

УДК 622.245.1(083.74)

Закора В.В., магистр,
Ганкевич В.Ф., канд. техн. наук., доцент,
Лисняк А.Г., канд. техн. наук, доцент
(ГВУЗ «НГУ»)

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Закора В.В., магистр,
Ганкевич В.Ф., кан. техн. наук, доцент,
Лісняк О.Г., канд. техн. наук, доцент
(ДВНЗ «НГУ»)

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ГІРНИЧИХ МАШИН МЕТОДОМ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ

Zakora V.V., M.S (Tech.),
Gankevich V.F., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
Lisnyak A.G., - Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(SHEI "NMU")

RELIABILITY IMPROVEMENT OF THE MINING MACHINE PARTS BY HARDENING OF THEIR SURFACE

Аннотация. В работе представлен метод повышения твердости и износостойкости поверхностных слоев деталей машин в горнорудной промышленности. Изучено влияние последующей цементации на структуру и свойства поверхности углеродистой стали, предварительно обработанной электроискровым методом электродом из ванадия. Проводили сравнительный анализ микроструктуры, распределения микротвердости и испытаний на ударно-абразивный износ образцов, обработанных по трем режимам: электроискровое легирование, электроискровое легирование после цементации и цементация после электроискрового легирования. На фотографиях микроструктуры показано отличие между разными методами обработки. Установлено, что последующая цементация повышает микротвердость легированного слоя на 72%, и увеличивает износостойкость в 2 раза.

Ключевые слова: электроискровое легирование, химико-термическая обработка, цементация, микроструктура, микротвердость.

Производительность машин и механизмов зависит от их конструктивных особенностей, технологий изготовления, условий эксплуатации и, безусловно, в проведении соответствующих указанных сроков ремонтных работ. Технологически, мы подбираем не только материалы, из которых изготавливаем детали, изыскиваем варианты получения изделий по самым более дешевым и простым технологиям, но и должны обеспечить качество. Кроме того, в процессе изготовления должен быть жесткий контроль, после этого, проводится испытание этой машины либо механизма непосредственно в заводских услови-

ях, и потом производятся испытания горнорудного оборудования при поставках в карьер или непосредственно установки в шахту.

Из-за того, что качество металла не достаточное, и из-за того, что ремонт и монтаж своевременно не производится, механизированные комплексы, которые в настоящее время работают свыше 500 штук, около 40% этих комплексов постоянно находятся в процессе проведения ремонтных и монтажных работ. Это снижает производительность труда, повышает стоимость изготовления данной продукции. Таким образом, в первую очередь, мы должны обеспечить конструктивное, качественное изготовление оборудования, подбор соответствующих материалов, которые работали бы в тех тяжелых условиях, в которых работает горнорудное оборудование. Здесь происходит абразивный, механохимический, химический, усталостный и другие виды износа.

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, обработка токами высокой частоты, лазерная обработка, электроискровое легирование, ударно-волновое упрочнение, различные методы напыления поверхностных покрытий [Лахтин, Ю.М., 1985], [Гитлевич, А.Е., 1985], [1,2]. Общая цель этих методов обработки - повышение твердости и качества покрытия.

С целью повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости поверхности, цементации подвергают углеродистые и легированные стали, а также тугоплавкие материалы: V, W, Ti, Cr и др. [Лахтин, Ю.М., 1985]. В результате цементации на поверхности образуются слои, обогащенные карбидами типа MeC и Me_2C .

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 [Гитлевич, А.Е., 1985], [2]. 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.

Целью наших исследований является изучение возможности повышения износостойкости поверхностных слоев, образующихся в результате электроискрового легирования с помощью методов химико-термической обработки.

Задачей данной работы является изучить влияние цементации на структуру и свойства электроискрового покрытия.

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

Экспериментальная часть. Для исследования влияния цементации на структуру и свойство электроискрового покрытия, были выбраны три вида обработки: электроискровое легирование ванадием (ЭИЛ V), цементация с последующим электроискровым легированием (Ц+ ЭИЛ V) и электроискровое легирование с последующей цементацией (ЭИЛ V+Ц).

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». Цементацию проводили в закрытой металлической капсуле в твердом карбюризаторе на основе древесного угля с добавлением Na_2CO_3 в количестве 10%. Выдержка составляла 10 часов при температуре 930-950°C.

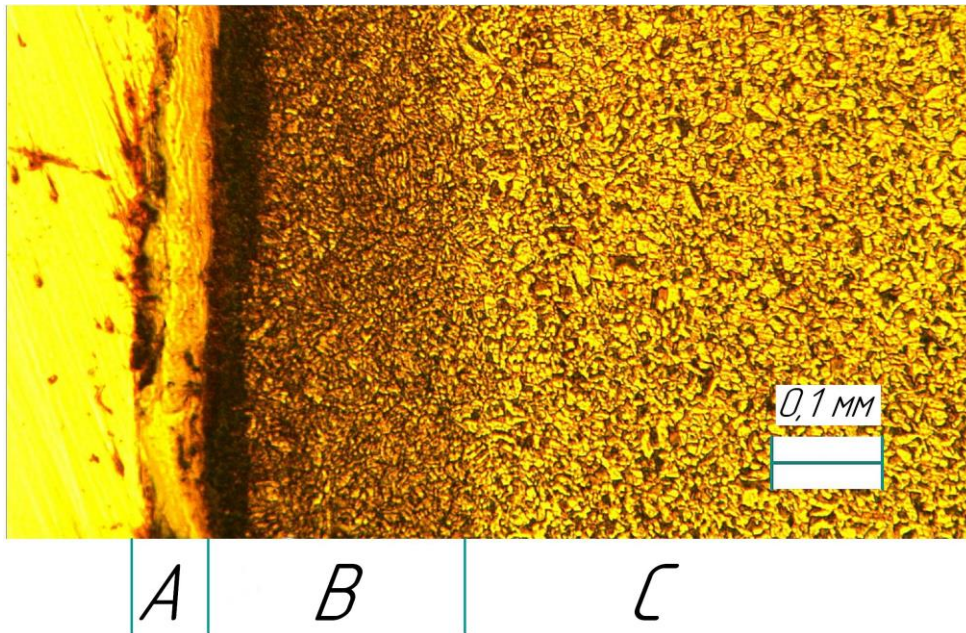
Микроструктура изучалась с помощью оптического микроскопа «Neophot 2», оснащенного цифровой фотокамерой DCM 510.

Микротвердость слоев, измеряли на микротвердомере ПМТ-3.

Испытания на ударно-абразивный износ проводили на лабораторной установке. В качестве абразива использовали стальную и чугунную дробь диаметром 2мм. Износ определяли весовым методом с помощью лабораторных весов «FEN-1000».

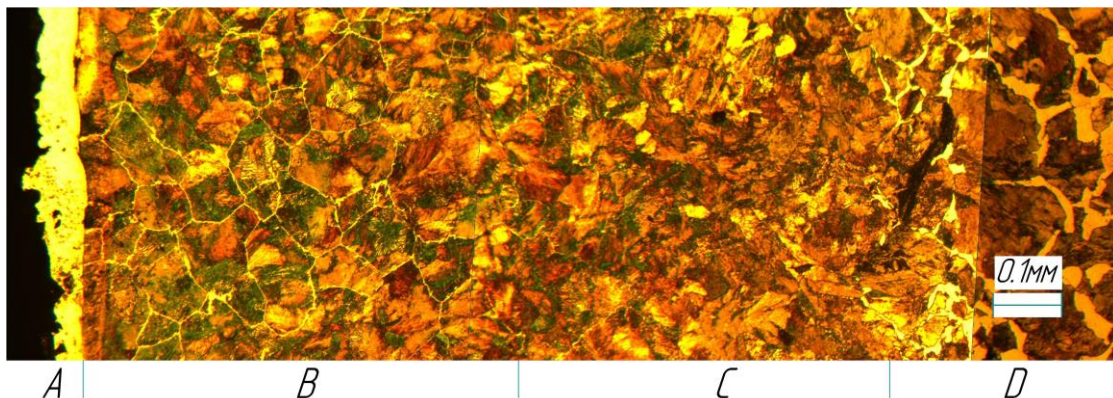
Результаты исследований. Микроструктурный анализ поперечных шлифов образцов показал, что при электроискровом легировании ванадием (рис.1) на поверхности образуется легированный слой (рис.1 А) толщиной 0.05-0.07мм. Этот слой получается в результате переноса материала анода на катод под действием электрического разряда. Под легированным слоем наблюдается зона термического влияния (рис.1 В), которая образуется в результате влияния высоких температур и характеризуется более мелким зерном, чем у основного металла. Далее от поверхности идет основной материал образца (рис.1 С), который соответствует исходному материалу.

В отличие от ЭИЛ, на поверхности углеродистой стали марки ст.3 после цементации образуется слой с повышенным содержанием углерода, поэтому при образовании лунки на катоде, расплавленные частицы ванадия образуют большее количество карбидов в легированном слое (рис.2 А). Толщина легированного слоя, как и при обычном ЭИЛ на ст.3, составляет 0.05-0.07мм. Отмечается четкая граница между легированным слоем и слоем заэвтектоидной стали (рис.2 В). Дальнейшая структура полностью соответствует классической цементации низкоуглеродистой стали. Отметим, что слой заэвтектоидной стали, составляет 0.63-0.65мм, перлитный слой (рис.2 С) - 0.54-0.56мм. Ферритные зерна (рис.2 D) начинают появляться на глубине 1.24-1.26мм.



А - легированный слой; В - зона термического влияния; С - основной материал образца.

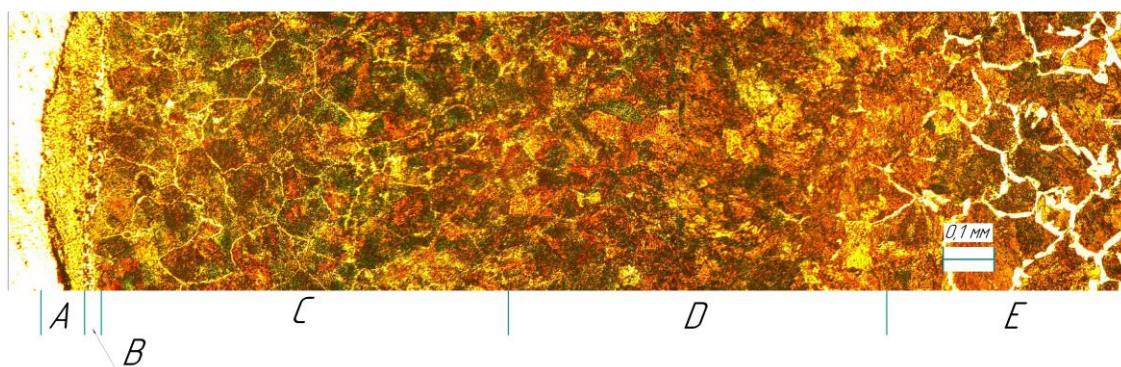
Рисунок 1 - Микроструктура образца после электроискрового легирования ванадием x200



А - легированный слой с повышенным количеством карбидов ванадия; В - слой заэвтектоидной стали; С - перлитный слой; D - начало образования ферритных зерен.

Рисунок 2 - Микроструктура образца после цементации с последующим ЭИЛ ванадием x200

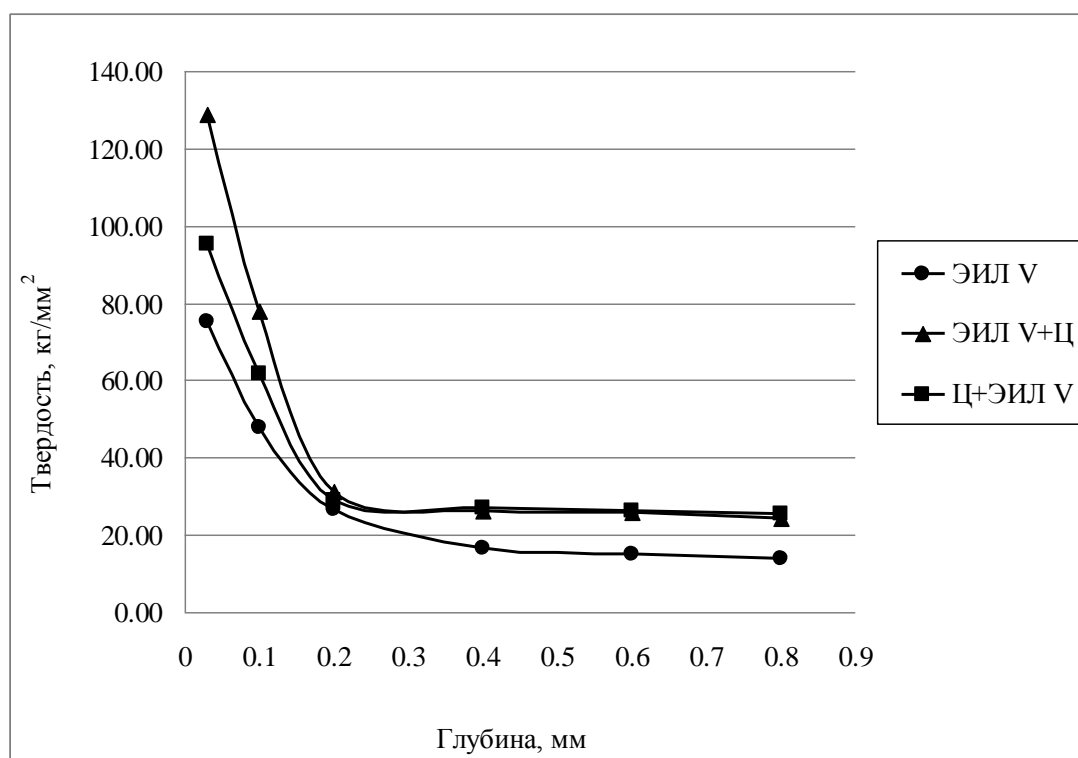
При диффузии углерода сквозь легированный слой, часть углерода образует карбиды ванадия, которые частично диффундируют вглубь образца, тем самым, образуя переходной слой (рис. 3 В). В отличие от ЭИЛ ст. 3 и от комбинации обработок Ц+ЭИЛ, при ЭИЛ+Ц не наблюдается четкой границы между легированным слоем и основным материалом. Это позволяет утверждать, что легированный слой более крепко соединился с основным металлом, и способствует меньшему выкрашиванию при ударных нагрузках. При этом, слой заэвтектоидной стали (рис. 3 С) и перлитный слой (рис.3 D) имеют такую же глубину, как и при обработке Ц+ЭИЛ. Ферритные зерна (рис.3 D) начинают появляться на глубине 1.3-1.31мм.



А - слой с повышенным количеством карбидов вольфрама; В - переходной слой; С - слой заэвтектидной стали; D - перлитный слой; Е - начало образования ферритных зерен.

Рисунок 3 - Микроструктура образца после ЭИЛ ванадием с последующей цементацией x200

Сравнительный анализ микротвердости поверхности образцов при различных видах обработки (рис.4) показал, что на глубине до 0.03мм образцы, обработанные Ц+ЭИЛ V, имеют на 27% твердость выше, чем у образцов обработанных ЭИЛ V. Образцы, обработанные ЭИЛ V+Ц, имеют твердость на 36% выше, чем у Ц+ЭИЛ V, и на 72% выше, чем у образцов обработанных ЭИЛ V.



ЭИЛ V – электроискровое легирование ванадием; ЭИЛ V+Ц – электроискровое легирование ванадием с последующей цементацией; Ц+ЭИЛ V – цементация с последующим электроискровым легированием ванадием.

Рисунок 4 - Распределение микротвердости по толщине стали 3 после обработок

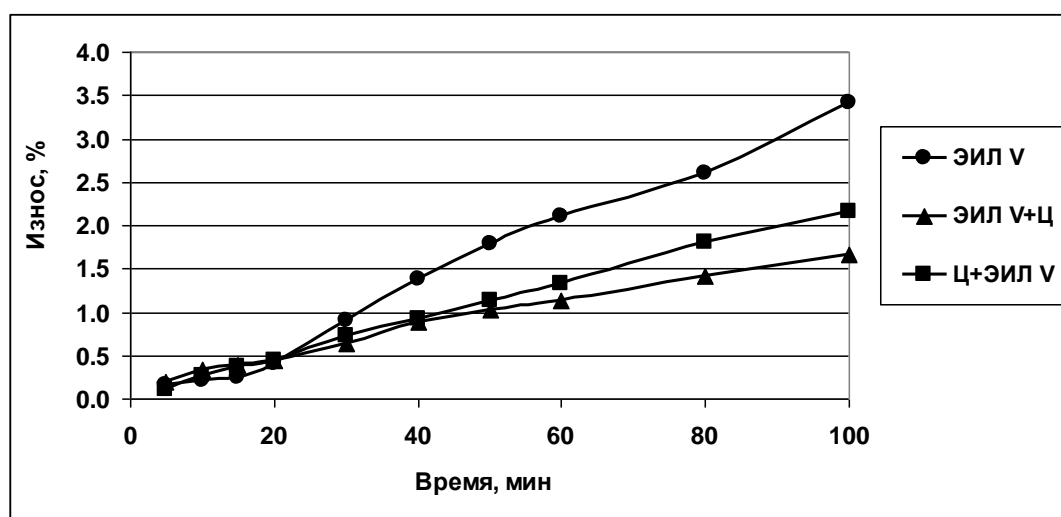
Представленное на рис.4 распределение микротвердости объясняется тем, что при ЭИЛ на поверхности образуется небольшое количество карбидов ванадия, т.к. сталь содержит мало углерода (0.14-0.22%С). В то время как при предварительной цементации в поверхностном слое образцов содержится достаточное количество углерода (0.8-1.2%С) поэтому карбидов ванадия образуется значительно больше. При нанесении ванадия электроискровым методом и последующей цементации, углерод, диффундирующий через легированный слой при высокой температуре, образует карбиды практически во всем слое, обогащенном ванадием.

На графике распределения микротвердости по толщине видно, что на глубине 0,1мм микротвердость всех образцов падает, что объясняется сравнительно небольшой толщиной легированного слоя.

На глубине 0,2мм, микротвердость всех видов обработки практически одинаковая, а на глубине 0.4мм, микротвердость образцов обработанных Ц+ЭИЛ V и ЭИЛ V+Ц соответствует микротвердости после цементации, а на образцах после ЭИЛ V, микротвердость соответствует ст.3.

Таким образом, установлено, что метод ЭИЛ V+Ц дает наибольшую микротвердость поверхностного слоя ванадия нанесенного электроискровым методом (до 129кг/мм²).

Испытания на ударно – абразивное изнашивание проводили на специально сконструированной установке в среде чугуновой и стальной дроби [3]. Для испытаний применяли образцы в форме параллелепипеда, размерами 10x10x27 мм. Относительную ударно – абразивную износостойкость определяли в соответствии с ГОСТ 27674 – 88. После испытания, образцы взвешиваются на аналитических весах с точностью 0.01г. График зависимости износа (%) от времени испытания (мин) представлен на (рис.5).



ЭИЛ V – электроискровое легирование ванадием; ЭИЛ V+Ц – электроискровое легирование ванадием с последующей цементацией; Ц+ЭИЛ V – цементация с последующим электроискровым легированием ванадием.

Рисунок 5 - Износостойкость образцов после обработок

Из графика видно, что на протяжении 20 минут испытания, износ всех типов образцов, практически одинаковый. Через 30 минут испытаний, образцы, обработанные ЭИЛ V+Ц и Ц+ЭИЛ V, имеют практически одинаковый процент износа, а износ образцов обработанных ЭИЛ V выше на 22%. При дальнейшем испытании, кривые различных видов обработки расходятся, и при максимальном времени испытаний (100 минут), процент износа образцов составляет следующие значения: ЭИЛ V - 3.41%, Ц+ЭИЛ V - 2.17% и ЭИЛ V+Ц - 1.66% износа.

Таким образом, показано, что наименьший износ получен при варианте цементации после электроискрового легирования стержнем из ванадия. Это объясняется большим сцеплением легированного слоя с основным материалом образца, обусловленным микроструктурой, и повышенной твердости поверхностного слоя.

Предлагаемый метод упрочнения рекомендуется применять на поверхностях деталей, которые работают в агрессивных средах с повышенным абразивным, коррозионным и ударным износом. В связи с тем, что при бурении взрывных скважин до 24м применяются 3 штанги по 8м, и в процессе бурения штанги периодически ударяются о стенки скважины, они подвергаются интенсивному износу. Предлагаемый метод упрочнения поверхности сможет повысить их срок службы предположительно на 20%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дидык, Р.П. Физические основы прочности / Е.В. Кузнецов, В.Н. Забара. Днепропетровск: Наука и образование, 2005. - 608 с.
2. Иванов, Ю.Ф. Легирование поверхности углеродистой стали медью путем электрического взрыва проводника и последующей электронно-пучковой обработки. / С.Ю. Филимонов, А.Д. Тересов, [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2011. – №2. – Т.318 – с.101-105.
3. А.с. 1820300 СССР, МКИ G01 №3/56. Установка для испытаний на ударно-абразивное изнашивание / А.П. Чейлях, И.М. Олейник. - № 4936016/28; Заявл. 12.05.91; Опубл. 07.06.93, Бюл. №21. - 3 с.

REFERENCES

1. Didyk, R.P., Kuznetsov, E.V. and Zabara, V.N (2005), *Fizicheskie osnovy prochnosti* [Physical fundamentals of strength], Nauka i obrazovanie, Dnepropetrovsk, Ukraine.
2. Ivanov, Y.F., Filimonov, S.Y., Teresov A.D. [and others] (2011), "The doping of the surface by carbon steel with copper wire electrical explosion and subsequent electron-beam processing", *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, vol. 318, no. 2, pp. 101-105.
3. Cheylyakh, A. P. and Oleynik, I.M. (1993), *Ustanovka dlya ispytaniy na udarno-abrazivnoe iznashyvanie* [Installation for testing the shock-abrasive wear], SU, Pat. № 4936016/28.

Об авторах

Закора Виктор Валентинович, магистр, ведущий специалист кафедры технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, e-mail: viktor.zakora@yandex.ru

Ганкевич Валентин Феодосиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и инжиниринга, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, e-mail: antsiferovo@nmu.org.ua

Лисняк Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепр, Украина, e-mail: lisniak47@ukr.net

About the authors

Zakora Viktor Valentinovich, Master of Science, Principal Specialist of the Department Technology of Mining Engineering., State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI «NMU»), Dnepr, Ukraine, e-mail: viktor.zakora@yandex.ru

Gankevich Valentin Feodosievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of the Department of Mine Machines and Engineering, State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI «NMU»), Dnepr, Ukraine, e-mail: : antsiferovo@nmu.org.ua

Lisnyak Aleksandr Grigorievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of the Department Technology of Mining Engineering, State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI «NMU»), Dnepr, Ukraine, e-mail: lisniak47@ukr.net

Анотація. У роботі представлено метод підвищення твердості і зносостійкості поверхневих шарів деталей машин в гірничорудній промисловості. Вивчено вплив подальшої цементації на структуру і властивості поверхні вуглецевої сталі, попередньо обробленої електроіскровим методом електродом з ванадію. Проводився порівняльний аналіз мікроструктури, розподілу мікротвердості і випробувань на ударно-абразивний знос зразків, оброблених по трьом режимам: електроіскрове легування, електроіскрове легування після цементації і цементация після електроіскрового легування. На фотографіях мікроструктури показано відмінність між різними методами обробки. Встановлено, що подальша цементация підвищує мікротвердість легованого шару на 72%, і збільшує зносостійкість в 2 рази.

Ключові слова: електроіскрове легування, хіміко-термічна обробка, цементация, мікроструктура, мікротвердість.

Abstract. This paper presents a method for improving hardness and wear resistance of the surface layers of machine parts used in the mining industry. An effect of cementation on the structure and properties of carbon steel surface pretreated by electrical-discharge method with vanadium electrode was studied. Microstructure of and micro-hardness distribution in the samples treated by three methods - electric-discharge alloying, electric-discharge alloying after cementation and cementation after electric-discharge alloying - were compared as well as results of the sample wear after the abrasion-and-shock tests. The photos of the sample microstructure show the difference between various methods of treatment. It is found that the subsequent cementation of the alloyed layer provides 72% increase of its micro-hardness and twice increase of its wear resistance.

Keywords: electrical-discharge alloying, thermochemical treatment, cementation, microstructure, micro-hardness.

Статья поступила в редакцию 15.12. 2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым