

УДК 621.7.669.017

НОВЫЕ АСПЕКТЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ В ПОРОШКОВЫХ СРЕДАХ

Ю.М. ДОМБРОВСКИЙ, М.С. СТЕПАНОВ

(Донской государственный технический университет)

На основе сравнительного анализа сделан вывод о перспективности процесса химико-термической обработки металлов в порошковых средах. Предложена новая схема ХТО в порошках каменного угля и кокса и экспериментально доказана ее эффективность в связи со значительным сокращением времени диффузионного насыщения при цементации.

Ключевые слова: химико-термическая обработка металлов, микродуговые процессы в электропроводных порошках.

Введение. Химико-термическая обработка (ХТО) – один из наиболее эффективных методов поверхностного упрочнения металлических изделий. Идея создания на их поверхности диффузионной зоны со специфическим химическим составом привлекает внимание специалистов, прежде всего, благодаря своей рациональности. Именно на поверхности изделий зарождаются трещины – предвестники разрушения, возникают максимальные напряжения как реакция на эксплуатационные нагрузки, наблюдаются явления интенсивного износа при трении о сопрягаемое изделие.

ХТО развивалась на протяжении XX в., претерпела изменения теоретических основ и технологических принципов, что нашло отражение в большом количестве работ разных научных школ [1 – 3].

Классическими стали методы диффузионного насыщения деталей машин и инструмента в газовых и твердых средах. Ставшие стандартными технологии цементации и азотирования дают стабильные результаты, однако обладают низкой производительностью и требуют высоких энергозатрат. Так, газовая цементация низкоуглеродистой стали на глубину 1,0–1,2 мм требует нагрева и выдержки при температуре 920–930 °С в течение 18–20 ч. Науглероживание в твердом карбюризаторе существенно не отличается от приведенных режимов.

Заметным шагом в направлении интенсификации процесса ХТО явилось применение расплавов солей. Так, жидкостное борирование и цианирование для достижения практически значимых результатов может продолжаться до нескольких часов.

Дальнейшие исследования показали эффективность электрического нагрева при ХТО, это касалось обработки в постоянных и высокочастотных электромагнитных полях. Особенно высокие показатели были достигнуты при нагреве токами высокой частоты изделий с поверхностным нанесением насыщающих паст. Продолжительность обработки в этом случае сократилась до десятков минут.

Весьма интересным направлением в развитии ХТО явилась идея электрохимико-термической обработки в электролитах, содержащих легирующий элемент. Ускорение процессов диффузионного насыщения объяснялось образованием микродуг в паровой рубашке, возникающей вокруг изделия, нагреваемого в электролите, за счет пропускания электрического тока. Наиболее фундаментальной работой в этом направлении является монография П.Н. Белкина, обобщившая опыт ХТО в электролитах, полученный на протяжении последних десятилетий, включая и оригинальные результаты автора [4].

Постановка задачи. Известно, что микродуги возникают не только при электролитном нагреве, но и пропускании электрического тока через электропроводную порошковую среду. Упоминается положительный опыт сотрудников кафедры «Металловедение и термическая обработка» Белорусского политехнического института в применении порошковых насыщающих сред для ХТО [3]. В такой схеме через порошковую среду – графит зернистостью 0,1–0,4 мм пропускали электриче-

ский ток, а обрабатываемое изделие и два электрода были погружены в эту среду и выполняли функции электрических полюсов. Вся эта система находилась в вакуумированном контейнере либо в среде инертного газа и подвергалась воздействию низкочастотных (15 Гц) механических колебаний. Утверждается, что при плотности тока $(2-4) \cdot 10^{-5}$ А/м², установившейся температуре внутри контейнера 1223–1273 К и амплитуде колебаний 0,2 мм на образце из стали 20Х получали цементованный слой глубиной 0,6 мм за 15 мин, а 1,0 мм – за 35 мин. Эффект ускорения цементации объясняется переводом в атомарное состояние насыщающей среды под действием микродуг, возникающих в графите, что также способствует активации процесса адсорбции поверхностью образца атомов углерода.

Но предложенная схема белорусских коллег не лишена недостатков. В частности, вызывала сомнение целесообразность возбуждения механических колебаний, которые, как известно, являются одним из экологических факторов, вызывающих негативное воздействие на здоровье человека. Не находит объяснения и представляет собой очевидную ошибку приведенная низкая плотность тока на образце [3], которая не способна привести к нагреву, поскольку на порядки меньше допустимой плотности тока при расчете проводниковых материалов. Остается без логического объяснения необходимость вакуумировать или наполнять аргоном контейнер с графитом, электродами и обрабатываемым изделием при диффузионном насыщении атомарным углеродом. Сомнительна целесообразность помещения двух электродов, расположенных по обе стороны от обрабатываемого изделия, в контейнер. Очевидно, такое расположение электродов должно приводить к неравномерности глубины насыщения по периметру изделия и преимущественному насыщению тех его частей, которые обращены к электродам.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Авторами предложена схема ХТО, лишенная перечисленных недостатков. Она не предусматривает герметизации контейнера, его вакуумирования или заполнения аргоном, а также возбуждения механических колебаний контейнера и изделия. Кроме того, используется насыщающая среда, претерпевающая экзотермическую реакцию при нагреве и возгорании. В качестве такой среды выбран порошок каменного угля, который играет роль источника атомарного углерода, микродугообразующей среды и обладает значительным тепловым эффектом при горении. Кроме того, для локализации процесса насыщения заданного участка поверхности изделия схема обработки предусматривает минимальное соотношение площадей электродов и изделия (10:1), что позволяет на порядок увеличить плотность тока на участке обрабатываемой поверхности, подлежащей насыщению.

Приводятся методика и некоторые предварительные результаты экспериментальной апробации предложенного способа микродуговой ХТО.

Цементации подвергали цилиндрические образцы (диаметр 12 мм, длина 30 мм) из стали 20, которые закрепляли в державку и погружали на половину длины в порошок каменного угля зернистостью 0,3–0,5 мм. Порошок заполнял цилиндрический стальной контейнер диаметром 70 мм на высоту 100 мм. Источником тока служил тиристорный выпрямитель, собранный по мостовой схеме с возможностью плавного регулирования напряжения до 300 В. Источник подключали к державке образца и контакту на контейнере, замыкая, таким образом, цепь «образец – угольный порошок – контейнер». Напряжение регулировали с возрастанием от нулевой отметки.

При возрастании напряжения до 15–20 В в порошке угля сначала возникали беспорядочные микродуги, которые появлялись и исчезали по всей поверхности порошка в контейнере. При возрастании напряжения до 50 В примерно через 15–20 с микродуги концентрировались вокруг образца в зоне толщиной 4–6 мм (рис. 1).

При дальнейшей выдержке и прежнем напряжении микродуги исчезали, и на их месте появлялась зона нагрева шириной 5–6 мм вокруг образца (рис. 2). При этом становилось заметным горение угольного порошка с выделением газовой составляющей и характерным запахом печного

газа. Через 100 с выпрямитель выключали, и образец медленно остывал в том же состоянии в течение 5–6 мин, а затем извлекался из державки и охлаждался в проточной воде.



Рис. 1. Зона микродуг вокруг образца



Рис. 2. Зона горения угольного порошка

Наличие цементованного слоя контролировали методом микроструктурного анализа. С этой целью изготавливали поперечный микрошлиф, травили его реактивом Ржешотарского и наблюдали микроструктуру с помощью металлографических микроскопов МИМе7 и Neophote21.

На рис. 3 представлена микроструктура характерного участка по периметру образца. Видно, что при исходной ферритно-перлитной микроструктуре стали с преобладанием феррита поверхностный слой на глубину порядка 0,3 мм состоит из сорбитообразного перлита, что свидетельствует о насыщении поверхностного слоя образца углеродом до эвтектоидной концентрации. Более того, даже при использованном увеличении в поверхностных зонах слоя местами наблюдаются прожилки цементита в связи с возрастанием концентрации углерода выше эвтектоидной. Такое строение характерно для цементации в связи с наличием градиента концентрации углерода по глубине диффузионной зоны.



Рис. 3. Микроструктура поверхностного слоя стали 20 после микродуговой цементации

Аналогичные результаты были получены при обработке в порошке кокса, причем последний показал себя более предпочтительным материалом, поскольку процесс его горения сопровождался выделением значительно меньшего количества печных газов по сравнению с каменным углем.

При проведении экспериментов была также обнаружена еще одна особенность процесса микродуговой ХТО: для получения равномерной глубины цементованного слоя требуется располагать упрочняемую поверхность эквидистантно относительно стенок контейнера, в противном случае участки поверхности, расположенные ближе к стенкам контейнера прогреваются раньше и до более высокой температуры и имеют большую глубину цементованного слоя. Данная особенность может быть использована в том случае, если техническими требованиями оговорена переменная глубина цементованного слоя.

Измерение твердости по сечению образца после микродуговой цементации выполняли на микротвердомере ПМТеЗ при нагрузке 0,98 Н.

В исходной структуре стали 20 микротвердость составила в среднем 3220 МПа, в переходной зоне она повысилась до 4740 МПа, а в пределах цементованного слоя изменялась от 8240 до 9760 МПа в направлении от сердцевины к поверхности. Такая высокая микротвердость, характерная для сдвиговых структур или карбидов [5], может быть объяснена в данном случае значительным содержанием карбидной фазы в структуре поверхностного слоя образца и образованием псевдоэвтектоида, сформировавшегося в процессе достаточно быстрого охлаждения, с преобладанием в составе избыточного цементита в структуре стали заэвтектоидного состава.

Выводы. Таким образом, описанный способ микродуговой ХТО имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с аналогами и позволяет в течение нескольких минут сформировать диффузионный слой глубиной, соизмеримой с традиционными способами ХТО. Как видно, для реализации этого способа не требуется сложное оборудование, что позволяет создавать диффузионные слои на крупногабаритных изделиях и локализовать упрочнение по глубине и геометрии в заданных пределах путем изменения формы и размеров контрэлектрода.

Расход порошкового материала в данной технологии может быть сведен к минимуму, поскольку, как было показано, основной процесс насыщения протекает в незначительном объеме порошка, непосредственно прилегающем к упрочняемой поверхности.

Предложенный способ ХТО позволяет создавать многокомпонентное диффузионное насыщение, например, возможно проведение нитроцементации при добавлении к угольному порошку азотсодержащих компонентов – карбамида или селитры. При этом открывается широкая перспектива вариации составов и свойств диффузионных слоев.

Кроме перечисленных, предстоит изучить принципиальные вопросы, влияющие на результаты ХТО:

- влияние фракционного состава порошка;
- воздействие полярности постоянного тока и возможность применения переменного напряжения;
- рациональные энергетические режимы ХТО;
- производительность процесса применительно к различным сочетаниям легирующих компонентов;
- установление механизма ускорения и закономерностей процесса микродугового поверхностного диффузионного насыщения.

По завершении этой работы данная технология ХТО может быть предложена промышленным предприятиям для практического использования.

Библиографический список

1. Лахтин Ю.М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Metallurgiya, 1985. – 255 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Г.В. Борисёнок [и др.]. – М.: Metallurgiya, 1981. – 424 с.
3. Ворошнин Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки / Л.Г. Ворошнин, О.Л. Менделеева, В.А. Смёткин. – Минск: Новое знание, 2010. – 297 с.
4. Белкин П.Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов / П.Н. Белкин. – М.: Мир, 2005. – 336 с.
5. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов / В.К. Григорович. – М.: Наука, 1976. – 230 с.

Материал поступил в редакцию 05.07.11.

References

1. Laxtin Yu.M. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov / Yu.M. Laxtin, B.N. Arzamasov. – M.: Metallurgiya, 1985. – 255 s. – In Russian.
2. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov: spravochnik / G.V. Borisyonok [i dr.]. – M.: Metallurgiya, 1981. – 424 s. – In Russian.
3. Voroshnin L.G. Teoriya i texnologiya ximiko-termicheskoy obrabotki / L.G. Voroshnin, O.L. Mendeleeva, V.A. Smyotkin. – Minsk: Novoe znanie, 2010. – 297 s. – In Russian.
4. Belkin P.N. E`lektroximiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov / P.N. Belkin. – M.: Mir, 2005. – 336 s. – In Russian.
5. Grigorovich V.K. Tvyordost` i mikrotvyordost` metallov / V.K. Grigorovich. – M.: Nauka, 1976. – 230 s. – In Russian.

NEW ASPECTS OF SURFACE IMPREGNATION IN POWDER ENVIRONMENT

Y.M. DOMBROVSKIY, M.S. STEPANOV

(Don State Technical University)

The conclusion on the perspective surface impregnation in the powder environment is drawn from the comparative analysis. A new scheme of the surface impregnation in coal and coke powders is offered. Its efficiency, owing to the significant reduction of time on the diffusion saturation under the cementation, is proved experimentally.

Keywords: surface impregnation, microarc processes in electroconducting powders.