

ка может оказаться перспективной для подавления дендритообразования и получения плотных катодных осадков теллура при его извлечении из щелочных теллуритных растворов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Киндяков П.С., Коршунов Б.Г. и др. Химия и технология редких и рассеянных элементов. М.: Высш. шк., 1976. -320 с.
- 2 Jamieson R.A., Perone S.P. /Polarographic, colorometric and stationary electrode studies of the electroreduction of Te(IV) in alkaline solution // Electroanalytical chemistry and interfacial electrochemistry (1969) 441-453.
- 3 Abad B., Rull-Bravo M., Hodson S. L., Xu X. / Thermoelectric properties of electrodeposited tellurium films and the sodium lignosulfonate effect // Electrochimica Acta 169 (2015) 37-45.

УДК 621.357.7

Е.Г. Винокуров, проф., д-р хим. наук
(РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва)

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ХРОМИРОВАНИЯ

Объектом исследования являются две технологии хромирования: классическая - на основе электроосаждения хрома из растворов токсичной хромовой кислоты (Cr-6) и экологически менее опасная на основе электроосаждения хрома из растворов с использованием соединений более низкой валентности (Cr-3). Каждый из процессов, Cr-6 и Cr-3, имеет свои достоинства и недостатки, что требует проведения их сравнительного анализа до стадии принятия решения о путях модернизации гальванического производства, замены технологических процессов и проведения мероприятий по охране окружающей среды.

Метод исследования. SWOT-анализ — метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды объекта и разделении их на категории. Сильные (S) и слабые (W) стороны являются факторами внутренней среды объекта анализа; возможности (O) и угрозы (T) являются факторами внешней среды. Технология SWOT-анализа широко используется в стратегическом управлении и менеджменте, так как является одновременно простым и качественным инструментом для оценки конкурентоспособности компании на рынке.

Способ исследования. Исследования основаны на сборе, обработке и анализе мнений членов экспертной группы, к которым предъявлялись следующие требования: наличие высшего химико-

технологического (технического) образования; ученой степени доктора (кандидата) химических (технических) наук; опыт научных исследований или практической производственной деятельности в предметной области, возраст более 35 лет. Общее число членов экспертной группы - 9 человек. При составлении матрицы SWOT-анализа также использована научно-техническая информация из монографий, научных статей и учебников

Алгоритм проведения SWOT-анализа. 1. Составление анкеты для опроса. 2. Формирование экспертной группы. 3. Анкетирование. 4. Обобщение данных, ранжирование показателей. 5. Формирование матрицы SWOT-анализа. 6. Выводы и рекомендации.

Результаты. В табл. 1 в качестве примера приведены сильные стороны технологий хромирования из растворов хромовой кислоты (Cr-6) и из растворов солей хрома(III) (Cr-3), а в табл. 2 итоговая матрица SWOT-анализа с количеством суждений в каждой из категорий.

Таблица 1 - Сильные стороны технологий хромирования из растворов хромовой кислоты (Cr-6) и из растворов солей хрома(III) (Cr-3)

Сильные стороны (Cr-6)	Сильные стороны (Cr-3)
1. Малокомпонентный (двух- или трехкомпонентный) состав применяемого раствора	1. Использование соединений хрома (III), менее токсичных чем соединения хрома(VI)
2. Стабильность компонентного состава раствора при его эксплуатации и устойчивость к высоким концентрациям (до 5-10 г/л) примесей катионов и органических веществ	2. Возможно использование растворов с меньшей концентрацией соединений хрома
3. Высокая электропроводность раствора, и, соответственно, использование источников тока с невысоким значением напряжения на ванне	3. Сокращение затрат на охрану природы и здоровье персонала.
4. Получение в одном и том же растворе покрытий с разными свойствами при изменении только температуры и плотности тока	4. Высокая производительность процесса: на формирование одного атома покрытия расходуется три электрона; средний или высокий выход по току (кпд).
5. Отсутствует необходимость коррекции pH раствора	5. Относительно невысокая рабочая температура раствора (менее 50 °C).
<i>Всего отмечено 18 сильных сторон</i>	<i>Всего отмечено 11 сильных сторон</i>

Таблица 2 - Итоговая SWOT-матрица

Cr-6	Cr-3	Преимущественная технология
<i>Сильные стороны</i>		
18	11	Cr-6
<i>Слабые стороны</i>		
20	26	Cr-6
<i>Возможности</i>		
6	5	Cr-6
<i>Угрозы</i>		
6	4	Cr-3

Предварительный вывод. Технологический процесс Cr-6 остается на сегодняшний день основным процессом получения хромовых покрытий. Он является ключевой (базовой) технологией, т. к. обеспечивает устойчивую позицию предприятия на рынке. Однако SWOT-анализ дает лишь качественную оценку процессов, не всегда позволяющую принять однозначное решение, поэтому необходим количественный критерий поддержки принятия решения, что требует совершенствования SWOT-анализа.

Анализ результатов методом непараметрической статистики. Критерий знаков. Для определения достоверности результата при замене технологии можно использовать критерии непараметрической статистики, например, критерий знаков (G-критерий)

Критерий знаков предназначен для установления общего направления сдвига исследуемого признака. Позволяет установить, в какую сторону в выборке в целом изменяются значения признака при переходе от первого измерения ко второму: изменяются ли показатели в сторону улучшения, повышения или усиления или, наоборот, в сторону ухудшения, понижения или ослабления. Сдвиг – разность значений показателей, измеренных после некоторого воздействия и до него, то есть «после»-«до».

Технологические параметры хромирования и оценка сдвига в результате внедрения технологии Cr-3 взамен технологии Cr-6 приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Технологические параметры хромирования и оценка сдвига в результате внедрения технологии Cr-3

Технологические параметры	Оценка сдвига в результате внедрения технологии Cr-3
1	3
1. Характеристика компонентов раствора	(-1) – 2; (0) – 0; (+1) – 1
Токсичность компонентов раствора (оксид хрома (VI))	1
Стоимость компонентов раствора	-1
Стоимость основного компонента растворов – солей Cr(III), сильно зависит от внешних рынков	-1
2. Характеристика растворов	(-1) – 3; (0) – 1; (+1) – 1
Компонентный состав применяемого раствора	-1
Сумма концентрация всех компонентов	0
Возможность снижения концентрации соединений хрома в растворе.	-1
Коррозионная агрессивность раствора	1
Электропроводность растворов	-1
3. Условия электроосаждения покрытий	(-1) – 2; (0) – 0; (+1) – 1
Проведение процесса при относительно высокой объемной плотности тока	-1
Проведение процесса при высокой плотности тока	-1
Проведение процесса при высокой или менее высокой температуре	1

Продолжение таблицы 3

1	2
4. Характеристика процесса	$(-1) - 13; (0) - 6; (+1) - 4$
5. Характеристика оборудования, оснастки	$(-1) - 1; (0) - 0; (+1) - 4$
6. Контроль параметров процесса, анализ раствора	$(-1) - 3; (0) - 0; (+1) - 0$
Простота анализа состава раствора	-1
Корректировка раствора	-1
Возможность автоматизации анализа и поддержания концентрации компонентов в заданных пределах	-1
7. Характеристика покрытий	$(-1) - 1; (0) - 2; (+1) - 0$
8. Прочее	$(-1) - 1; (0) - 4; (+1) - 0$

«Типичное», преобладающее направление изменений технологических параметров при замене технологии хромирования является отрицательным и их количество равно 26.

Сформулируем две гипотезы:

H₀: преобладание отрицательных («типичных») суждений о последствиях применения технологии Cr-3 вместо Cr-6 - случайное;

H₁: преобладание отрицательных («типичных») суждений о последствиях применения технологии Cr-3 вместо Cr-6 - неслучайное.

Количество «нетипичных», положительных сдвигов составляет 11, что соответствует $G_{\text{эсп.}}$. Сопоставляя $G_{\text{эсп}}$ и $G_{\text{кр.}}$, равное 13 для $n=38$ с доверительной вероятностью 0,95 видим, что $G_{\text{эсп}} < G_{\text{кр.}}(p=0,95)$, и, следовательно, **H₀** отвергается, а **H₁** принимается, то есть сдвиг в типичную сторону можно считать достоверным с доверительной вероятностью 0,95.

Выводы, сделанные в результате исследования, указывают на необходимость реинжиниринга технологии шестивалентного хромирования. Успешная стратегия развития процесса Cr-6 направлена на обеспечение соблюдения норм экологической безопасности и охраны труда в настоящем и будущем, а также, использование разбавленных по соединениям тяжелых металлов растворов и предотвращение угрозы загрязнения окружающей среды. Трехвалентное хромирование имеет большие возможности, но требует серьезных дальнейших не только теоретических, но и практических исследований для их реализации.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания.