

УДК 621.315

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИТНО-РАЗРЯДНОЙ ПОЛИРОВКИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ СОЛЕЙ АММОНИЯ

Степаненко А.В., Паршуту А.Э., Доманевский Д.С., Кособуцкий А. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

1. Общая характеристика процесса

Процесс электролитно-разрядной обработки (ЭРОМ) материалов осуществляется в электролитической ванне с активным металлическим электродом (анодом или катодом), погружаемым в низкоконцентрированные водные растворы (2–6%) различных солей аммония.

Обобщенная вольтамперная характеристика ЭРОМ в анодном процессе представлена на рис. 1.

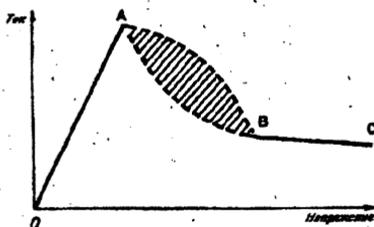


Рис. 1.

Она состоит из трех участков. Первый участок ОА, характеризующийся линейным ростом тока, соответствует обычному электролизу, который подчиняется закону Ома. Он сопровождается газовыделением на электродах (водород и кислород) и переносом ионов металлического анода в электролит.

При увеличении напряжения на электродах до 60–70 В начинает возникать слабое люминесцентное свечение анода, сопровождаемое высоко- и низкочастотными колебаниями напряжения и тока. При плотностях тока, превышающих $\sim 5,5$ А/см² возникает так называемый коммутационный режим (нисходящая ветвь ВАХ-АВ), который характеризуется периодическим образованием парогазовой оболочки (ПГО), охватывающей поверхность электрода с меньшей площадью. Эти явления также связывают [1] с локальными электрическими пробоями оксидной пленки, обладающей односторонней проводимостью в направлении к катоду.

ду. Возникновение микроразрядов сопровождается выделением тепла за счет химических реакций окисливания и джоулева падения напряжения на окисной пленке. Поскольку сопротивление металлического анода и слоя электролита меньше чем сопротивление контакта металл-пленка-электролит, то наибольшая тепловая энергия выделяется на контакте. Время взрывного расширения ПГО составляет около 10^{-4} с, так что она быстро размывает поверхность анода и основной объем электролита, вызывая резкий спад тока и возникновение импульса напряжения с амплитудой до 1000 В. В это время в оболочке наблюдается газовый разряд, вызывающий яркое красноватое свечение всей прианодной области. После взрыва изолирующая оболочка схлопывается и процесс повторяется снова с частотой 100–120 Гц.

Рабочий режим процесса ЭРОМ, соответствующий третьему участку ВАХ (горизонтальная сплошная ветвь — ВС) на рис. 1, можно получить при быстром повышении напряжения свыше 100 В в область 360–380 В и использовании низкоконцентрированных электролитов. При этом реализуется так называемый электрогидродинамический режим ЭРОМ (ЭГДР). Он отличается от режима нагрева анода, при котором устойчивая толщина ПГО составляет $<0,1$ мм. При переходе в ЭГДР возрастает интенсивность люминесценции электрических разрядов, парогазовая оболочка увеличивает толщину до 0,2–0,4 мм, обнаруживаются волнообразные перемещения жидкости относительно анода, распыление электролита, сопровождаемое забросом его капель на анод. Имеет место интенсивное перемешивание электролита, способствующее выравниванию температуры анода и электролита в области 80–90°C. На осциллограммах наблюдаются высоко и низкочастотные импульсы тока, связываемые с существованием специфических коронных и искровых разрядов в парогазовой оболочке. Вместе с тем, статическое сопротивление разрядного промежутка возрастает в 2–2,5 раза, плотность тока снижается до 0,2–0,6 А/см²

Исследования, проведенные в работе [2], показали, что амплитуды и частоты повторения выбросов напряжения и тока можно существенно уменьшить путем шунтирования разрядного промежутка сопротивлением или емкостью, подбором состава и температуры электролита, а также оптимизацией конструкции электролитной ванны и режимов повышения напряжения на её электродах. Все эти способы позволяют реализовать на практике различные типы электролитно-разрядной обработки: обезжиривание, очистку, травление, полировку, термообработку и легирование поверхности, пайку и сварку различных материалов.

2. Результаты эксперимента и их обсуждение

В настоящей работе приводятся результаты исследования и оптимизации условий и режимов электролитно-разрядной полировки нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т в электролитах на основе $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 и NH_4Cl . Выбор электролитов этого типа связан с необходимостью обеспечения экологической безопасности технологических процессов ЭРОМ и достаточной легкостью образования ПГО в этих растворах.

Образование ПГО обусловлено существенной разницей в площадях обрабатываемой детали и стенок ванны, а, следовательно, и плотностью тока на этих поверхностях. При дальнейшем повышении напряжения у поверхности детали, имеющей меньшую площадь, удельная плотность мощности достаточна для локального пленочного вскипания электролита и образования у поверхности детали стабильной парогазовой оболочки. Сформировавшаяся таким образом оболочка из пара и газа отжимает электролит от поверхности детали и значительно увеличивает электрическое сопротивление в цепи деталь-электролит. При этом сила тока резко уменьшается, и напряжение источника питания почти полностью прикладывается к образовавшейся парогазовой оболочке. Из-за высокой локальной напряженности электрического поля возникает частичная ионизация газа с протеканием электрического тока через парогазовую оболочку в виде импульсных и диффузионных электрических разрядов. Возникает новая активная среда, оказывающая эффективное воздействие на материал поверхности детали.

Таким образом, создаются условия для реализации неоднородного распределения напряженности электрического поля, возможности локальных перегревов и кинетических воздействий. Поскольку наибольшая вероятность электрических разрядов через парогазовую оболочку существует между микровыступами обрабатываемой поверхности и гребнями волны электролита, то удаление материала происходит, по-видимому, в этих местах и именно этот процесс приводит к эффекту полировки.

Наряду с геометрическими микронеровностями важную роль могут играть и другие неоднородности потенциального рельефа анода и электролита, связанные, например, с различиями работ выхода и положений уровня Ферми контактирующих между собой микрокомпонентов анодного сплава и раствора электролита. Это позволяет предложить следующую картину электролитно-разрядной полировки (рис. 2).

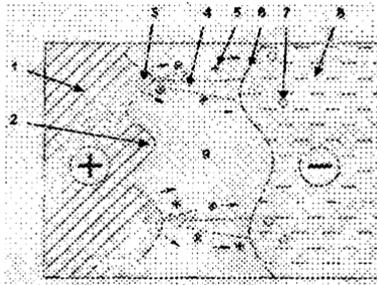


Рис. 2. Принцип полирования при ЭРОМ:

- 1 — деталь-анод; 2 — микронеровность; 3 — анодная зона разряда; 4 — канал разряда; 5 — частицы удаленного металла; 6 — волна электролита; 7 — пузырьки пара и газа; 8 — электролит — жидкий катод; 9 — парогазовая оболочка.

Выбор областей рабочих режимов процесса можно провести из анализа усредненной экспериментальной диаграммы напряжение-температура-концентрация электролита [3,4] (рис. 3).

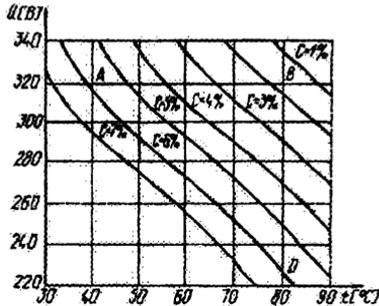


Рис. 3. Диаграмма рабочей области ЭРОМ

Устойчивой парогазовой оболочке, а следовательно, и нормальному протеканию процесса, на этой диаграмме соответствуют области, лежащие правее и выше линий концентрации электролита. При выборе рабочей точки ниже и левее кривой соответствующей концентрации, наблюдается срыв оболочки и переход к коммутационному режиму электролитной обработки. При этом происходит периодический контакт электролита с поверхностью детали. В местах контакта происходит обычное электрохимическое анодное растворение металла, приводящее к резкому снижению блеска и увеличению шероховатости. Так как потребляемый при этом ток значительно превышает ток при устойчивом процессе, то это вызывает резкое увеличение потребляемой мощности и снижение эконо-

мичности обработки. Поэтому коммутационный режим является нежелательным при полировании.

Рабочая область, в которой протекает процесс полирования, занимает на диаграмме зону, ограниченную линиями АБ — по напряжению, БВ — по температуре электролита, ВА — по концентрации электролита. Из диаграммы видно, что снижение концентрации и электролита приводит к увеличению минимальных значений напряжения и температуры электролита, при которых возможна устойчивая работа. При концентрации электролита менее 2% температура и напряжение близки к граничным, что делает нецелесообразным применение столь низких концентраций электролита. Еще одна диаграмма, связывающая концентрацию, температуру электролита и шероховатость обрабатываемой поверхности позволяет оптимизировать процесс полировки в конкретных технологических условиях.

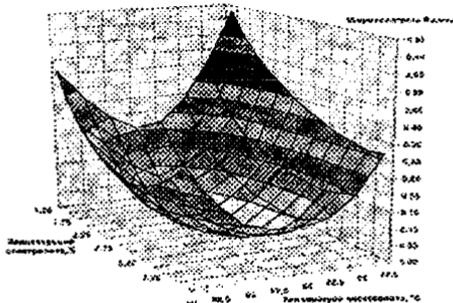


Рис. 4. Диаграмма зависимости шероховатости от концентрации и температуры электролита

Решение этой задачи существенно облегчается возможностью использования разработанной компьютерной программы для моделирования процесса ЭРОМ (рис.5)

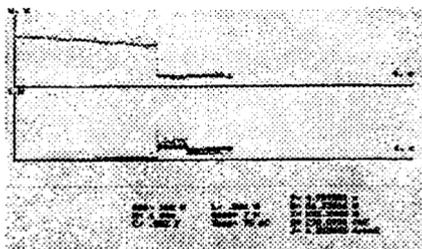


Рис. 5. Моделирование переходных процессов при ЭРОМ

Литература

1. Баковец В.В., Поляков О.В., Долговесова И.П. Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов. Новосибирск, Наука, Сиб.отд., 1991, 168 с.
2. В.Н.Дураджи, А.С. Парсаданян. Нагрев металлов в электролитной плазме. Кишинев, Штиинца, 1988, 199 с.
3. Патент 1314729 СССР. Способ электрохимической обработки. В.К. Станишевский, А.Э. Паршутто, А.А. Кособуцкий.
4. Патент 5062541 США, МПК 204/224, 1991.

УДК 53(077)

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОБЩЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ИНВАРИАНТНОСТИ

Лукашевич С.А., Желонкина Т.П., Литвиненко О.Г.
*УО «Гомельский госуниверситет им. Ф. Скорины»
Гомель, Беларусь*

Преобразование симметрии пространства не ограничивает выбора траектории изображающей точки в конфигурационном пространстве при изменении системы от некоторого начального состояния в конечное. В действительности реализуется только одно движение. В связи с этим возникает вопрос, а существует ли критерий, согласно которому из бесчисленного множества возможных движений можно выделить одно движение, которое является действительным? На этот вопрос в наиболее общем виде дает ответ вариационный принцип Гамильтона.

Опыт показывает, что действительное движение частицы или системы частиц между двумя точками пространства при данных условиях возможно только по какой-то одной определенной траектории. Это движение происходит при условии минимальной затраты или энергии, или времени или какой-либо другой физической величины.

Возникает важный теоретический интерес к исследованию проблемы: какие условия должны выполняться при движении механической системы по действительной траектории, если координаты ее точек бесконечно мало отличаются от координат точек множества траекторий, называемых виртуальными траекториями. Задача состоит в том.. чтобы результаты опытов обобщить и сформулировать принципы действи-