

## ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ: ОСНОВЫ ТЕОРИИ И ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ

В конце 2011 года в издательстве “Техносфера” (Россия) под рубрикой “Мир материалов и технологий” вышла книга “Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов” (авт. И. Суминов, П. Белкин, А. Эпельфельд, В. Людин, Б. Крит, А. Борисов; под общей редакцией И. Суминова). Книга представляет собой обобщение (в двух томах) результатов исследований и разработок, а также применение в технике двух исторически разнородных методов обработки поверхности, а именно анодной электрохимико-термической обработки и т.н. микродугового оксидирования.

О наличии общих признаков у этих методов было известно ранее, о чем свидетельствуют публикации обзоров, в которых они рассматривались с одних и тех же позиций (см., например, A.L. Yerokhin, X. Nie, etc. *Plasma electrolysis for surface engineering. Surface and Coatings Technology*. 1999, v. 122, p. 73–93), проведение международных конференций, тематика которых объединяла эти методы (с 2003 года в г. Костроме (Россия) прошли три международные конференции под названием “Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей”). Каждому методу были посвящены отдельные монографии (П.Н. Белкин. *Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов*. М.: Мир, 2005 и И.В. Суминов, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин, Б.Л. Крит, А.М. Борисов. *Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование)*. М.: Экомет, 2005).

В современном прикладном материаловедении используется широкий арсенал технологических процессов модифицирования поверхностей материалов и деталей в целях совершенствования эксплуатационных характеристик. Это электрохимические технологии, различные варианты термической и химико-термической обработки, ионная имплантация и др. Методы электрохимико-термической обработки выделяются своей относительной доступностью, экологической чистотой и широкими возможностями управления свойствами поверхности.

Реально же описание рассматриваемых процессов разделено. Первый том посвящен анодной электрохимико-термической обработке (ЭХТО), хотя в аннотации и указывается, что “в книге рассмотрены явления катодного и анодного нагрева токопроводящих материалов в водных растворах электролитов”. На самом деле этот том посвящен проблемам анодного нагрева, что, безусловно, обосновано, учитывая общую направленность двухтомного издания. Рассмотрены теплофизические аспекты и электрохимические особенности процесса. Описаны процессы закалки, азотирования, цементации материалов на основе железа и сталей. Приведены результаты, свидетельствующие о повышении коррозионной стойкости поверхностей, обработанных подобным образом. Описаны возможности осуществления процессов борирования, сульфидирования, насыщения молибденом, ванадием и титаном. Специальная глава посвящена технологии и оборудованию электролитного нагрева. В отдельной главе описаны менее распространенные варианты электрохимико-термической обработки: очистка стального и медного проката, оксидирование титановых сплавов, обработка электролитических или электроискровых покрытий. В целом содержание первого тома если и отличается от ранее изданной книги П.Н.Белкина, то не принципиально, хотя он и дополнен по сравнению с предыдущим изданием новыми материалами.

Во втором томе описаны процессы, технологии и оборудование микродугового оксидирования (МДО). МДО – это относительно новый вид электрохимической обработки поверхности, являющийся, по существу, развитием традиционного анодирования. Процесс, проводимый при высоких напряжениях и сопровождающийся наличием искровых разрядов, позволяет получать многофункциональные керамикоподобные покрытия с широким комплексом свойств, в том числе износостойкие, коррозионностойкие, электроизоляционные, декоративные и др. В книге подробно описано развитие метода от классического анодирования до современного состояния.

В главе “Электрофизико-химические процессы, протекающие при формировании покрытий методом микродугового оксидирования” приводятся современные представления о механизме процесса. Отдельная глава посвящена технологии МДО. Глава “Технологическое оборудование процесса МДО” – описанию источников тока для его реализации, электролитическим ваннам, используемым в различных процессах МДО, вспомогательному оборудованию, системам управления и автоматизации, а также мониторинга. Главы 5 и 6 – методам и полученным результатам исследования МДО-покрытий, включая физико-механические свойства, результаты коррозионных, трибологиче-

ских и износных испытаний, контроль возможностей длительного использования электролитов, а также работоспособности покрытий в коррозионной среде при разных видах нагружения. В отдельной главе описаны особенности практического применения МДО в различных отраслях промышленности.

Учитывая особенность издания – объединение различных по своей физической сущности процессов в единый комплекс технологий, большой интерес представляет последняя глава второго тома, а именно “Послесловие. Единство технологий электрохимико-термической обработки и микродугового оксидирования как плазменно-электролитических методов модифицирования поверхности”. В ней сформулированы критерии идентичности признаков, отражающих единство ЭХТО и МДО. В качестве обобщающих критериев и признаков предложены: использование т.н. “электролитного электрода” и собственно электролитов как специальной плазмообразующей среды в зоне обработки; наличие плазменного электрического разряда на (или вблизи) обрабатываемой поверхности, содержащего заряженные частицы (ионы), которые являются основным “модифицирующим инструментом”; высокие энергии воздействия на обрабатываемую поверхность; образование на поверхности и в приповерхностных слоях специфических неравновесных микро- и наноразмерных структур и фаз; интенсификация процессов диффузионного массопереноса в твердой фазе; незначительность изменения геометрических размеров и формы объектов после обработки; изменение макрохарактеристик материалов, являющееся следствием обработки; относительно высокая степень “экологичности” процессов. Наличие общности вышеуказанных признаков, безусловно, позволяет рассматривать эти технологические процессы с единых позиций.

Большим достоинством издания является список цитированной литературы (431 источник в первом томе и 443 – во втором), что, по существу, позволяет рассматривать рецензируемое издание как своего рода “энциклопедию” описываемых методов. К сожалению, не обошлось без недочетов и погрешностей. Если цитирование во втором томе осуществляется широко распространенным способом, то в первом, мягко говоря, является странным, в соответствии с ГОСТом по библиографическому описанию, но не для цитируемой литературы.

В целом следует признать, что это ценное издание не только для специалистов, уже использующих вышеописанные методы. Нет сомнений, что оно послужит основой для дальнейшего развития и применения на практике описываемых технологий.

А.И. Дикусар