

УДК 621.785.51.06

Сравнительный анализ методов ускорения поверхностного легирования в порошковых средах

М. С. Степанов, Ю. М. Домбровский, Ю. А. Корнилов

(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены возможности ускорения процессов химико-термической обработки (ХТО) металлических изделий, осуществляемых с использованием порошковых насыщающих сред. Предложен способ ХТО, позволяющий интенсифицировать процесс образования диффузионного слоя и снизить энергетические затраты на его осуществление. Практическая апробация подтвердила целесообразность применения данного способа.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, порошковая насыщающая среда.

Введение. Химико-термическая обработка (ХТО) является эффективным способом поверхностного упрочнения металлических изделий. Основной отличительной особенностью ХТО является сочетание термического и химического воздействия на обрабатываемый материал [1—3]. Если использование других методов поверхностного упрочнения (например, термических или механических) позволяет изменить только структуру приповерхностных микрообъемов материала, то при ХТО в результате диффузионного насыщения изменяется химический и фазовый состав поверхности изделия. При этом образуются структуры, которые обладают свойствами, существенно отличающимися от исходных свойств материала изделия, что обеспечивает ему повышение твердости, износостойкости, коррозионной стойкости, усталостной выносливости.

При проведении большинства процессов ХТО диффузионное насыщение осуществляется в газовых, твердых или жидких средах. Технологически наиболее простым и доступным в условиях мелкосерийного, ремонтного и индивидуального производства является насыщение в твердых средах.

Стандартный процесс ХТО предусматривает использование порошковых насыщающих сред, которые помещают в металлические контейнеры вместе с упрочняемыми изделиями. Контейнеры после герметизации загружают в термическую печь, нагретую до температуры процесса ХТО, и выдерживают, как правило, десятки часов до получения требуемой толщины диффузионного слоя. Так осуществляются процессы цементации, хромирования, алитирования, комплексного термодиффузионного насыщения [1—3].

Постановка задачи. Классические способы ХТО с применением порошковых насыщающих сред позволяют получить качественный диффузионный слой необходимой глубины, однако отличаются низкой скоростью его формирования, а также значительной энергоёмкостью вследствие длительности процесса ХТО. Поэтому предлагаются новые, более эффективные и менее энергоёмкие процессы ХТО, с использованием порошковых насыщающих сред. В настоящей работе поставлена задача анализа результатов ряда публикаций по данному вопросу и определение на этой основе направления дальнейших исследований.

Результаты анализа и их обсуждение. Одним из направлений развития процессов поверхностного упрочнения можно считать проведение ХТО в кипящем порошковом слое [3, 4]. В этом методе используется специфическое состояние порошка мелкозернистого материала, приобретающего при определённых условиях ряд свойств, присущих жидкостям, таких как текучесть и интенсивное перемешивание частиц в объёме, что позволяет им растекаться по поверхностям обрабатываемого изделия, попадать в углубления и отверстия. Различают два способа достижения такого состояния порошка. Первый способ — аэродинамический, при котором осуществляется продувание мелких частиц газовыми потоками, подающимися в реактор снизу вверх под определённым

давлением с целью создания кипящего слоя, при этом скорость потока должна быть достаточной для поддержания частиц во взвешенном состоянии в течение всего процесса насыщения. При реализации этого способа используется один, обычно инертный, газ (азот, аргон) или смесь инертного газа с газом-носителем (чаще водородом), который вносит в камеру пары активатора.

Второй способ — вибрационный, при котором контейнер с порошковой засыпкой подвергается вертикальным вибрациям определённой частоты и амплитуды. Регулирование параметров процесса насыщения осуществляется изменением состава и размера частиц порошковой среды, скорости подачи газовых потоков, интенсивности вибрации контейнера. Такой способ ХТО позволяет сократить общую продолжительность процесса обработки, однако используется редко из-за высоких энергетических затрат, вызванных необходимостью создания виброкипящего слоя, а также сложности как самого технологического процесса, так и используемого оборудования. Кроме того, следует учесть, что вибрация контейнера может существенно ухудшить условия труда на производстве. Так, рекомендуемая частота вибрации 10—15 Гц при реализации данного способа [4] относится к инфразвуковому диапазону частот и может вызывать болезненные последствия в организме человека, причём инфразвук слабо поглощается и поэтому способен распространяться на большие расстояния.

Другой способ ускоренного формирования диффузионного слоя в порошковых смесях предусматривает использование индукционного электронагрева [3]. Детали, подлежащие насыщению, вместе с порошковой засыпкой упаковывают в специальный контейнер и нагревают в многovitковом индукторе с помощью высокочастотного генератора. Способ позволяет достичь некоторого ускорения химических реакций в насыщающей среде и на поверхности обрабатываемых изделий под действием высокочастотного нагрева, чем авторы и объясняют интенсификацию процесса диффузионного насыщения. Однако он не нашёл широкого использования из-за таких недостатков, как то: сложность контроля температуры, невозможность обработки нескольких изделий одновременно, а также повышенная энергоёмкость, обусловленная необходимостью прогрева ТВЧ всего объёма насыщающей среды, контейнера и детали.

Заслуживает внимания способ диффузионного насыщения в токопроводящих порошковых средах [3]. Физической основой данного способа является способность насыщающих смесей разогреваться в процессе прохождения через них электрического тока. Как правило, такие смеси отличаются от обычных порошковых насыщающих смесей наличием в них наполнителей, обладающих высокой электропроводностью. В качестве таких токопроводящих наполнителей могут использоваться графит, электродная крупка, кокс, древесный уголь, медь. Данный способ предусматривает использование огнеупорного муфеля, в который помещены два электрода, расположенные с противоположных сторон муфеля. Обрабатываемое изделие располагают в средней части муфеля между электродами. Муфель засыпают порошковой насыщающей смесью и закрывают крышкой. На электроды подаётся электрическое напряжение. В местах контакта частиц смеси между собой и с поверхностью изделия возникают электрические микроразряды (микродуги), разогревающие весь объём токопроводящей смеси и обрабатываемую деталь. При таком способе обработки скорость диффузионного насыщения выше, чем в способе с использованием индукционного нагрева, но остаётся недостаточно высокой из-за необходимости нагревания всего объёма токопроводящей смеси, приводящей к тому же к высоким энергетическим затратам.

Развитием данного способа ХТО является способ диффузионного насыщения в виброкипящих электропроводных смесях, при котором нагрев изделий осуществляется пропусканием тока через порошковый токопроводящий материал — графит, находящийся в виброкипящем состоянии, достигаемом вибрацией контейнера и погружённого в него изделия [3]. В электрическую цепь включают два электрода, которые расположены по краям контейнера и погружены в порошковую среду, и заземлённое металлическое изделие. Способ позволяет достичь ускорения про-

цесса насыщения по сравнению с описанным ранее за счёт испарения и активации компонентов порошковой смеси, а также интенсификации диффузионных процессов, обусловленных влиянием микродуговых разрядов и электрического поля. Однако при реализации данного способа возможна неравномерность образующегося диффузионного слоя, обусловленная более сильным прогревом образца со сторон, обращённых к электродам. Кроме того, данный способ предполагает высокие энергетические затраты, вызванные необходимостью создания виброкипящего слоя, необходимость использования инертного газа либо вакуумирования контейнера, а вибрация контейнера, предусмотренная данным способом, как было показано выше, негативно влияет на здоровье персонала.

В то же время, по нашему мнению, сам принцип, лежащий в основе описанных способов диффузионного насыщения в токопроводящих порошковых средах, является весьма перспективным, что обусловлено очевидными преимуществами такой технологии: значительной интенсификацией процесса, возможностью формирования многокомпонентных покрытий, отсутствием необходимости использования печного оборудования.

На наш взгляд, наиболее перспективным является способ ХТО, описанный в работе [5]. Он предусматривает использование в качестве одного из электродов электродной системы металлического контейнера, копирующего форму обрабатываемого изделия, а в качестве другого электрода — самого обрабатываемого изделия, расположенного эквидистантно относительно контейнера. Преимущество данного способа заключается в том, что при таком расположении электродов площадь поверхности контейнера (одного электрода) значительно больше площади поверхности обрабатываемой детали (второго электрода), причём расстояние от стенок контейнера до поверхности детали является одинаковым. Этим обеспечивается равномерная плотность электрического тока на поверхности упрочняемого изделия и локализация микродуговых разрядов в ограниченном объёме вокруг упрочняемой поверхности изделия, что приводит к равномерному нагреву поверхности изделия и, следовательно, формированию равномерного диффузионного слоя. Данный способ не предусматривает механической вибрации контейнера, насыщающей среды и изделия, что снижает энергетические затраты и улучшает условия труда обслуживающего персонала, а также не требует использования инертного газа либо вакуумирования контейнера.

Полученные авторами результаты предварительных исследований данного способа ХТО для цементации стальных образцов [6] подтвердили состоятельность ожиданий. Было показано, что способ позволяет получать за несколько минут обработки глубину цементированных слоёв 0,2—0,3 мм и локализовать зону упрочнения в заданных участках поверхности обрабатываемых изделий.

Задачей дальнейших исследований является определение закономерностей диффузионных процессов в токопроводящих порошковых средах, а также разработка оптимальных технологических режимов поверхностной упрочняющей обработки.

Выводы. 1. Анализ современных методов ускорения химико-термической обработки показал, что наиболее перспективным направлением является диффузионное насыщение в электропроводных порошковых смесях, содержащих диффузانت, путём пропускания электрического тока через порошковую среду и изделие.

2. Предложен новый способ ХТО в порошковых электропроводных смесях, лишённый недостатков прототипов. Способ предусматривает нагрев и диффузионное насыщение в порошковых смесях на базе горючих углеродных материалов типа каменного угля или кокса.

3. Способ отличается высокой скоростью формирования диффузионного слоя, низким энергопотреблением, гибкой системой управления локализацией упрочнённого слоя на поверхности изделия и возможностью получения многокомпонентного поверхностного покрытия.

Библиографический список

1. Борисёнок, Г. В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Г. В. Борисёнок, Л. А. Васильев, Л. Г. Ворошнин. — Москва: Металлургия, 1981. — 424 с.
2. Ворошнин, Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Смёткин. — Москва: Новое знание, 2010. — 304 с.
3. Домбровский, Ю. М. Микродуговая химико-термическая обработка в порошковых средах / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии: междунар. науч.-практ. конф. в рамках VII Промышленного конгр. Юга России, 7—9 сентября 2011 г., г. Ростов-на-Дону: сб. тр.: науч. изд. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2011. — 531 с. — С. 52—55.
4. Домбровский, Ю. М. Новые аспекты химико-термической обработки металлических материалов в порошковых средах / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 8 (59), вып. 1.
5. Заваров, А. С. Химико-термическая обработка в кипящем слое / А. С. Заваров, А. П. Баскаков, С. В. Грачёв. — Москва: Машиностроение, 1985. — 160 с.
6. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. — Москва: Металлургия, 1985. — 256 с.

Материал поступил в редакцию 07.12.2011.

References

1. Borisyonok, G. V. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov / G. V. Borisyonok, L. A. Vasil'ev, L. G. Voroshnin. — Moskva: Metallurgiya, 1981. — 424 s. — In Russian.
2. Voroshnin, L. G. Teoriya i texnologiya ximiko-termicheskoy obrabotki / L. G. Voroshnin, O. L. Mendeleeva, V. A. Smyotkin. — Moskva: Novoe znanie, 2010. — 304 s. — In Russian.
3. Dombrovskij, Yu. M. Mikrodugovaya ximiko-termicheskaya obrabotka v poroshkovy`x sredax / Yu. M. Dombrovskij, M. S. Stepanov // Innovacionny`e texnologii v mashinostroenii i metallurgii: mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkax VII Promy`shlennogo kongr. Yuga Rossii, 7—9 sentyabrya 2011 g., g. Rostov-na-Donu: sb. tr.: nauch. izd. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2011. — 531 s. — S. 52—55. — In Russian.
4. Dombrovskij, Yu. M. Novy`e aspekty` ximiko-termicheskoy obrabotki metallicheskih materialov v poroshkovy`x sredax / Yu. M. Dombrovskij, M. S. Stepanov // Vestnik Donskogo gos. texn. un-ta. — 2011. — T. 11, # 8 (59), vy`p. 1. — In Russian.
5. Zavarov, A. S. Ximiko-termicheskaya obrabotka v kipyashhem sloe / A. S. Zavarov, A. P. Baskakov, S. V. Grachyov. — Moskva: Mashinostroenie, 1985. — 160 s. — In Russian.
6. Laxtin, Yu. M. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov / Yu. M. Laxtin, B. N. Arzamasov. — Moskva: Metallurgiya, 1985. — 256 s. — In Russian.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCELERATION METHODS FOR SURFACE ALLOYING IN POWDERY

M. S. Stepanov, Y. M. Dombrovskiy, Y. A. Kornilov
(Don State Technical University)

The capabilities for accelerating the surface impregnation processes of the metal wear in the saturating powdery are considered. The surface impregnation technique that permits to intensify the diffusion coating formation and to reduce power consumption is offered. The practical approbation proved the applicability of the method.

Keywords: surface impregnation, saturating powdery.