

В. М. КОНСТАНТИНОВ, канд. техн. наук (БНТУ),
М. В. СЕМЕНЧЕНКО (Полоцкий государственный университет),

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГИРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Восстановление изношенных рабочих поверхностей деталей является актуальной задачей. Основными способами восстановления изношенных деталей являются наплавка и напыление, в результате которых формируется защитное покрытие, обладающее определенными эксплуатационными свойствами. Для обеспечения заданного комплекса свойств применяют наплавочный материал определенного химического состава. Но легированные наплавочные материалы отличаются повышенной стоимостью, и их применение экономически не выгодно в случае восстановления дешевых быстроизнашиваемых деталей.

Одним из путей решения указанной проблемы является снижение стоимости сплавов для защитных покрытий. По мнению авторов, разработка принципиально новых составов наплавочных сплавов в ближайшее время затруднительна. Учитывая современную экономическую ситуацию, следует снижать стоимость известных, ранее используемых наплавочных сплавов за счет разработки новых способов их получения. Принципы диффузионного легирования наплавочных порошков открывают широкие перспективы синтеза экономно-легированных сплавов заданного состава [1].

Переход от диффузионного легирования полидисперсных порошковых систем к легированию стальной проволоки имеет ряд технологических преимуществ, обусловленных спецификой объекта. Это в первую очередь повышение равномерности обработки и простота последующего нанесения покрытия. Однако существуют определенные сложности, требующие исследований. Диффузионное легирование проволоки в традиционных порошковых насыщающих смесях трудоемко и энергозатратно. Предварительные расчеты свидетельствуют, что стоимость такой проволоки становится сопоставимой с тра-

диционными наплавочными проволоками. Поэтому для получения конкурентоспособной наплавочной диффузионно-легированной проволоки необходимо радикально ускорять процесс диффузионного легирования.

Альтернативой традиционному насыщению в печи является электрохимико-термическая обработка (ЭХТО) [2, 3]. ЭХТО используется уже довольно продолжительное время. Первым попытался применить электрический ток для ускорения цементации А. С. Гельфонд в 1936 г. [2]. Развитие процессов ЭХТО обусловлено возможностью резкого сокращения длительности легирования, получения самых разнообразных состояний диффузионных слоев и сердцевин изделий и хорошей технологичностью этих процессов.

По виду источника нагрева все способы ЭХТО можно разделить [4] (рис. 1):

на ЭХТО при нагреве внутренним источником нагрева;

на ЭХТО при нагреве внешним источником нагрева.

По способу подвода энергии ЭХТО можно классифицировать также следующим образом:

осуществляемая с помощью прямого пропускания тока через изделие;

осуществляемая с помощью индуцирования тока в изделии;

нагрев производится за счет передачи энергии электронов окружающей среды.

Для обработки 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 (1100–1200 °С и выше) за незначительный промежуток времени (1–2 с). В настоящее время можно выделить следующие виды ЭХТО с использованием электроконтактного нагрева: в порошковой среде; в жидкости, расплаве; с использованием паст; с использованием обмазок; в газовой среде; в экзотермических смесях; в электротермическом кипящем слое.

Кроме соответствия по химическому составу проволока для защитных покрытий должна обладать удовлетворительной пластич-

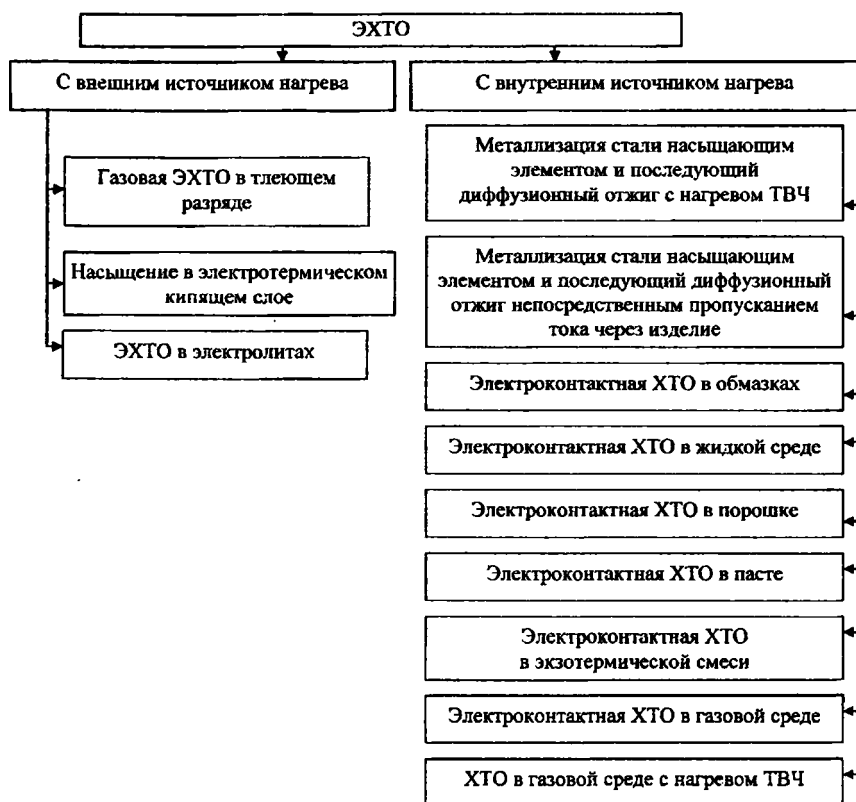


Рис. 1. Классификация способов электрохимико-термической обработки

ностью 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 повторяющимися нагревом и охлаждением по режимам, учитывающим внутреннее строение материала.

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 самом общем виде все виды способы ТЦО можно подразделить на три основные группы [5]: обработка, основанная на термоциклировании через линию растворимости; обработка с полным или частичным прохождением диффузионного фазового превращения при ТЦО; обработка при ТЦО сначала через интервал диффузионного, а затем бездиффузионного (мартенситного) перехода. Также можно выделить в зависимости от температуры процесса низко-, средне- и высокотемпературную ТЦО; в зависимости от условий нагрева и охлаждения маятниковую ТЦО и ТЦО с промежуточными охлаждениями до комнатной температуры.

ТЦО при совмещении с химико-термической обработкой во многом устраняет основные недостатки традиционной химико-термической обработки. Во-первых, те структурные изменения, которые получаются в результате ТЦО, ускоряют последующую диффузию атомов в основной материал. Во-вторых, проведение ХТО в температурном режиме ТЦО является наиболее эффективным методом интенсификации химического насыщения поверхностей деталей при одновременном улучшении их качества. В-третьих, использование ТЦО после ХТО в одном технологическом процессе исправляет перегрев (крупнозернистость) и другие дефекты структуры, получаемые обычно при высокотемпературной химико-термической обработке.

Был осуществлен диффузионный электротермоциклический отжиг борированной в печи проволоки [6, 7]. Металлографические исследования показали качественное изменение диффузионных слоев. У них в зависимости от режимов обработки наблюдается полное или частичное устранение игольчатости борированного слоя. На границе слоя боридов со сталью появляется характерная темная прослойка (боридная эвтектика), причем ее толщина тем больше, чем меньше разность между максимальной и минимальной температурами нагрева. Это обусловлено большим количеством термоциклов (термоциклсуммарное время охлаждения и нагрева), так как в данном случае проволока большее количество раз претерпевает фазовые превращения и более длительное время находится при более высоких температурах.

Следует отметить, что плавление борированного слоя начиналось на границе диффузионный слой – основной металл, так как эта зона имеет наиболее низкую температуру плавления. Кроме того, так как

в данном случае используется внутренний источник нагрева (электрический ток, пропускаемый непосредственно через проволоку), тепловой поток распространяется от сердцевины проволоки, имеющей меньшее электрическое сопротивление, к диффузионному слою, что предотвращает деборирование поверхностного слоя, характерное для традиционного диффузионного отжига в печи. Независимо от режима ТЦО происходит увеличение среднего значения микротвердости сердцевины от 1600 МПа у неотожденного образца до 2900–3200 МПа у образца после диффузионного отжига. Среднее значение микротвердости сердцевины тем выше, чем больше разность между максимальной и минимальной температурами нагрева, что, вероятно, обусловлено большими термическими напряжениями, возникающими в процессе термоциклирования.

Определенный интерес вызывают диффузионные слои со структурой эвтектического типа. По мнению многих исследователей, этот тип структуры обладает наибольшей износостойкостью в различных условиях контактного взаимодействия. Формирования таких диффузионных слоев можно достичь, например, диффузионным электротермоциклическим диффузионным отжигом в интервале температур солидус – ликвидус.

Нами был проведен диффузионный отжиг борированной проволоки в интервале температур 1075–1260 °С (интервал ликвидус – солидус). Металлографические исследования показали, что у образца практически отсутствует характерная для борированного слоя игольчатость слоя. Толщина диффузионного слоя возросла приблизительно в 1,5 раза (рис. 2, а). Плавление борированного слоя также началось на границе диффузионный слой – основной металл, распространяясь как в сторону поверхности, так и в глубь проволоки. Однако вследствие того что обработка происходила в интервале ликвидус – солидус, возможно образование участков выхода жидкости на поверхность, что может вызвать искажение формы проволоки, ухудшив ее технологические свойства (рис. 2, б).

Были проведены исследования возможности реализации непосредственного диффузионного насыщения проволоки Св.08 алюминием и бором на разработанной и изготовленной лабораторной установке для термической обработки проволоки.

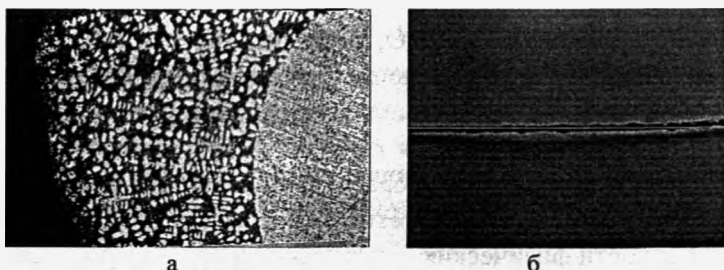


Рис. 2. Проволока после обработки в интервале ликвидус – солидус: а – микро-структура. $\times 100$; б – внешний вид

Алитирование осуществлялось в смеси (70% Al_2O_3 + 30% Al) 99% + NaF 1%. Диффузионный слой представляет собой твердый раствор алюминия в α -железе. Следует отметить, что для электрохимико-термической обработки характерно получение твердого раствора в диффузионном слое, так как фазовые превращения смещаются в область более высоких температур и требуется нагрев до более значительных температур, чтобы обеспечить формирование химического соединения в диффузионном слое.

Из рассмотренного выше можно сделать следующие выводы.

1. Электрохимико-термическая обработка является перспективным способом получения экономно-легированной стальной проволоки для нанесения защитных покрытий. Электронагрев позволяет радикально интенсифицировать процесс диффузионного насыщения, так как при быстром нагреве фазовые превращения смещаются в область более высоких температур и их продолжительность снижается. Это дает возможность увеличить рабочую температуру (т. е. температуру процесса) без ущерба для структуры глубинных слоев насыщаемого металла на 150–200 °С. Кроме того, процесс насыщения повышает многократное прохождение через границу α - γ -перехода в процессе термоциклирования, которое вызывает значительное измельчение зерна, повышение плотности дислокаций и концентрации вакансий.

2. Использование ТЦО после ХТО в одном технологическом процессе исправляет перегрев (крупнозернистость) и другие дефекты структуры, получаемые обычно при высокотемпературной химико-

термической обработке, а ТЦО, совмещенная с электронагревом, позволяет произвести диффузионный отжиг в большом температурном интервале, в том числе в интервале ликвидус – солидус, в результате которого формируется диффузионный слой со структурой эвтектического типа. Однако обработка в указанном температурном интервале требует разработки технологических режимов, учитывающих особенности физических, химических и других процессов, протекающих при скоростном электронагреве и ТЦО, а также свойства насыщаемой проволоки, вводимого элемента для предотвращения искажения формы проволоки.

3. Существенным отличием электрохимико-термической обработки проволоки является формирование диффузионного слоя с низколегированными фазами преимущественно твердорастворного типа с малым количеством карбидов. Толщина диффузионного слоя при этом достигает 80–100 мкм, и качество поверхностного слоя не ухудшается.

4. Учитывая тот факт, что при электрохимико-термической обработке происходит нагрев преимущественно проволоки, 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).

Таким образом, электрохимико-термическая обработка – один из перспективных способов получения экономно-легированной стальной проволоки для нанесения защитных покрытий путем напыления, наплавки и методом электроискровой обработкой. Потенциальные возможности этого метода велики, что позволяет прогнозировать расширение работ в указанной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пантелеенко Ф. И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.

2. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов / И. Н. Кидин, В. И. Андриюшечкин, В. А. Волков, А. С. Хомин. – М., 1978. – 320 с.

3. Семенченко М. В., Красиков В. Л., Дашкевич В. Г. Электрохимико-термическая обработка проволок для напыления и наплавки // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. Материаловедение. – 2003. – Т. 2, № 2. – С. 12–17.

4. Прогрессивные методы ХТО / Под ред. Г. Н. Дубинина, Я. Д. Когана. – М., 1979. – 184 с.

5. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов / Под ред. М. Х. Шорошова. – М., 1984. – 187 с.

6. Семенченко М. В., Губанов А. С. Электротермоциклический отжиг диффузионно-легированной проволоки для защитных покрытий // Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: Тем. сб. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – С. 131–133.

7. Патент на полезную модель РБ № 696. Установа для термической обработки проволоки / В. М. Константинов, А. С. Губанов, С. Н. Абраменко, М. В. Семенченко.

УДК 669.14-156:621.785.5

Е. С. ГОЛУБЦОВА, канд. техн. наук,

Б. А. КАЛЕДИН, канд. техн. наук (БНТУ), **Н. Б. КАЛЕДИНА** (БГТУ)

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ ПУТЕМ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Современное машиностроение неразрывно связано с использованием материалов. Из года в год увеличиваются и потребность в различного рода материалах, и необходимость их беречь и экономить. Главные пути сокращения расхода материалов хорошо известны – это улучшение технологии производства, совершенствование конструкций машин и оборудования, снижение их массы. Поднять эффективность использования, например, металлических материалов можно за счет повышения их качества, разработки и внедрения в производство новейших методов упрочнения.

Существенным резервом экономии металлов является широкое применение в машиностроении высокопрочных конструкционных сталей, позволяющих снизить материалоемкость производства благодаря увеличению надежности и рациональному понижению запаса прочности деталей машин, аппаратов и конструкций [1].

Опыт последних лет показывает, что проблема обеспечения новой техники высокопрочными сталями не может быть решена с помощью одних лишь традиционных способов воздействия на структуру и свойства металла (легирование, термическая обработка). За-