

частности, и обусловлено различие пористости покрытий с различными карбидными добавками.

Следует отметить, что для всех рассматриваемых покрытий пористость сохраняется практически минимальной при концентрации карбидной составляющей смеси до 30-35 об.%. При дальнейшем увеличении содержания карбидов имеет место значительное возрастание пористости, что скорее всего имеет причиной увеличение числа взаимодействий карбид-карбид, приводящих к увеличению несплошности.

Прочность сцепления напыленного покрытия с подложкой, а значит, и качества переходной зоны также, в значительной степени зависит от количества карбидной составляющей механической смеси. Это объясняется тем, что адгезионное взаимодействие пары "материал основы - частица самофлюсующегося сплава" является значительно более сильным, чем "взаимодействие "карбид - материал основы", так как никелевая матрица частицы самофлюсующегося сплава имеет большее сродство со стальной (железной) основой, чем карбидная частица. Увеличение содержания карбидов и приводит к повышению числа зон взаимодействий карбидов с основой и, естественно, к снижению прочности сцепления покрытий с основой.

Анализ данных показывает, что наилучшие характеристики покрытия, как по пористости, так и по прочности сцепления сохраняются при добавках карбидов, не превышающих 30-35% объемных. Поэтому в дальнейших исследованиях нами использовались механические смеси с содержанием карбидов 30% объемных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / Уч. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1967. -600 с.
2. Киреев, В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций / М.: Химия, 1975. – 535с.
3. Войтович, Р.Ф. Окисление карбидов и нитридов / К.: Навукова думка. 1981. – 265с.
4. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Справочное издание. В 4-х томах. Изд. 3-е М.: Наука, 1978. - 480 с.
5. Баглар, А.С., Турчанин, А.Г., Фисенко, В.В. Термодинамические свойства карбидов. – К.: Навукова думка, 1973. - 270с.

УДК621.357:621.791.042

Константинов В.М., Семенченко М.В.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ДИФФУЗИОННОМ ЛЕГИРОВАНИИ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

*УО «Полоцкий государственный университет»
Новополоцк, Республика Беларусь*

Экономное поверхностное легирование проволоки для защитных покрытий, обеспечивающее необходимый химический состав наносимого материала и не повышающее столь значительно их стоимость представляется перспективным направлением для получения требуемого химического состава наносимого материала. Но традиционное диффузионное насыщение в печи имеет ряд существенных недостатков. Длительная высокотемпературная выдержка при традиционном диффузионном насыщении в печи вызывает не только перегрев и огрубление структуры, а, следовательно, ухудшение свойств, но и значительное коробление и деформацию и делает процесс экономически нецелесообразным.

Альтернативой традиционному насыщению в печи является электрохимико-термическая обработка (ЭХТО), позволяющая значительно снизить общее время обработки путем интенсификации процесса диффузионного насыщения и значительного сокращения времени нагрева проволоки до температуры насыщения, что представляется весьма эффективным методом энергосбережения, так как позволяет за более короткий промежуток времени обеспечить диффузионное насыщение проволоки.

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 индукцирования 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).

Для обработки проволоки наиболее приемлемой с точки зрения технической реализации является ЭХТО, осуществляемая с помощью прямого пропускания тока через изделие, так как это позволяет вести непрерывную обработку проволоки, не требуя значительных затрат на оборудование.

ЭХТО отличается рядом особенностей, характерных для быстрого нагрева:

1. Повышение рабочей температуры. Важнейшей особенностью фазовых превращений при быстром нагреве является значительное изменение температуры и времени их протекания. С повышением скорости нагрева фазовые превращения смещаются в область более высоких температур, и их продолжительность снижается [1]. Это дает возможность повысить рабочую температуру (т.е. температуры процесса) без ущерба для структуры глубинных слоев насыщаемого металла на 150-200°C, что значительно интенсифицирует процесс насыщения.

2. Изменение механизма образования аустенита. С изменением скорости нагрева и соответственно продолжительности воздействия температуры и фазовых превращений может существенно измениться не только кинетика, но и механизм образования аустенита. Если при медленном нагреве аустенит образуется только в результате диффузионных процессов, то при быстром нагреве возможно бездиффузионное образование аустенита. В доэвтектоидной стали этот бездиффузионный процесс может протекать на неоднородностях в ферритной фазе – по границам зерен и блоков. При этом основными являются превращения по границам блоков, так как они имеют большую протяженность. Кроме этого, при быстром нагреве не только у железа, но и у стали возможно чисто полиморфное превращение внутри блоков, это обнаружено экспериментально [1], что способствует интенсификации процесса диффузионного насыщения.

3. Сохранение активности насыщающей среды. 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 (в частности, для насыщения из паст и других твердых сред).

4. Измельчение зерен. 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. Указанное смещение может оказаться таким, что практически весь процесс будет представлять собой зарождение центров. Это возможно при большой скорости нагрева (при использовании индукционного нагрева, нагрева концентрированными источниками энергии), когда вследствие ограничения диффузии исходные фазы сохраняются до весьма высоких температур. При этом на разных температур-

ных уровнях зародыши аустенита внутри ферритной массы могут образовываться вначале (в связи с фактической неоднородностью ферритной массы) в микрообъемах, содержащих атомы углерода, а затем и в тех микрообъемах, которые свободны от углерода (в результате полиморфного превращения). Уменьшение объема зерен и увеличения их числа приводят к соответствующему возрастанию общей протяженности 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. Следовательно, в более мелкозернистом аустените, обладающем большей протяженностью границ, насыщение должно совершаться значительно быстрее, чем в крупнозернистом.

Также существует ряд особенностей обусловленных использованием внутреннего источника нагрева. В отличие от традиционного способа химико-термической обработки в печи, когда первичным процессом формирования диффузионного слоя является образование осажденной зоны на насыщаемой поверхности, а вторичным – диффузия насыщающего элемента из этой зоны в ненасыщенную основу ($V_a \gg V_d$), что способствует увеличению поперечного сечения проволоки, формирование диффузионного слоя при использовании внутреннего источника нагрева происходит в результате непосредственной диффузии активного элемента из газовой фазы в насыщаемый металл с первоначальным образованием твердого раствора насыщающего элемента в основе ($V_a \ll V_d$). Таким образом, в данном случае лимитирующей стадией процесса становится не диффузия насыщающего элемента вглубь изделия, как при традиционном насыщении в печи, а подвод активных атомов насыщающего элемента к поверхности детали. Учитывая тот факт, что происходит нагрев преимущественно изделий, в качестве насыщающей среды следует использовать среды, которые уже содержат активные атомы насыщающего элемента, либо среды, получение активных атомов из которых не требует значительного времени и температур (порошки чистых металлов, ферросплавы). Опыты по насыщению поверхности проволоки бором в смеси 99% B_4C + 1% NaF не дали положительного результата. В то время как насыщение алюминием из смеси (70% Al_2O_3 + 30 % Al) 99% + NaF 1% дало положительный результат.

Кроме соответствия по химическому составу проволока для защитных покрытий должна обладать удовлетворительной пластичностью в сочетании с достаточной прочностью. Улучшить структуру проволоки и, как следствие, повысить уровень ее свойств термической обработкой при температурах ниже температуры гомогенизации можно термоциклированием (ТЦО) – периодически повторяющимся нагревом и охлаждением по режимам, учитывающим внутреннее строение материала. Основным технологический параметр ТЦО – число термоциклов в единицу времени, где один термоцикл – суммарное время одного охлаждения и нагрева

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.

В зависимости от температуры процесса можно выделить низко-, средне- и высокотемпературную ТЦО; в зависимости от условий нагрева и охлаждения маятниковую ТЦО и ТЦО с промежуточными охлаждениями до комнатной температуры.

Главной целью традиционной ТЦО является повышение пластичности при обеспечении прочности изделия, так как при колебаниях температуры в процессе ТЦО происходит постоянное накопление от цикла к циклу изменений в структуре металлов, способствующих улучшению структуры. При выполнении нами комплекса работ главной целью ТЦО являлось не только повышение пластичности, но также интенсификация процесса диффузионного насыщения при одновременном улучшении качества проволоки.

На скорость диффузии, кроме температуры и легированности, влияют следующие параметры: размер аустенитного зерна, наличие дефектов кристаллического строения, наличие градиента концентрации насыщающего элемента [3]. Последнее создаётся нестационарностью и неоднородностью температурного поля. И чем выше отклонения от положения термодинамического равновесия, тем выше градиент концентрации и, следовательно, выше скорость распространения насыщающего элемента. В сталях, например, градиент концентрации углерода при изотермической цементации всегда направлен вглубь металла. И он постоянный при таком процессе. Скорость насыщения здесь определяется температурой и коэффициентом диффузии. Но при изменении температуры (охлаждении) поверхностные слои изделия охлаждаются быстрее, чем внутренние. Следовательно, в этом слое охлаждаемый аустенит будет менее способен растворять углерод. Зато более глубокие слои с более высокой температурой будут более склонны к растворению углерода. Таким образом, образуется мощный стимул массопереноса углерода из более "холодных" поверхностных слоёв в более "горячую" сердцевину. Аналогичным способом активизируются и другие процессы насыщения (азотирование, борирование и др.). Таким образом, ХТО сталей при некоторых циклически изменяющихся температурных режимах более эффективна, чем при постоянной температуре насыщения.

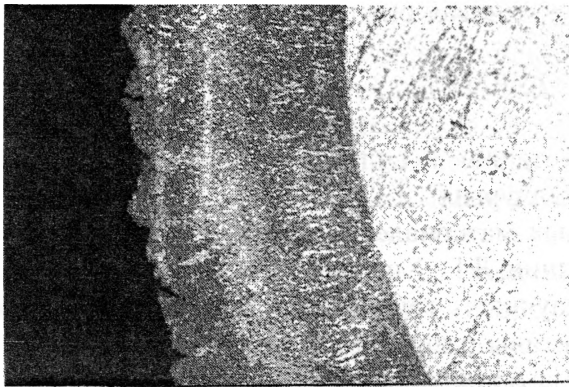
Шорошов М.Х. [2] отмечал, что ускорение процесса диффузионного насыщения при ТЦО заметно первые 0,5-1,0 час (5-10 термоциклов) ТЦО, в течение которых формируется цементируемый слой толщиной 0,8-1,0 мм, вместо необходимых 3-4 ч при изотермической выдержке. Дальнейшее термоциклирование замедляет интенсификацию процесса насыщения и зависимость роста толщины слоя от длительности ТЦО принимает почти линейный характер. Такой характер изменения роста толщины слоя указывает на зависимость процесса насыщения при ТЦО от структуры обрабатываемого материала.

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% [4].

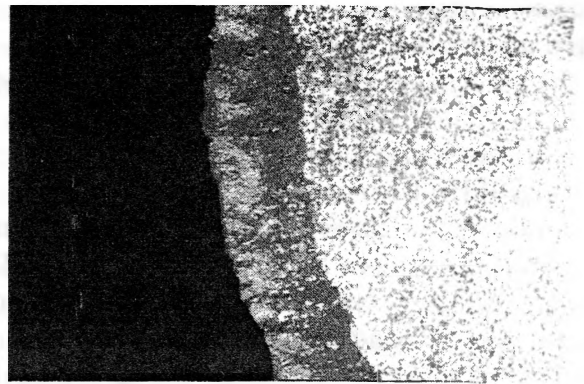
На основании всего вышеизложенного в качестве метода получения экономно-легированной проволоки для защитных покрытий предлагается метод совмещения ЭХТО с использованием электроконтактного нагрева и термоциклирования.

Комплекс работ по изучению особенностей ЭХТО и ТЦО позволил нам разработать установку для термической обработки проволоки. Нагрев проволоки осуществляет непосредственным пропусканием тока через изделие. Формирователь управляющих импульсов (задает амплитуду, продолжительность импульса и длительность паузы между импульсами) обеспечивает термоциклическую обработку. Установка позволяет изотермический и термоциклический электроотжиг стальной проволоки. Получен патент Республики Беларусь на полезную модель на установку для термической обработки проволоки [5].

Нами был проведен комплекс работ по исследованию влияния ТЦО при диффузионном отжиге на скорость «рассасывания» борированного слоя. Металлографические исследования показали качественное изменение диффузионного слоя: в зависимости от режимов обработки у образцов наблюдается полное или частичное устранение игольчатости слоя (Рисунок 1). Следует отметить, что проволока на рисунке 1а была обработана с большим количеством термоциклов, чем на рисунке 1б. причем количество термоциклов на порядок превосходила рекомендуемое число термоциклов в час Шорошовым М.Х.



а)



б)

Рисунок 1- Микроструктура борированных слоев после различных режимов термоциклического отжига, x200

Независимо от режима диффузионного отжига наблюдалось значительное повышение микротвердости сердцевины проволоки (Рисунок 2), обусловленное мелкозернистой структурой и значительными структурными и термическими напряжениями, возникающими в процессе ТЦО.

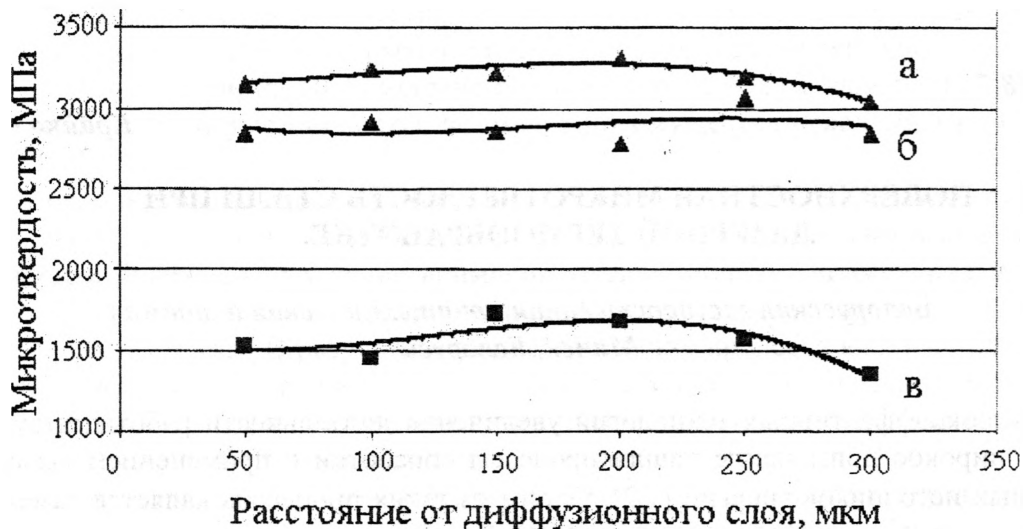


Рисунок 2 –Микротвердость сердцевины проволоки после различных режимов отжига (а,б) и неотожженной проволоки (в)

Проведенные исследования [6,7] подтвердили значительную интенсификацию диффузионного насыщения при совмещении термоциклирования и ЭХТО, осуществляемой с помощью прямого пропускания тока через проволоку, по сравнению с диффузионным насыщением в печи. Нагрев проволоки до температуры насыщения осуществлялся в течение нескольких секунд (из общего времени обработки исключается время «выхода печи на режим»). Время непосредственного диффузионного насыщения уменьшилось до нескольких минут (в то время как при традиционном насыщении печи оно составляет часы). Кроме того, при термоциклировании происходит периодическое отключение энергии на время равное длительности паузы, что уменьшает энергопотребление. В зависимости от режимов обработки время электроконтактного нагрева проволоки составляет 30-60 % от общего времени диффузионного насыщения либо диффузионного отжига.

Таким образом, электрохимико-термоциклическая обработка обеспечивает энергосбережение при диффузионном легировании стальной проволоки для защитных покрытий. Данный способ отличается значительным сокращением времени обработки, позволяет насыщать

стальную проволоку различными элементами, обеспечивая оптимальное сочетание прочности и пластичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов / Кидин И.Н., Андрияшечкин В.И., Волков В.А., Хомин А.С. – М.: "Металлургия", 1978. – 320 с. 2. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов/Под ред. М.Х.Шорошова.– М.: «Наука», 1984.–187 с. 3. Гурьев, А.М., Ворошнин, Л.Г. Химико-термоциклическая обработка (ХТЦО) сталей и сплавов Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития литейного производства».– 2001 // www.likeyka.boom.ru. 4. Федюкин, В.К., Смагоринский, М.Е. Термоциклическая обработка металла и деталей машин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989. – 255 с. 5. Патент на полезную модель РБ № 696 «Установка для термической обработки проволоки» – Константинов, В.М., Губанов, А.С., Абраменко, С.Н., Семенченко, М.В. Заявл. 05.03.02. Опубл. 30.12.02. 6. Семенченко, М.В. Электро-химико-термическая обработка проволоки для защитных покрытий. Дисс...магистра техн. наук: 05.02.01. -- ПГУ, 2003. – 70 с. 7. Семенченко, М.В., Красиков, В.Л., Дашкевич, В.Г. Электрохимико-термическая обработка проволок для напыления и наплавки// Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. Материаловедение. Том 2, №2, 2003.– С. 12-17.

УДК 621.9.048.7

Крайко С.Э.

ПОВЕРХНОСТНАЯ МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКЕ.

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Среди высокоэффективных технологий увеличения длительности работы штампового инструмента широкое применение нашли процессы обработки с применением высококонцентрированных источников энергии [1,2]. Одним из таких процессов является лазерная закалка режущих кромок матрицы и пуансона [3,4]. Данная технология заключается в локальном нагреве рабочих участков штампа лазерным излучением и охлаждение этих участков со сверхкритической скоростью за счет теплоотвода во внутренние слои металла после прекращения воздействия. В процессе температурной обработки в металле последовательно происходят фазовые превращения: на этапе нагрева идет формирование аустенитной структуры, на этапе охлаждения – превращение ее в мелкодисперсный мартенсит. Наличие последнего в поверхностном слое приводит к увеличению микротвердости и сопротивляемости износу [5].

К числу особенностей данной технологии относится то, что воздействие лазерного излучения на обрабатываемый материал является поверхностным процессом, а также то, что использование больших мощностей излучения не желательно, так как ведет к быстрому достижению режущими кромками пороговой температуры с последующим их оплавлением. Небольшая глубина упрочненного слоя компенсируется тем, что термическое упрочнение осуществляется как заключительная технологическая операция изготовления штампового инструмента, без последующей механической обработки.

Кроме выше сказанного, особенностью поверхностной лазерной закалки является то, что эффективность использования энергии луча в процессе закалки определяется коэффициентом поглощения инфракрасного излучения. Величина коэффициента поглощения чистыми