

Все это обеспечивает более высокую прочность сцепления покрытий из ДПС-порошков по сравнению с объемно легированными материалами на основе железа при одинаковых режимах газотермического напыления по объему частиц.

Протекание реакции раскисления и высокая скорость диффузии бора при температурах ниже 1000 °С в металлах позволяют предположить эффективность термодиффузионного отжига деталей с покрытиями для улучшения прочности сцепления. Такая термообработка должна способствовать интенсификации процессов, приводящих к увеличению количества прочных химических связей между атомами металла частицы и основы.

Литература

1. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующие диффузионно легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.
2. Изучение особенностей процесса газотермического напыления покрытий из диффузионно легированных самофлюсующихся порошков на железной основе с применением математического моделирования / А.М. Авсиевич, Н.В. Спиридонов, О.Г. Девойно, С.П. Кундас, В.М. Константинов // Теория и практика машиностроения. – 2003 – № 2. – С. 36 – 39.
3. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.
4. Справочник химика. В 7 т. / Изд. 3-е, перераб. - Л.: Химия, 1971. Т.2.: Основные свойства неорганических и органических соединений. – 782 с.
5. Петрунин Н.Е., Лоцманов С.Н., Николоаев Г.А. Пайка металлов. – М.: Металлургия, 1973 – 280 с.
6. Кудинов В.В. Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. - М.: Металлургия, 1992. – 432 с.
7. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.Ф. Термодинамические свойства веществ. Справочник. – Л.: «Химия», 1977. – 392 с.
8. Физико-химические свойства окислов: Справочник / Под ред. Г.В. Самсонова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1978. – 472 с.
9. Куприянов И.Л., Геллер М.А. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления. – Мн.: Навука і тэхніка, 1990. – 176 с.
10. Девойно О.Г. Технология формирования износостойкого поверхностного слоя с использованием лазерного излучения: Дис. ... канд. техн. наук 05.03.07. – Мн., 1986. – 253 с.
11. Бенсон С. Основы химической кинетики. – М.: Мир, 1964. – 603 с.

УДК 621.357:621.791.042

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Константинов В.М., Семенченко М.В.

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк*

При нанесении защитных покрытий традиционно используются различные материалы: порошок, проволока, электроды. Химический состав наносимого материала напрямую зависит от требуемого комплекса эксплуатационных свойств. Легированные проволока, порошок, электроды и композиционная проволока отличаются повышенной стоимостью, что делает их применение экономически не выгодным.

Экономное поверхностное легирование проволоки, порошка, электродов, обеспечивающее необходимый химический состав наносимого материала и не повышающее столь значительно их стоимость представляется перспективным направлением для получения требуемого химического состава наносимого материала.

Большинство работ по диффузионному насыщению относится к насыщению макрообъектов, линейные размеры которых значительно превосходят толщину диффузионного слоя. При этом требуемые эксплуатационные свойства детали обеспечиваются за счет свойств сформированного диффузионного слоя. В этом случае диффузионное насыщение является последней стадией обработки детали, а химический состав сформированного слоя не играет первостепенной роли.

Порошок, проволоку и электроды следует отнести к микрообъектам – дискретным микрообъектам твердых тел, линейные размеры которых соизмеримы с толщиной диффузионного слоя [1]. В этом случае первостепенное значение имеет химический состав сформированного диффузионного слоя, а сам процесс диффузионного насыщения является промежуточным.

Экономному поверхностному легированию порошков посвящен ряд работ [1,2]. Можно выделить два характерных направления диффузионного насыщения порошков:

- получение синтетических насыщающих порошковых смесей методом химико-термической обработки (ХТО) для последующей диффузионной обработки макродеталей;
- диффузионное легирование металлических порошков для последующей наплавки (напыления) или получения деталей методами порошковой металлургии.

Применительно к проволоке возможна реализация последнего направления диффузионного насыщения. Следует отметить, что для проволоки, как и для порошков, характерно достижение трех степеней легированности:

- поверхностное частичное легирование;
- локальное легирование;
- объемное легирование.

Конечно, наиболее предпочтительным, является объемное легирование, обеспечивающее формирование диффузионного слоя наибольшей толщины и, следовательно, с наибольшей концентрацией насыщающего элемента.

В процессе традиционного диффузионного насыщения в печи при достаточном времени выдержки возможно объемное легирование проволоки. Скорость насыщения здесь определяется температурой и коэффициентом диффузии. Но при этом способе диффузионного насыщения наблюдается значительный градиент концентрации легирующего элемента в поперечном сечении проволоки всегда направленный вглубь металла, так как скорость диффузии насыщающего элемента внутрь проволоки меньше скорости его адгезии на поверхности. В поверхностном слое при достаточном времени выдержки формируется химическое соединение. В результате микротвердость диффузионного слоя на поверхности значительно выше микротвердости нижележащих слоев. Это способствует тому, что в процессе нанесения покрытия возможен скол диффузионного слоя с поверхности проволоки, что уменьшает концентрацию легирующего элемента в нанесенном защитном покрытии.

Кроме того, традиционное диффузионное насыщение в печи отличается длительностью процесса и протекает при высоких температурах. Длительная высокотемпературная выдержка не только вызывает перегрев и огрубление структуры, а, следовательно, ухудшение свойств, но и значительное коробление и деформацию и делает процесс экономически нецелесообразным. В случае диффузионного насыщения проволоки требуется применение печей непрерывного действия либо разработка специальных контейнеров [3].

Альтернативой традиционному насыщению в печи является электрохимико-термическая обработка (ЭХТО), позволяющая значительно снизить общее время обработки путем непосредственного ускорения процесса диффузионного насыщения и значительного сокращения времени нагрева проволоки до температуры насыщения.

Причина ускорения процессов при ЭХТО заключается в следующем [4]:

- смещение фазовых превращений в область более высоких температур оказывает существенное влияние на размер зерен аустенита в момент окончания фазовых переходов, что обусловлено возрастанием роли зарождения и уменьшением роли роста зерен в общем процессе образования аустенита с повышением температуры. При этом по мере смещения в область более высоких температур процесс роста зерен аустенита замедляется ввиду резкого сокращения времени нагрева. В результате формируется мелкозернистый аустенит, обладающий большей протяженностью границ. В то же время известно, что интенсивность диффузии вдоль границ и внутри зерен существенно различаются. Скорость граничной диффузии при определенных условиях может на пять-семь порядков превосходить скорость диффузии по зерну, поэтому насыщение должно совершаться значительно быстрее, чем в крупнозернистом.

- высокотемпературная фаза (аустенит), в которую диффундирует тот или иной элемент, в условиях образования при быстром нагреве содержит большое количество дефектов структуры (границ зерен и блоков, дислокаций и др.), значительно облегчающих процесс диффузии. Это приводит к тому, что аустенит, полученный при быстром нагреве, обладает повышенной химической активностью, что способствует быстрому протеканию реакций на границе раздела металл-активная среда.

- происходит нагрев только изделий и создаются лучшие условия как для протекания поверхностных реакций (особенно при газовых процессах), так и для более длительного сохранения активности насыщающей среды.

- применение электронного нагрева позволяет (без опасения испортить структуру сердцевин) повысить температуру некоторых процессов на 150–200 °С, что еще значительно ускоряет процесс насыщения.

По способу подвода энергии можно выделить следующие виды ЭХТО:

- ЭХТО, осуществляемая с помощью прямого пропускания тока через изделие (с помощью электроконтактного нагрева);

- ЭХТО, осуществляемая с помощью индуцирования тока в изделии (с использованием ТВЧ);

- ЭХТО, при которой нагрев осуществляется за счет передачи энергии электронов окружающей среды (при помощи тлеющего, коронного, дугового и других разрядов, электронного пучка).

Анализ возможных способов ЭХТО [5] показывает, что для диффузионного насыщения проволоки наиболее простой с точки зрения технической реализации является ЭХТО, осуществляемая с помощью прямого пропускания тока через изделие. Электроконтактный нагрев позволяет вести непрерывную обработку проволоки, не требует столь значительных затрат на оборудование, обеспечивает достижение значительных температур (1100°С – 1200°С и выше) за незначительный промежуток времени (1 – 2 секунды).

Отличительной особенностью данного процесса диффузионного насыщения является превосходство скорости диффузии насыщающего элемента внутрь проволоки над скоростью адгезии на поверхности проволоки, вследствие чего концентрация насыщающего элемента на поверхности значительно меньше, чем при традиционном насыщении в печи. Микротвердость по сечению проволоки уменьшается постепенно. Для алитированного слоя микротвердость составляет около 2000 МПа, не значительно отличаясь от микротвердости сердцевин (1350 - 1600 МПа) (рис. 1).

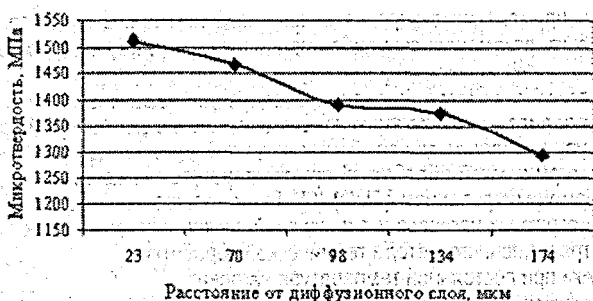


Рисунок 1. Изменение микротвердости сердцевин в поперечном сечении алитированной проволоки

Диффузионный слой имеет преимущественно структуру твердого раствора. Микроструктура алитированного слоя после различных режимов ЭХТО представлена на рисунке 2.

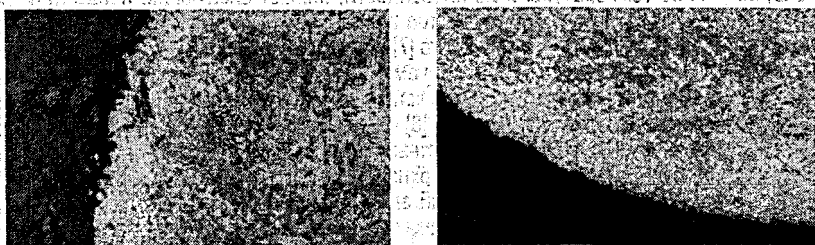


Рисунок 2. Микроструктура алитированного слоя после различных режимов ЭХТО, $\times 200$.

Не зависимо от режима ЭХТО применение внутреннего источника нагрева способствует тому, что температура проволоки выше температуры насыщающей смеси. Проведенные металлографические исследования показывают, что в данном случае происходит не только формирование диффузионного слоя, но также внедрение частиц насыщающей смеси в поверхность проволоки (рис. 3). Вследствие повышенной химической активности аустенита, полученного в результате быстрого нагрева, и более высокой температуры проволоки по сравнению с температурой насыщающей смеси, насыщающий элемент начинает активно диффундировать в проволоку, формируя локальную область повышенной концентрации. Это способствует увеличению концентрации легирующего элемента в проволоке

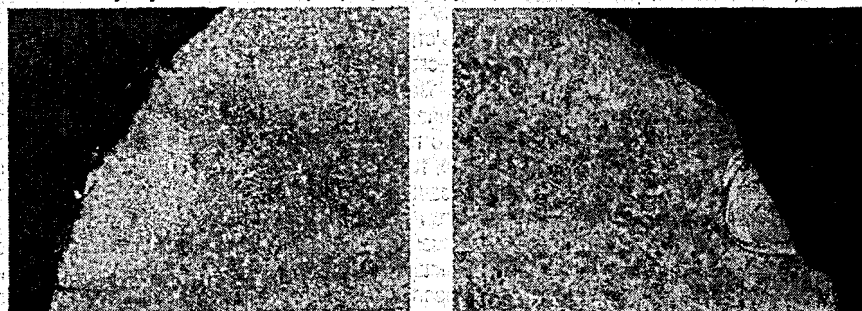


Рисунок 3. Микроструктура диффузионного слоя: а – титанирование, б – алитирование, $\times 200$.

Учитывая особенность применения внутреннего источника нагрева, в качестве насыщающей смеси могут быть рекомендованы либо чистые порошки, либо ферросплавы насыщаемых элементов.

Кроме соответствия по химическому составу проволока для защитных покрытий должна обладать удовлетворительной пластичностью в сочетании с достаточной прочностью. Улучшить структуру проволоки для защитных покрытий и, как следствие, повысить уровень ее свойств термической обработкой при температурах ниже температуры гомогенизации можно термоциклированием (ТЦО) [6]. Технологические процессы ТЦО состоят из операций многократных нагревов и охлаждений, режимы которых имеют два характерных отличия от традиционного метода термической обработки:

- отсутствие выдержки при постоянной температуре нагрева;
- осуществление многократных нагревов и охлаждений с оптимальными скоростями.

Кроме того, ТЦО является эффективным методом ускорения диффузионного насыщения поверхности деталей при одновременном улучшении их качества. На скорость диффузии; кроме температуры и легированности, влияют следующие параметры: размер аустенитного зерна, наличие дефектов кристаллического строения, наличие градиента концентрации насыщающего элемента [7]. Последнее создается нестационарностью и неоднородностью температурного поля. И чем выше отклонения от положения термодинамического равновесия, тем выше градиент концентрации и, следовательно, выше скорость распространения насыщающего элемента [8]. В процессе термоциклирования при изменении температуры (охлаждении) поверхностные слои изделия охлаждаются быстрее, чем внутренние. Следовательно, в этом поверхностном слое охлаждаемый аустенит будет менее способен растворять насыщающий элемент. Зато более глубокие слои с более высокой температурой будут более склонны к растворению насыщающего элемента. Таким образом, образуется мощный стимул массопереноса насыщающего элемента из более "холодных" поверхностных слоев в более "горячую" сердцевину.

Изучение кинетики роста диффузионных слоев при химико-термоциклической обработке показало, что использование маятникового ТЦО при борировании сталей 45 и У8 приводит не только к сокращению длительности термической обработки, но и к увеличению толщины борированного слоя на 20–25% [6].

Представляется перспективным совмещение ЭХТО, осуществляемой с помощью прямого пропускания тока через изделие и термоциклирования. Это позволит значительно ускорить процесс диффузионного насыщения, не ухудшая при этом свойства проволоки.

Применение диффузионного отжига, осуществляемого с помощью прямого пропускания тока через изделие, совмещенного с термоциклированием после традиционного насыщения в печи, позволяет уменьшить градиент концентрации насыщающего элемента.

При соответствующем подборе режима термоциклирования, например, при борировании, диффузионный слой будет иметь структуру эвтектического типа. По мнению многих исследователей, структура эвтектического типа обладает наибольшей износостойкостью в различных условиях контактного взаимодействия, что крайне важно для диффузионно-легированной проволоки, применяемой для нанесения защитных покрытий. Кроме этого, как известно, структура данного типа имеет наименьшую температуру плавления по сравнению со структурами других типов. Это позволит снизить скалывание диффузионного слоя в процессе нанесения защитного покрытия.

На основании всего вышеизложенного наиболее перспективным методом получения экономно-легированной проволоки для защитных покрытий представляется метод совмещения ЭХТО, осуществляемой с помощью прямого пропускания тока через изделие, осуществляемого с помощью прямого пропускания тока через изделие совмещенного с термоциклированием.

Это обеспечит оптимальное сочетание прочности и пластичности проволоки для защитных покрытий при значительной интенсификации процесса диффузионного насыщения. Потенциальные возможности этого метода велики, что позволяет прогнозировать расширение работ в указанной области.

Литература

1. Ворошнин Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО/Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. – 133 с.
2. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся порошки и износостойкие покрытия из них. / Ф.И. Пантелеенко, С.Н. Любецкий–Мн.: БелНИИНТИ, 1991 – 59 с.
3. Контейнер для химико-термической обработки проволоки: пат. на полезную модель Респ. Беларусь № 695 – В.М. Константинов, А.С. Губанов, Ф.И. Пантелеенко, М.В. Семенченко Заявл. 19.12.01. Оpubл. 30.12.02.
4. Кидин И.Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов / И.Н. Кидин [и др.]– М.: "Металлургия", 1978. – 320 с.
5. Семенченко М.В. Электро-химико-термическая обработка проволоки для защитных покрытий. / М.В. Семенченко: дисс... магистра техн. наук: 05.02.01. – ПГУ, 2003. – 70 с.
6. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металла и деталей машин / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989. – 255 с.
7. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов/Под ред М.Х.Шорошова.– М.: «Наука», 1984.–187 с.
8. Гурьев, А.М. Химико-термоциклическая обработка (ХТЦО) сталей и сплавов / А.М.Гурьев, Л.Г. // Ворошнин Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития литейного производства».– 2001. – Режим доступа: [http:// www.likeyka.boom.ru](http://www.likeyka.boom.ru). Дата доступа: 07.12.2005

УДК 621/793.14

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

Королёв А.Ю., Алексеев Ю.Г., Кособуцкий А.А., Фомихина И.В., Повжик А.А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Целью данной работы является исследование влияния режимов электролитно-плазменной обработки на структурные изменения в поверхностном слое обрабатываемого материала.

Метод обработки металлических изделий в электролитах при повышенных напряжениях постоянного тока - электролитно-плазменная обработка (ЭПО) широко используется для полировки поверхности деталей сложной формы. Исследованиям технологических режимов ЭПО для полирования различных металлических материалов посвящено большое количество исследований [1, 2]. Однако в них не в полной мере изучены вопросы состояния поверхностного слоя в процессе обработки.

В работе проведены исследования фазового состава, параметров тонкой структуры, параметров кристаллической решетки, металлографические и дюрOMETрические исследования поверхностных слоев образцов из коррозионностойкой стали 12X18H9, обработанных по технологии ЭПО.