциале положительнее чем потенциал выделения кислорода и эти процессы идут параллельно, а скорость реакции выделения кислорода не зависит от гидродинамических условий.

Проведение процесса анодного растворения исследованных сталей при комнатной температуре не обеспечивает достижение эффекта полирования. Это связано с высокой склонностью исследуемых сталей к пассивации вследствие присутствия в их составе легирующих добавок хрома, никеля, молибдена, ванадия. Значительный рост тока наблюдается только при потенциалах выше 2 В, что заметно положительнее равновесного потенциала выделения  $O_2$ , поэтому выход по току анодного растворения металла при комнатной температуре не превышает 8%.

Увеличение температуры облегчает химическое растворение оксидного слоя, что способствует увеличению выхода по току реакции анодного растворения металла. Увеличение скорости вращения также облегчает растворение пассивирующего слоя,

приводя к росту анодного тока. Величины токов на образцах из Ст25Х3М3НБЦА и Ст30ХН2МФА довольно близки, однако при визуальном контроле качество поверхности Ст25Х3М3НБЦА было несколько выше. Несколько худший результат для стали Ст30ХН2МФА обусловлен, по-видимому, наличием в ней марганца, а также бóльшим содержанием углерода и кремния. Облегчение процесса растворения оксидного слоя при увеличении скорости вращения дискового электрода способствует росту выхода по току, который наблюдается как при комнатной, так и при повышенной температуре.

Несмотря на хороший внешний вид образцов из исследованных сталей после электрополирования в фосфорносернохромовокислом электролите, этот раствор имеет ряд недостатков, в частности, высокую экологическую опасность. Кроме того, для получения блестящей поверхности необходимо применение высокой плотности тока – порядка 300 А/дм<sup>2</sup>. Известно, что введение в полирующий раствор добавок органических растворителей, имеющих высокую вязкость, в ряде случаев позволяет уменьшить величину рабочей плотности тока. В качестве такой добавки был выбран триэтаноламин.

В фосфорносернокислом электролите с добавкой триэтанолamina (ТЭА) в области низких потенциалов наблюдается область активного растворения, в которой токи заметно выше, чем в присутствии хромовой кислоты. Это связано с тем, что соединения шестивалентного хрома обладают высокой окислительной способностью и облегчают процесс пассивации поверхности металла. Триэтаноламин, напротив, оказывает на поверхность активирующее действие, т.к. способен к образованию комплексных ионов с металлами, входящими в состав сплавов.

При повышенной температуре переходу в область пассивации предшествует участок, на котором наблюдается осцилляция токов. Тенденции, имеющие место в области высоких анодных потенциалов, аналогичны тем, которые наблюдались в фосфорносернохромовокислом электролите – это увеличение анодных токов с ростом температуры раствора и скорости вращения дискового электрода. Однако максимальные значения токов, полученные в растворах, содержащих ТЭА, в исследованном интервале потенциалов, примерно в 2 раза ниже, чем в растворах с хромовым ангидридом. При полировании внутренней цилиндрической поверхности деталей это имеет важное значение, т.к. обеспечивает снижение токовой нагрузки на внутренний катод, сечение которого ограничено, особенно при обработке изделий небольшого диаметра (несколько мм). Значения анодного выхода по току, определенные в гальваностатических условиях, при ис-

пользовании растворов с добавкой ТЭА несколько ниже, чем в фосфорносернохромовокислом электролите, но также имеют тенденцию к увеличению с ростом скорости вращения электрода и температуры раствора.

Внешний вид поверхности образцов после электрополирования в растворах с органической добавкой лучше, чем при использовании хромсодержащего раствора (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Внешний вид образца из стали Ст25Х3МЗНБЦА после обработки в фосфорносернохромовокислом электролите (а) и в электролите с добавкой триэтаноламина (б) при температуре 70°C**

Для количественной оценки шероховатости поверхности образцы из исследованных сталей подвергали анодной обработке в гальваностатическом режиме, при этом контролировали величину среднего арифметического отклонения профиля Ra до и после электрополирования. Полученные результаты приведены в таблицах 2,3. Как следует из представленных данных, применение растворов без подогрева не обеспечивает достижения полирующего эффекта в обоих исследованных электролитах, что хорошо согласуется с литературными данными.

**Таблица 2 - Значения микрошероховатости и коэффициента сглаживания поверхности после анодной обработки стали Ст25Х3МЗНБЦА (числитель) и Ст30ХН2МФА (знаменатель) в фосфорносерно-хромовокислом электролите при различных скоростях вращения дискового электрода и температурах 25°C и 70°C.**

Показатели процесса при различной температуре и марках стали		Скорость вращения, об/мин					
		900		1600		2500	
		25°C	70°C	25°C	70°C	25°C	70°C
Ст25Х3МЗНБЦА	Ra, мкм	<u>0,28</u>	<u>0,18</u>	<u>0,30</u>	<u>0,18</u>	<u>0,22</u>	<u>0,16</u>
		0,32	0,20	0,28	0,16	0,29	0,18
Ст30ХН2МФА	ΔRa, %	<u>11</u>	<u>44</u>	<u>13</u>	<u>56</u>	<u>14</u>	<u>64</u>
		11	37	11	40	12	44

Интенсификация гидродинамического режима способствует некоторому уменьшению шероховатости, однако относительное сглаживание микрорельефа остается незначительным. Гораздо более сильное влияние на качество обработанной поверхности оказывает температура раствора. Ее увеличение до 70°C обеспечивает для сталей

Ст25Х3МЗНБЦА и Ст30ХН2МФА минимальную величину Ra = 0,16 мкм при использовании хромсодержащего электролита и 0,08 мкм в случае раствора с триэтаноломином.

**Таблица 3 - Значения микрошероховатости и коэффициента сглаживания поверхности после анодного растворения стали Ст25Х3МЗНБЦА и Ст30ХН2МФА в электролите с добавкой триэтаноломина при различных скоростях вращения дискового электрода и температурах 25°С и 70°С.**

Показатели процесса при различной температуре и марках стали		Скорость вращения, об/мин					
		900		1600		2500	
		25°С	70°С	25°С	70°С	25°С	70°С
Ст25Х3МЗНБЦА Ст30ХН2МФА	Ra, мкм	<u>0,28</u> 0,28	<u>0,16</u> 0,12	<u>0,24</u> 0,24	<u>0,08</u> 0,10	<u>0,29</u> 0,26	<u>0,12</u> 0,12
	ΔRa, %	<u>13</u> 10	<u>68</u> 54	<u>11</u> 11	<u>74</u> 66	<u>13</u> 12	<u>78</u> 69

При этом относительное сглаживание микропрофиля при использовании раствора с органической добавкой достигает 69 % для стали Ст30ХН2МФА и 78% для стали Ст25Х3МЗНБЦА. Таким образом, применение фосфорносернокислого электролита с добавкой ТЭА взамен фосфорносернохромовокислого представляется перспективным, т.к. позволяет уменьшить шероховатость обработанной поверхности и снизить рабочую плотность тока.

УДК 621.792

Яскельчик В.В., Михедова Е.В., Жарский И.М., Черник А.А.  
(БГТУ, г. Минск)

### **СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЦИТРАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА**

Медь является одним из первых освоенных металлов благодаря своим достаточно низким температурам плавления, а так же ее мягкости. Но, не смотря на мягкость меди, она способна сопротивляться различным статическим и динамическим нагрузкам, а ее сплавы отличаются целым спектром улучшенных свойств: прочности, ковкости, износостойкости. Благодаря своим вязкостным свойствам, медные покрытия обладают еще одним полезным свойством – предотвращают искрообразование, что позволяет широко использовать инструмент, например, в нефтедобывающей отрасли. Современный этап освоения дал меди новые альтернативы: создание композиционных материалов. Нанесение композиционных электрохимических покрытий (КЭП) в основном применяется с целью улучшения химической стойкости, повышения жаростойкости и жаропрочности, создания самосмазываемых и каталитически активных поверхностей. Эффективность использова-