

УДК 621.791.92

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ  
ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ**

*чл.-кор. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО  
(Полоцкий государственный университет),  
канд. техн. наук В.А. ЛЮЦКО, Г.В. ПЕТРИШИН, Е.Э. ДМИТРИЧЕНКО  
(Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого)*

*Рассмотрено влияние термической обработки на свойства покрытий из ферромагнитных порошков. Показано, что вид и режимы термообработки носят специфический характер и во многом зависят от метода упрочнения, материалов основы, легирующих электродов или порошка.*

**Введение.** Покрытия из ферромагнитных порошков (ФМП), получаемые при магнитно-электрическом упрочнении (МЭУ), показали хорошую работоспособность в условиях трения скольжения со смазкой, содержащей абразив и без него, а также при абразивном и абразивно-коррозионном изнашивании [1, 2]. В условиях ударно-абразивного изнашивания покрытия обладают удовлетворительной работоспособностью только для определенной марки ФМП и ограниченных значений удельной энергии удара. Это объясняется тем, что упрочненный слой, имея относительно небольшую толщину (0,3...0,4 мм), при значительной величине энергии удара (более 30 Дж/см<sup>2</sup>) вдавливается абразивными частицами в пластичное основание и не оказывает уже существенного влияния на износостойкость [3]. Аналогичная проблема в условиях ударно-абразивного изнашивания возникает и у покрытий, полученных электроискровым легированием и борированием [4-6]. Для повышения их работоспособности при высоких удельных нагрузках динамического характера применяется дополнительная термообработка [4 - 6]. Однако вид и режимы термообработки носят специфический характер и во многом зависят от метода упрочнения, материалов основы, легирующих электродов или порошка, поэтому не могут быть рекомендованы для МЭУ.

Целью данной работы является исследование влияния термической обработки на микроструктуру и микротвердость покрытий, полученных при магнитно-электрическом упрочнении.

**Методика исследований.** Плоские образцы из сталей 45, 38ХС, широко применяемых в машиностроении, с размерами 10x40x20 мм упрочняли на установки первого типа [1]. Для упрочнения, согласно рекомендациям [2], использовали ФМП марок ФБ-17 и СЧЛ. Исследования проводились для следующих типов образцов:

- упрочнение МЭУ без термообработки;
- упрочнение МЭУ с предварительной закалкой подложки токами высокой частоты (ТВЧ) на глубину 2,5 мм до HRC 65;
- упрочнение МЭУ с предварительной закалкой подложки ТВЧ и последующим отпуском до HRC 45;
- упрочнение МЭУ с последующей закалкой образца ТВЧ и отпуском;
- упрочнение МЭУ с последующей объемной закалкой и отпуском.

Термообработка производилась на режимах, соответствующих применяемым сталям [6].

Металлографический анализ проводили на микроскопе МИМ-8М, микротвердость определяли по ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 1,96 Н; микрошлифы для исследований изготавливали в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302-88, при этом образцы предварительно заливали в обойме эпоксидной смолой.

При приготовлении микрошлифа для травления использовали химические реактивы в соответствии с рекомендациями, приведенными в [7]. При изготовлении микрошлифов для травления использовали:

- 1 ...5 %-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте;
- 2 - пикриновая кислота (2... 5 г);
- едкий натр (20...25 г);
- дистиллированная вода (до 50 г).

С помощью реактива 1 выделяли общую структуру покрытий. Для выявления фазового состава применяли метод цветного травления в реактиве 2 при температуре 40...50 °С в течение 30...50 с. В результате травления борид железа Fe<sub>2</sub>B окрашивался в голубой цвет, а борид железа Fe<sub>3</sub>B - в желтый.

**Результаты исследований.** Исследования показали, что предварительная термообработка подложки, создающая такие неравновесные структуры с высокими остаточными напряжениями, как мартенсит (закалка) и сорбит (закалка и средний отпуск), ухудшает условия упрочнения и снижает толщину нанесенных покрытий (рис. 1). Особенно четко это прослеживается на закаленном образце (см. рис. 1, кривая 1), структура которого состоит из мартенсита и остаточного аустенита (до 20 %). Сорбит отпуска

уже не оказывает значительного влияния на процесс МЭУ и толщина покрытия на отпущенном образце сопоставима с толщиной покрытий, нанесенных на необработанную подложку (кривые 2 и 3).

В то же время на графике рис. 1 видно, что дополнительная термообработка не оказывает существенного влияния на твердость основания, примыкающего к упрочненному слою. Это обусловлено термическим воздействием процесса МЭУ на поверхность образца. При упрочнении происходит самоотпуск поверхности, что снижает ее твердость и тем самым не обеспечивает получения требуемого эффекта.

Термическая же обработка уже упрочненных деталей (закалка ТВЧ с отпуском и объемная закалка с отпуском) на основании полученных данных показала повышение микротвердости подложки (рис. 2, кривые 1, 2), что благоприятно сказывается на ударно-абразивной износостойкости. Следует отметить также отсутствие повреждений упрочненного слоя после термообработки. На поверхности покрытий не наблюдается появление термических микротрещин, характерных для газопламенных и плазменных покрытий.

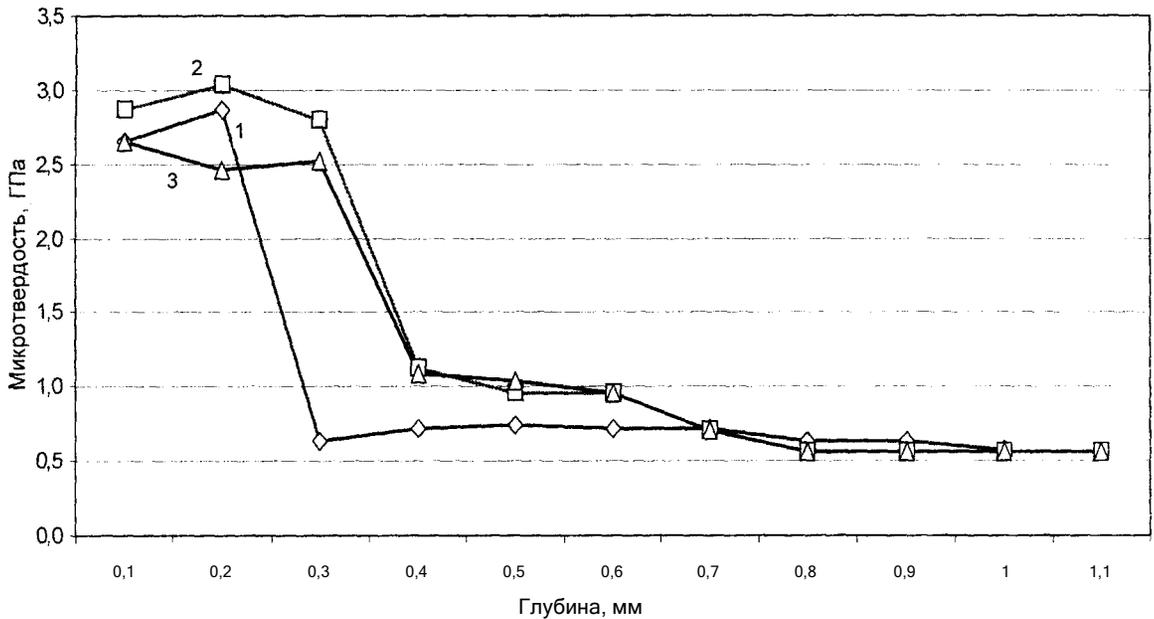


Рис. 1. Изменение микротвердости по глубине упрочненного образца:  
1 - закаленная подложка; 2 - закаленная подложка с последующим отпуском; 3 - без термообработки

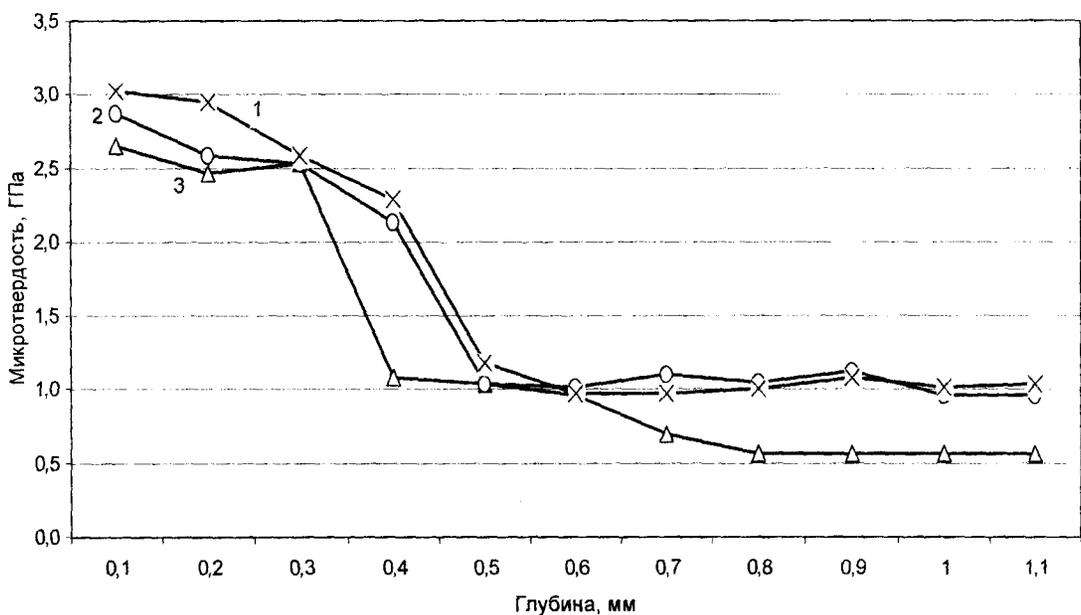


Рис. 2. Изменение микротвердости по глубине упрочненного образца с последующей термообработкой:  
1 - закалка ТВЧ и отпуск; 2 - объемная закалка и отпуск; 3 - без термообработки (эталон)

**Выводы**

1. Предварительная термообработка подложки ухудшает условия упрочнения и снижает толщину нанесенного слоя. Причем чем более неравновесную структуру имеет подложка, тем более сильно снижается толщина нанесенного слоя.

2. Термическое влияние на образец при упрочнении методом МЭУ достаточно для протекания структурных превращений в поверхности металла. Предварительно закаленные образцы после МЭУ в зоне термического влияния имеют трооститную или ферритоперлитную структуру.

3. Применение термообработки (закалка и отпуск) после нанесения покрытия позволяет повысить твердость подложки. При этом не ухудшается качество самого покрытия, и тем самым предположительно можно ожидать повышения ударно-абразивной износостойкости.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Электромагнитная наплавка плоских изношенных поверхностей деталей машин / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Люцко, А.И. Коршунов и др. // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2004. - № 1. - С. 2 - 6.
2. Люцко В.А. Исследование работоспособности ферромагнитных покрытий в условиях ударно-абразивного изнашивания // Современные проблемы машиноведения: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. - Гомель: Гомельский гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого, 2004. - С. 29 - 30.
3. Гуревич Б.П., Говязина Е.А. Электролизное борирование стальных деталей. - М.: Машиностроение, 1997.-72 с.
4. Глухов В.П. Боридные покрытия на железе и сталях. - Киев: Наукова думка, 1970. - 208 с.
5. Электроэрозионные процессы на электродах и микроструктурно-фазовый состав легированного слоя / И.И. Сафронов, И.В. Цуркан, В.В. Флосев, А.В. Семенчук; Под. ред. Н.Н. Дорожкина. - Кишинев: Штиинца, 1999. - 591 с.
6. Лахтин Ю.М. Леонтьева В.Л. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
7. Коваленко В.С. Металлографические реактивы: Справочник. - М.: Металлургия, 1981. - 120 с.