

## ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЦЕМЕНТАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ПОКРЫТИЯ

Закора В. В., Лисняк А. Г.

В работе изучено влияние последующей цементации по стандартному режиму на структуру и свойства поверхности углеродистой стали, предварительно обработанной электроискровым способом вольфрамовым электродом. Проводили сравнение микроструктурных характеристик и распределения микротвердости образцов, обработанных по трем режимам: электроискровое легирование, цементация и цементация после электроискрового легирования. Установлено, что после цементации с предварительным электроискровым легированием поверхности, твердость повышается в 1,4 раза по сравнению с электроискровым легированием, а глубина слоя эвтектоида в 1,5 раза по сравнению с цементацией.

У роботі вивчено вплив подальшої цементації по стандартному режиму на структуру і властивості поверхні вуглецевої сталі, попередньо обробленої електроискровим способом вольфрамовим електродом. Проводили порівняння микроструктурних характеристик і розподілу микротвердості зразків, оброблених за трьома режимами: електроіскрове легування, цементация і цементация після електроіскрового легування. Встановлено, що після цементації з попередніми електроіскровим легуванням поверхні, твердість підвищується в 1,4 рази в порівнянні з електроіскровим легуванням, а глибина шару евтектоїда в 1,5 рази в порівнянні з цементацією.

The paper studied the effect of cementation on the standard mode on the structure and properties of the surface of carbon steel, pre-treated by the electric method tungsten electrode. Comparison was made between the microstructural characteristics and the distribution of microhardness of the samples treated in three modes: electrospark alloying, cementation and grouting after the electrospark alloying.

It is found that after the carburizing with preliminary electrospark alloying surface hardness is increased by 1.4 times compared with electrospark alloying and eutectoid layer depth 1.5 times as compared with the carburizing.

Лисняк А. Г.

Закора В. В.

канд. техн. наук,  
доц. ГВУЗ «НГУ»  
lisniak47@ukr.net  
аспирант ГВУЗ «НГУ»  
victor.zakora@yandex.ru

ГВУЗ «НГУ» – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск.

УДК 669:539.43:539.56

**Закора В. В., Лисняк А. Г.**

## **ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЦЕМЕНТАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ПОКРЫТИЯ**

Развитие промышленности в современных условиях диктует повышенные требования к ресурсу машин и механизмов, что, в свою очередь, требует применения все более дорогостоящих материалов и приводит к усложнению технологий обработки деталей. В этой связи проблема разработки экономичных и высокоэффективных технологий упрочнения машиностроительных деталей из конструкционных сталей для придания им требуемых эксплуатационных свойств имеет несомненную актуальность.

В сегодняшнем машиностроении большое внимание уделяется развитию технологий поверхностного упрочнения. Известно, что состояние поверхности во многом определяет уровень прочности и эксплуатационные свойства деталей машин. Именно поверхность изделия испытывает повышенный износ, контактные нагрузки, в наибольшей степени разрушается вследствие коррозии. Технологии поверхностного упрочнения, как правило, основаны на модифицирующем воздействии на поверхность металла высокоэнергетическими или физико-химическими методами, что радикально меняет ее структуру и свойства. Широко распространенными технологиями являются: химико-термическая обработка, ТВЧ, лазерная обработка, электроискровое легирование, различные методы напыления поверхностных покрытий [1, 2]. Общая цель этих методов обработки – повышение твердости и качества покрытия.

Одним из способов модифицирования поверхности детали или ее элементов является электроискровое легирование, позволяющее повысить износостойкость и твердость, жаростойкость, коррозионную стойкость поверхностей деталей, снизить коэффициент трения, а также восстановить размеры изношенной детали. В то же время, электроискровое легирование имеет некоторые недостатки, основным из которых является резкий перепад твердостей между легированным слоем и материалом детали, что приводит к разрушению и отлущиванию легированного слоя в процессе эксплуатации.

В связи с тем, что в настоящее время широкое распространение получили комбинированные методы обработки поверхности [3–6], представлялось интересным применить дополнительную поверхностную обработку для улучшения качества электроискрового покрытия.

В качестве дополнительной обработки была выбрана химико-термическая обработка электроискрового покрытия.

Целью данной работы является изучение влияния цементации на структуру и свойства электроискрового покрытия.

Суть работы заключалась в исследовании структуры и свойств электроискрового покрытия, нанесенного на углеродистую сталь с последующей цементацией по стандартной технологии.

Экспериментальная часть. В качестве образцов использовали сталь марки Ст.3 с ферритно-перлитной структурой. Образцы размером 10x10x27 мм были предварительно подготовлены для электроискрового легирования.

Электроискровое легирование осуществлялось на установке «Элитрон 52». В качестве легирующего анода использовался стержень из вольфрама.

Цементацию проводили в закрытой металлической капсуле в твердом карбюризаторе на основе древесного угля с добавлением  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в количестве 10%. Выдержка составляла 10 часов при температуре 930–950°C.

Микроструктура изучалась с помощью оптического микроскопа «Neophot 2», оснащенного цифровой фотокамерой DCM 510.

Микротвердость слоев измеряли на микротвердомере ПМТ-3.

Результаты экспериментов представлены на рис 1–7.

В результате электроискрового легирования стали 3 вольфрамом, получено покрытие (рис. 1), состоящее из двух слоев. Упрочненный слой (рис. 1, слой А), отличающийся своими физико-химическими свойствами от свойств легирующего и легируемого металлов и материал образца (рис. 1, слой В).

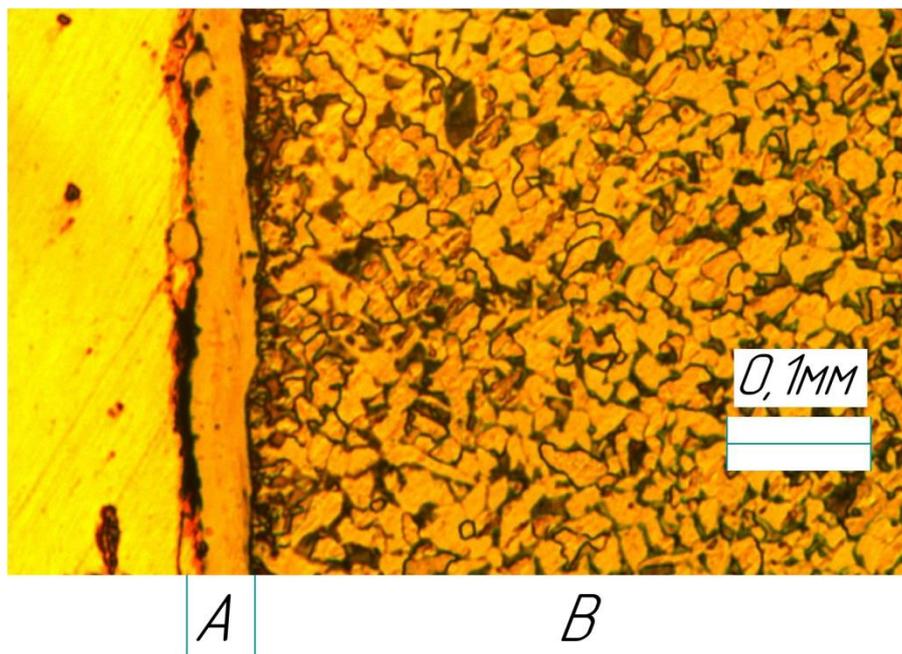


Рис. 1. Микроструктура образца после электроискрового легирования вольфрамом  $\times 200$ : А – слой электроискрового покрытия; В – основной материал образца.

При цементации, на поверхности изделия образуется слой, заэвтектоидной стали (рис. 2, слой А), состоящий из перлита и прослоек вторичного цементита по границам зерен. По мере удаления от поверхности, содержание углерода снижается, и следующая зона состоит только из перлита – эвтектоидная сталь (рис. 2, слой В). При большем удалении от поверхности микроструктура приобретает характер, доэвтектоидной стали с выделениями первичного феррита. Количество зерен феррита по мере удаления от поверхности увеличивается (рис. 2, слой С) и структура приобретает характер ферритно-перлитной композиции, отвечающей, исходному составу стали 3.

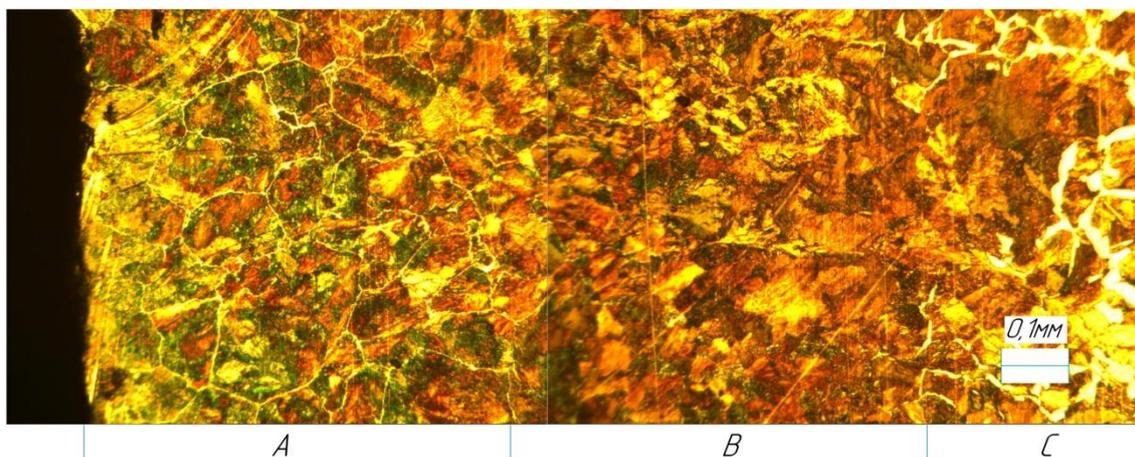


Рис. 2. Микроструктура образца после цементации  $\times 200$ : А – слой заэвтектоидной стали; В – перлитный слой; С – начало образования зерен феррита

При комбинированном методе обработки, на поверхности образовался слой сложной структуры и повышенной твердости (рис. 3, слой А), отделенный тонким белым слоем от слоя эвтектоидной стали. По видимому, цементация, проводившаяся после электроискрового легирования, привела к насыщению поверхностного слоя углеродом и образованию карбидов вольфрама.

Отмечается, отсутствие слоя заэвтектоидной стали, а толщина эвтектоидного слоя (рис. 3, слой С), увеличилась в 1,5 раза по сравнению с цементацией. В структуре наблюдается зерна феррита, их количество, по мере удаления от поверхности увеличивается (рис. 3, слой D). Далее, структура становится ферритно-перлитная, отвечающая исходному составу стали 3.

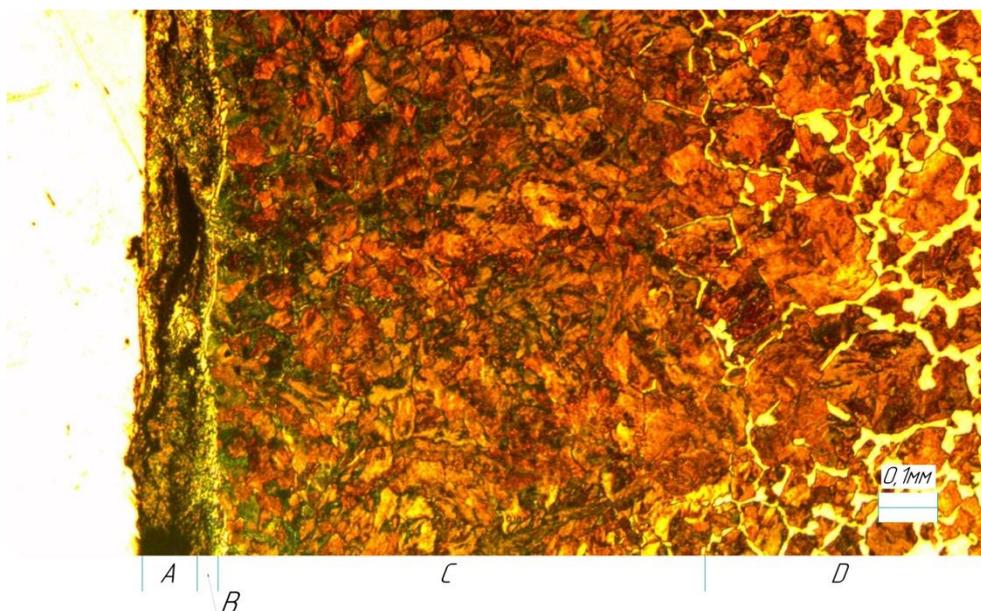


Рис. 3. Микроструктура образца после ЭИЛ вольфрамом с последующей цементацией  $\times 200$   
А – слой с повышенным количеством карбидов вольфрама; В – переходной слой; С – перлитный слой; D – граница начала образования ферритно-перлитной структуры

Результаты дюрометрических исследований представлены на рис. 4.

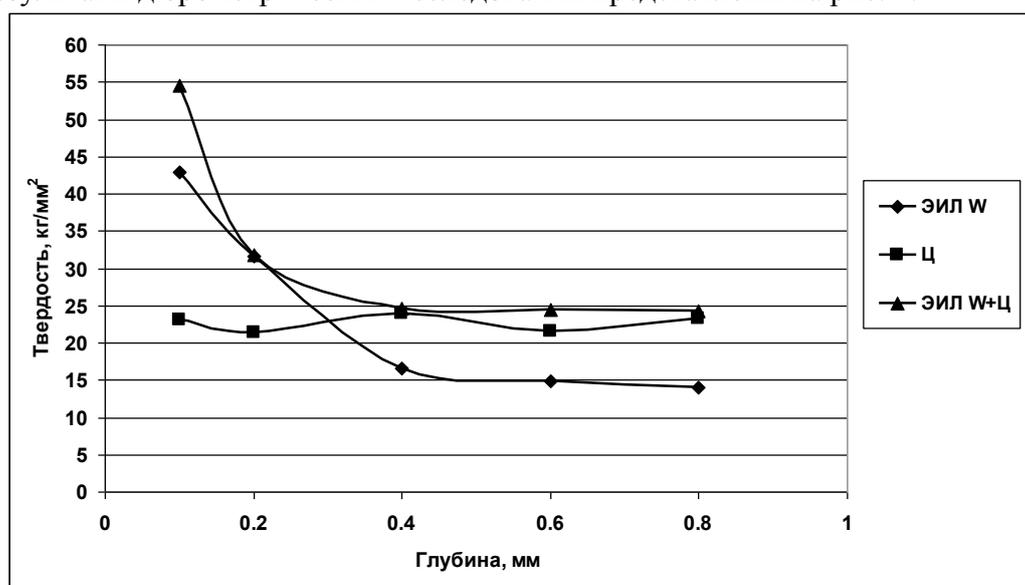


Рис. 4. Распределение микротвердости по толщине стали 3 после обработок: ЭИЛ W – электроискровое легирование вольфрамом; Ц – цементация; ЭИЛ W+Ц – электроискровое легирование вольфрамом с последующей цементацией

На графике распределения микротвердости по толщине видно, что на глубине 0,1 мм твердость образца после комбинированного метода обработки на 28% выше, чем у образца после электроискрового легирования, и в два раза больше, чем у образца после цементации (рис. 5). Это связано с повышенным количеством карбидов вольфрама, образованных в результате последующей цементации.

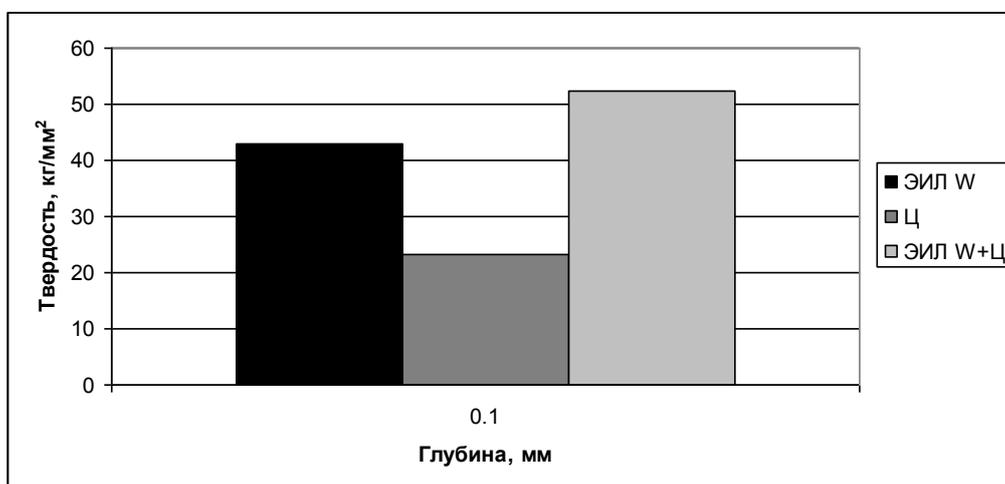


Рис. 5. Распределение микротвердости на глубине 0,1мм стали 3 после обработок: ЭИЛ W – электроискровое легирование вольфрамом; Ц – цементация; ЭИЛ W+Ц – электроискровое легирование вольфрамом с последующей цементацией

На глубине 0,2 мм, твердость обработанного образца комбинированным методом почти такая же, как и у образца после электроискрового легирования, и в 1,5 раза выше, чем у образца после цементации (рис. 6).

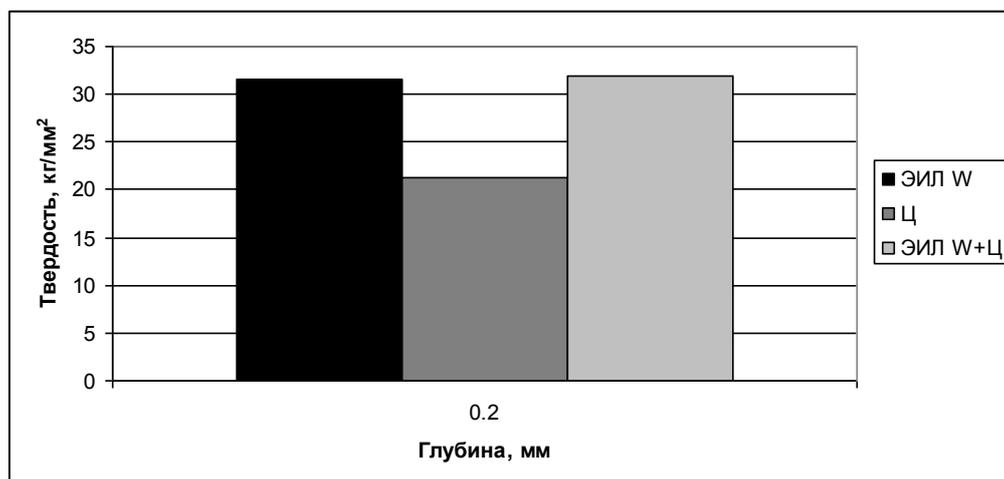


Рис. 6. Распределение микротвердости на глубине 0,2 мм стали 3 после обработок: ЭИЛ W – электроискровое легирование вольфрамом; Ц – цементация; ЭИЛ W+Ц – электроискровое легирование вольфрамом с последующей цементацией

На глубине 0,4 мм, твердость образца, обработанного комбинированным методом, сравнима с твердостью образца после цементации, и в 1,4 раза выше, чем у образца после электроискрового легирования (рис. 7). На образцах после электроискрового легирования с последующей цементацией и цементацией без легирования, на этой глубине находится перлитный слой, а на образце после электроискрового легирования – ферритно-перлитная структура, твердость которой, значительно меньше.

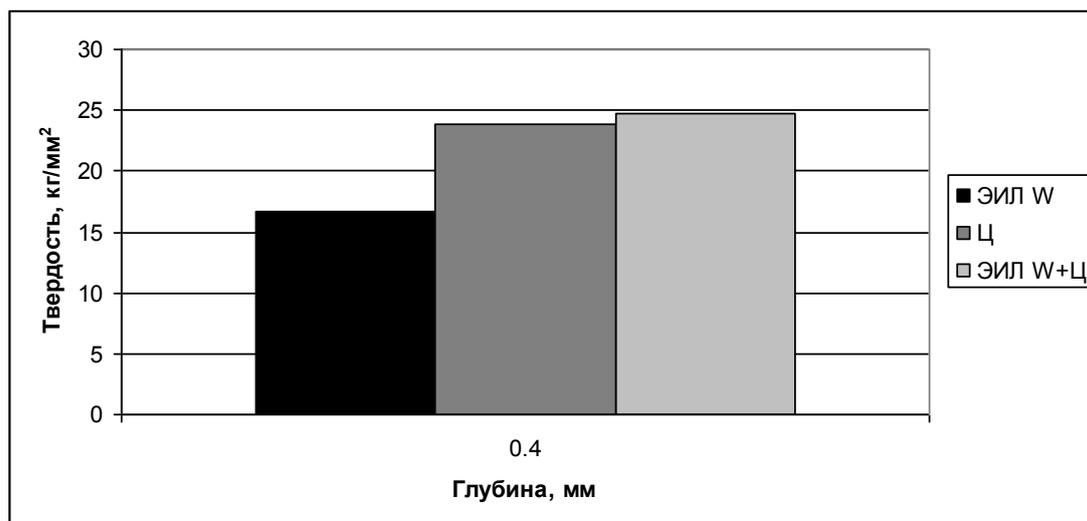


Рис. 7. Распределение микротвердости на глубине 0,4 мм стали 3 после обработок: ЭИЛ W – электроискровое легирование вольфрамом; Ц – цементация; ЭИЛ W+Ц – электроискровое легирование вольфрамом с последующей цементацией

Далее, в перпендикулярном направлении к поверхности образца, кривые распределения микротвердости по глубине практически не изменяются.

Таким образом, установлено, что после последующей цементации происходит значительное повышение микротвердости поверхностного слоя образца, образованного методом электроискрового легирования поверхности углеродистой стали вольфрамом.

### ВЫВОДЫ

1. Исследовано влияние последующей цементации на структуру и свойства электроискрового покрытия стали вольфрамом.
2. Показано, что проведение цементации после электроискрового легирования вольфрамом приводит к увеличению микротвердости легированного слоя и увеличению общей толщины упрочненного слоя.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка / Ю. М. Лахтин, В. Н. Арзамасов. – Москва : Металлургия, 1985.
2. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А. Е. Гитлевич [и др.]. – Кишинев : Штиница, 1983.
3. Хейфец М. Л. Проектирование процессов комбинированной обработки / М. Л. Хейфец. – М. : Машиностроение, 2005. – 272 с.
4. Петрова Л. Г. Комбинированная технология диффузионного насыщения металлами углеродистых сталей, совмещенная с гидроплазменным азотированием / Л. Г. Петрова, В. А. Александров, П. Е. Демин // Вестник ХНАДУ. – Харьков, 2011. – Вып. 54. – С. 52–59.
5. Легирование поверхности углеродистой стали медью путем электрического взрыва проводника и последующей электронно-лучевой обработки / Ю. Ф. Иванов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2011. – № 2. – Т. 318. – С. 101–105.
6. Исследование упрочнения поверхности сталей при комбинированном ионном и лазерном воздействии / А. М. Борисов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2014. – № 2. – Т. 324. – С. 137–141.

Статья поступила в редакцию 10.11.2015 г.