|  |  |
| --- | --- |
| logo | **Тольятти****Белорусская, 14****8 8482 54-64-14****8 8482 53-93-92****press.tgu@yandex.ru** |

**Наночастицы при плазменно-электролитическом оксидировании алюминиевого сплава кратно повышают его устойчивость к агрессии**

**Учёные России и Израиля получили макроэффект от использования наночастиц при создании многофункциональных покрытий для защиты от коррозии и износа алюминиевых сплавов.**

Плазменно-электролитическое оксидирование (ПЭО) представляет собой обработку в электролите сплавов на основе алюминия, магния и титана, как правило, под действием переменного тока. Технологию отличают высокая экологичность и простота организации процесса. ПЭОпозволяет многократно улучшать свойства поверхности изделий, формируя керамический оксидный слой, эффективнозащищающий от износа и коррозии.Из-за сочетания хороших механическихсвойств в объеме изделияи малой плотности алюминиевые и магниевые сплавышироко используют вмашиностроении, в том числе авиа- и автомобилестроении, а также в судостроении. Однако их поверхность для многих задач оказывается недостаточно износо- и коррозионностойкой. ПЭО позволяет решить большой круг задач по обеспечению необходимых свойств поверхности, но часто требуются еще более высокие свойства для работы изделий в агрессивных средах и в экстремальных условиях изнашивания. Также остается проблемой невысокая производительность ПЭО.

Группа ученых Тольяттинского государственного университета (ТГУ) под руководством доктора физико-математических наук, профессора **Михаила Криштала** при участии ведущего научного сотрудника Израильского Политехнического Института (Техниона) физика-теоретика **Александра Кацмана,** модифицировала технологию плазменно-электролитического оксидирования, добавив в электролиттвердые частицы карбида титана TiCсо средним размером80 нанометров.

Добавка на литр электролита всего пол грамма наночастиц TiC повысила в 1,4 раза твердость, в 3 раза износостойкость и в 10 раз коррозионную стойкость оксидного слоя, сформированного ПЭО на литейном алюминиево-кремниевом сплаве АК7, который широко применяется в промышленности. Кроме того, внедренные в уже сформированный оксидный слой наночастицы, оставаясь в исходном состоянии, составляют не более 1 % массы самого слоя, и при этом дают30 %-й прирост его толщины и массы, и таким образом значительный рост производительности процесса оксидирования.

Несмотря на кажущуюся простоту метода ПЭО, до сих пор никому не удалось непротиворечиво объяснить и математически описать само явление ПЭО, а тем более объяснить влияние на этот процесс наночастиц, вводимых в электролит. Остаются многие нерешенные вопросы, а вариации режимов оксидирования открывают новые далеко не очевидные эффекты и ставят новые вопросы.

*– При ПЭО формирование оксидного слоя происходит, в основном, за счет плавления и интенсивного окисления жидкого металла. Расплавляющие металл микродуговые разряды возникают в микроскопических каналах, которые пронизывают оксидный слой,*– поясняет профессор Криштал. – *Перед этим в микроканалах образуются парогазовые пузыри. Мы полагаем, что твердые наночастицы, неся на себе отрицательный электрический заряд, попадают в эти пузыри и ускоряютсяэлектрическим полем до таких скоростей, что как пули или метеориты с легкостью внедряются в стенки и дно микроканала. За счет трения и разогрева при ударе они теряют электроны и приобретают положительный заряд. Всёэто приводит к искрению на внедренных в слой наночастицах, вызывая снижение напряжения инициации микродуги. Поэтомумикроскопические электрические дуги горят дольше, а самих таких микроразрядов становится больше. Именно этим объясняется то, что за равное время при добавке наночастиц в электролит окисляется больший объем металла, а сам процесс становится более равномерным. Соответственно, в слое формируется больше равновесных и твердых составляющих, слой становится более однородным, плотным и твердым, а его защитные свойства от износа и коррозии растут.*

Эти эффекты становятся достижимы только при наноразмере модифицирующих частиц и в достаточно узком диапазоне их концентраций. Более крупные микрочастицы просто не смогут разогнаться до нужных скоростей и внедриться в стенки микроканала, а может даже не смогут в него проникнуть. То есть макроэффект получается именно от нано.

– *Это тот случай, когда «нано» является действительно определяющим фактором улучшения процесса и свойств формируемого поверхностного слоя. Именно наноразмерный порядок частиц карбида титана позволяет оптимальным образом внедрить его в слой и добиться наибольшего эффекта,* – поясняет **Антон Полунин**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НИО-4 «Оксидные слои, пленки и покрытия» Научно-исследовательского института прогрессивных технологий ТГУ.–*В результате мы получаем оксидный слой с новым комплексом свойств, который удовлетворяет более жёстким требованиям по механике и коррозии по сравнению с обычным оксидным слоем, то есть способен работать в еще более тяжёлых условиях. Следующим нашим шагом будет адаптация полученных решений для обработки магниевых сплавов технического назначения.*

*– Интригующий эффект воздействия очень малого количества наночастиц на макроэффект значительного увеличения толщины и качества ПЭО покрытия можно понять, рассматривая электрические разряды, бьющие из отрицательно заряженных облаков на летящие самолеты, которые заряжаются положительно за счет трения об атмосферу. Эти мини-молнии ионизируют атмосферу (так же как и космические частицы, ускоряемые в электрическом поле Земли), и таким образом создают условия для возникновения большой молнии. Подобно этому, наночастицы, внедренные в стенки микроканалов покрытия, вызывают на себя микроразряды (искры), которые ионизируют паро-газовую среду и подготавливают (облегчают) пробой всего паро-газового пузыря, -* объясняет **Александр Кацман**, ведущий научный сотрудник Хайфского Техниона (Израиль). – *Этим объясняется сравнительно небольшое (3-4%) наблюдаемое снижение напряжения электрического пробоя, которое в результате приводит к значительному макроэффекту.*

[Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда](https://rscf.ru/project/20-79-10262/) и опубликованы в журнале [«Surfaceand Coatings Technology»](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897221007775) (издательство Elsevier, Нидерланды). Этот журнал является одним из ведущих мировых научно-технических журналов в области технологий поверхностной обработки материалов и покрытий (входит в Q1 по Web of Science Core Collection, импакт-фактор – 4,16). Он публикует научные работы о передовых разработках в области «дизайна покрытий» с целью изменения и улучшения свойств материалов для защиты в сложных условиях эксплуатации, а также статьи, способствующие новому пониманию физики и процессов формирования поверхностных материалов с новыми или улучшенными свойствами.