

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРЕЦИЗИОННЫЕ ДЕТАЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Лойко В.А., к.т.н., доцент, Неделько Е.В., магистрант  
Белорусский государственный аграрный технический университет

Эффективное использование машин и оборудования обеспечивается высоким уровнем надежности, ремонтпригодности при техническом обслуживании и ремонте, наличием необходимого числа запасных частей. Сбалансированное обеспечение запасными частями ремонтных предприятий и сферы эксплуатации машин и оборудования, как показывают технико-экономические расчеты, целесообразно осуществлять с учетом периодического возобновления работоспособности деталей, восстановленных и упрочненных современными способами.

Восстановление и упрочнение деталей машин обеспечивает экономию высококачественного металла, топлива, энергетических и трудовых ресурсов, а также рациональное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды. Для восстановления работоспособности изношенных деталей требуется в 3-5 раз меньше технологических операций по сравнению с изготовлением новых деталей.

Применение при производстве и ремонте современной сельскохозяйственной техники прогрессивных технологий и использования новых конструкционных материалов, в том числе защитных покрытий с повышенными триботехническими, физико-химическими и механическими характеристиками являются основными направлениями повышения ее надежности и ресурса.

Вакуумно-плазменный процесс нанесения покрытия включает два отличающихся по энергетическим характеристикам этапа: 1 – двух-стадийную ионную очистку с распылением поверхности, включающую, первоначально бомбардировку ионами  $Ar$  с энергией до 4 кэВ с помощью специальных источников ионов, затем бомбардировку ускоренными ионами металла катода с энергией 1-4 кэВ; 2 - конденсацию покрытия в условиях конкурирующего, но более слабого распыления конденсата конденсирующимися ионами металла.

При этом необходимая для формирования качественного слоя энергия частиц при их столкновении с поверхностью может относительно легко быть подобрана путем изменения параметров генерации потока [1] и регулированием в широком диапазоне отрицательного потенциала смещения, подаваемого на деталь.

Характер взаимодействия плазменного потока с поверхностью твердого тела и протекание физико-химических процессов определяются энергией ионов, а также соотношением атомных масс ионов осаждаемого плазменного потока и атомов детали или образца, на которые осаждаются покрытие, теплофизических констант испаряемого металла, дозы ионов, угла падения потока, заряда (степени ионизации) ионов [2].

В диапазоне энергий  $8 \times 10^{-3} < E_i < 10^2$  эВ реализуется термическая активация поверхности, в диапазоне  $10^{-1} < E_i < 10^{-3}$  эВ наблюдается десорбция атомов примесей, в диапазоне  $50 < E_i < 5 \times 10^5$  эВ осуществляется создание активных центров, структурных дефектов в поверхностных слоях, в диапазоне  $5 \times 10^2 < E_i < 10^5$  эВ реализуется распыление поверхности детали или конденсата, а при энергиях  $5 \times 10^3 < E_i < 10^6$  эВ ионы проникают глубоко в кристаллическую решетку основного металла, в результате чего происходит внедрение и образование диффузионной зоны.

Покрытие конденсируется при энергиях ионов  $\sim 10^3 - 10^2$  эВ при уменьшении потенциала смещения до  $2 \times 10^1 - 3 \times 10^2$  В. При большей подвижности адсорбируемых атомов и малой плотности зародышей происходит агломерация, пленка состоит из крупных зерен, которые содержат меньше дефектов и становится сплошной при относительно небольшой толщине.

С другой стороны, срастание атомов и образование зародышей, рост пленки зависят от скорости поверхностной миграции адсорбированных атомов, которая возрастает с уменьше-

нием энергии активации поверхностной диффузии, повышением температуры и кинетической энергии адсорбированных атомов, температуры и чистоты поверхности подложки.

Бомбардировка ионами металла в процессе конденсации, с одной стороны, увеличивает плотность зародышей, благодаря чему уменьшаются размеры кристаллов и уменьшается толщина, при которой пленка становится сплошной, а с другой - увеличивает подвижность адсорбированных атомов, что способствует скорейшей агломерации пленки.

Серьезной проблемой данной технологии упрочнения и восстановления точных и особенно прецизионных деталей является загрязнение поверхности твердыми или расплавленными частицами, снижающими триботехнические характеристики поверхности. Наиболее радикальной мерой является использование тугоплавких, сублимирующих исходных материалов катодов при электродуговом испарении. Опытным путем установлено, что лучшими в этом классе являются *Cr* и *Mo* (с добавкой 3-5% *Ti* или *Zr*).

Нитриды и карбиды хрома и молибдена благодаря кристаллическому строению этих фаз внедрения и высоким физико-механическим характеристикам наиболее перспективны для нанесения в качестве твердого износостойкого слоя для восстановления и упрочнения прецизионных деталей сельхозтехники.

Для улучшения сцепления с основой целесообразно наносить на поверхность слой чистого металла (*Cr* или *Mo*), толщиной 0,2-0,5 мкм, затем твердый слой нитрида (или карбида) хрома (молибдена) либо карбонитрида.

В результате конструкция покрытия представляет собой двухслойную композицию из: 1- адгезионного слоя металла *Cr* или *Mo* 0,2-0,5 мкм, 2- твердого износостойкого слоя нитрида или карбида (толщина выбирается в зависимости от величины допуска на размер детали и требуемых по условиям эксплуатации функциональным характеристикам покрытия, которые обеспечиваются за счет толщины слоя покрытия).

Минимизация или полное исключение дисперсных и макро-частиц металла основы покрытия (твердых, каплеобразных, расплавленных) в формировании слоя покрытия решается также путем создания новых конструкций электродуговых испарителей и вспомогательных устройств [3].

Ответственные, нагруженные детали изготавливают из малоуглеродистых, легированных сталей с обработанной ХТО на высокую твердость поверхностью. Поэтому актуально снижение температуры поверхностных участков деталей в процессе нанесения покрытий, до величин, исключающих отпуск основного материала ( $<180^{\circ}$ ) путем исключения из технологического процесса очистки ионами металла и замены очистки ускоренным потоком предварительно ионизированного нейтрального газа с последующим осаждением слоя покрытия в условиях ассистирования ионизированным реакционным газом ( $N_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $CH_3$  и др.).

Обеспечение равной скорости осаждения покрытия по рабочей поверхности деталей путем строго определенной ориентации детали по отношению к оси плазменного потока и придания соответствующих движений, обеспечивающих равномерную толщину слоя на рабочих поверхностях.

#### Литература

1. Лойко, В.А. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве. / В.А. Лойко, [и др.] - Минск: Издательство УО БГАТУ, 2007 – 190 с.
2. Лойко В.А., Ивашко В.С. Формирование структур поверхностных слоев при вакуумно-плазменном нанесении покрытий. / Изобретатель. №7-8(139-140), 2011. С. 12-16.
3. Дороднов А.М., Петросов В. А. С физических принципах и типах вакуумных технологических плазменных устройств // ЖТФ - 1981. - Т. 51, № 3, С. 504-524.