

УДК 621.7.044.7

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ХРОМОВЫХ И НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ\*

*А. Ю. КОЗЛЮК, канд. техн. наук, доцент  
М. О. КУРЕПИН, аспирант  
(БТИ Алт ГТУ, г. Бийск)  
А. Г. ТЮРИН, канд. техн. наук, доцент  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 3 сентября 2012 года

**Козлюк А. Ю.** – 659305, Бийск, ул. Трофимова, 27, Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета, e-mail: pbuk@bti.secna.ru

Предложен метод для повышения износостойкости и микротвердости металлических и металлоалмазных покрытий, основанный на воздействии импульсного магнитного поля высокой напряженности. Максимальное снижение внутренних остаточных напряжений и увеличение микротвердости обеспечивает предварительный нагрев изделий с покрытиями током высокой частоты и импульсное магнитное поле с напряженностью, достаточной для полного магнитного насыщения ферромагнитных покрытий или основного материала изделий.

**Ключевые слова:** магнитно-импульсная обработка, остаточные напряжения, микротвердость, металлоалмазные покрытия, хромовые покрытия, никелевые покрытия, упрочнение поверхностного слоя.

## Введение

В настоящее время в производстве широко распространены технологии металлоалмазных гальванических покрытий различных деталей и инструментов с целью придания их поверхностям свойств, характерных для покрываемых материалов. Несмотря на очевидные достоинства металлоалмазных покрытий существует ряд недостатков, которые обусловлены процессами электролитического осаждения металлов. Например, усадка металла, сопровождающаяся изменением линейных размеров, что свидетельствует о наличии в металлоалмазном покрытии растягивающих напряжений; недостаточная прочность сцепления основного металла с покрытием; эффект водородной хрупкости. Для исключения (уменьшения) недостатков металлоалмазных покрытий предлагается использовать дополнительную обработку на основе физического модифицирования поверхностей металлоалмазных покрытий импульсным магнитным полем с предварительным индукционным нагревом – комбинированную магнитно-импульсную обработку (КМИО). КМИО способствует повышению физико-механических свойств обрабатываемой поверхности и уменьшению внутренних остаточных и усталостных напряжений в структуре покрытия и покрываемого материала [1, 2].

## Методика проведения исследований

В качестве объекта исследования использовались стальные образцы цилиндрической формы с хром-алмазными и никель-алмазными покрытиями до и после КМИО.

Подготовка образцов заключалась в нанесении металлоалмазных покрытий на цилиндрические образцы диаметром 20 и высотой 11 мм.

Для получения хром-алмазного покрытия использовался саморегулирующийся сульфатный электролит, а для получения никель-алмазного покрытия использовался стандартный сернокислый электролит (электролит Уотса) [3].

КМИО проводилась в полуавтоматическом режиме в следующей последовательности:

- 1) установка образцов в приспособление для КМИО (рис. 1);
- 2) фиксация образцов относительно индуктора тока высокой частоты, нагрев до температуры 250 °С (температура поверхностного слоя определялась с помощью оптического пирометра);
- 3) перемещение образцов в рабочую зону концентратора магнитного поля;
- 4) воздействие на образцы единичного импульса магнитного поля длительностью 0,007 с и максимальным амплитудным значением напряженности

\* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, соглашение № 14.В37.21.0253.

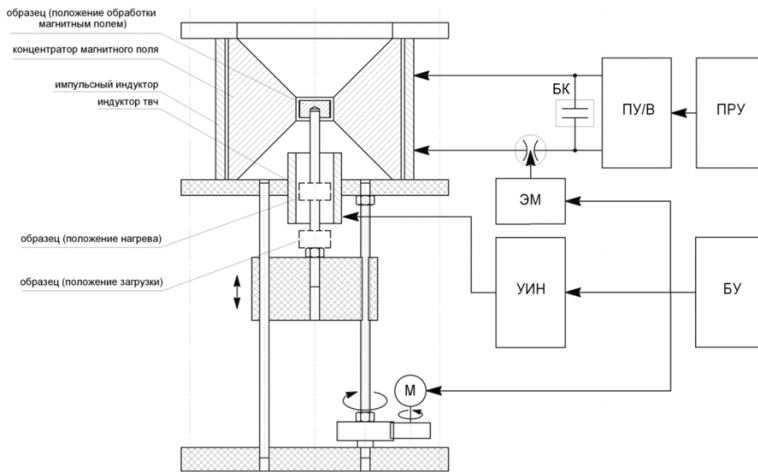


Рис. 1. Схема установки и приспособления для КМИО

ПРУ – пускорегулирующее устройство; ПУ/В – повышающее устройство и выпрямитель; ЭМ – электромагнит; УИН – установка индукционного нагрева; БУ – блок управления; БК – батарея конденсаторов, М – мотор

магнитного поля  $3,95 \cdot 10^6$  А/м (напряженность импульса магнитного поля индуктора определялась индукционным датчиком, совмещенным через интегрирующую цепочку с осциллографом);

5) перемещение образца в зону загрузки, снятие и выдержка образца на неметаллической подложке в течение 24 ч.

По окончании выдержки подготавливались поперечные микрошлифы обработанных и контрольных образцов для проведения дюрометрических испытаний, металлографических и рентгеноструктурных исследований.

## Результаты исследований

Микротвердость поверхности и распределение микротвердости по глубине обработки определялись в соответствии с ГОСТ 25172-82 с помощью микротвердомера WolpertGroup 402MVD.

На рис. 2 приведен сравнительный график распределения микротвердости по глубине как необра-

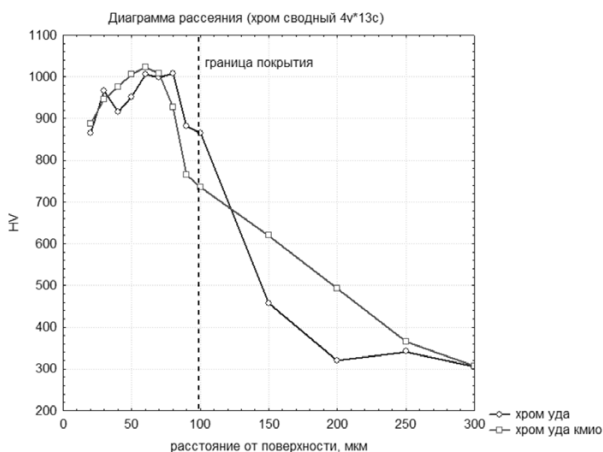


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине хром-алмазного покрытия до и после КМИО

ботанного образца с хром-алмазным покрытием, так и образца после КМИО.

Хром-алмазное покрытие в целом характеризуется высокой микротвердостью, в среднем 960 HV. Однако по мере приближения к поверхности подложки твердость уменьшается. Средняя микротвердость подложки составляет 320 HV. Образец, прошедший КМИО, показал повышенную микротвердость подложки вблизи границы раздела на глубину около 25 мкм, что свидетельствует о наличии микроструктурного упрочнения за счет проникновения импульса магнитного поля в приповерхностную область ферромагнитного материала подложки. Изменений микротвердости самого хромового покрытия в целом не наблюдается ввиду парамагнитных свойств хрома при выбранной температуре КМИО (250 °С), однако по мере

приближения к подложке покрытия микротвердость увеличивается. Увеличение микротвердости хром-алмазного покрытия вблизи поверхности основного материала составляет в среднем 110 HV (см. рис. 2). Предположительно данное увеличение микротвердости возникает вследствие изменения напряженного состояния ферромагнитной основы покрытия в процессе КМИО за счет магнитоstrictionных напряжений, которые, в свою очередь, воздействуя на материал покрытия, приводят к увеличению плотности микроструктурных дефектов и, как показали дальнейшие исследования, к образованию микротрещин [3].

На рис. 3 представлены фотографии хром-алмазного покрытия после КМИО, сделанные в процессе оптической (рис. 3, а) и растрово-электронной (рис. 3, б) микроскопии, на которых наблюдается увеличение плотности микротрещин в покрытии по мере приближения к границе с основным материалом.

На рис. 4 приведен аналогичный сравнительный график распределения микротвердости по глубине для никель-алмазных покрытий.

Никель-алмазное покрытие без КМИО в целом характеризуется средним значением – 389 HV и яв-

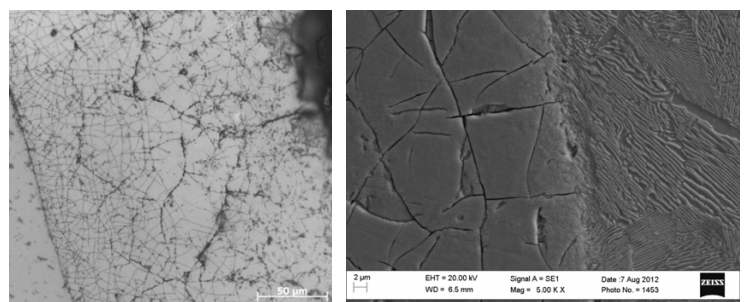


Рис. 3. Поверхность хром-алмазного покрытия после КМИО: а – при увеличении  $\times 700$ ; б – при увеличении  $\times 5000$

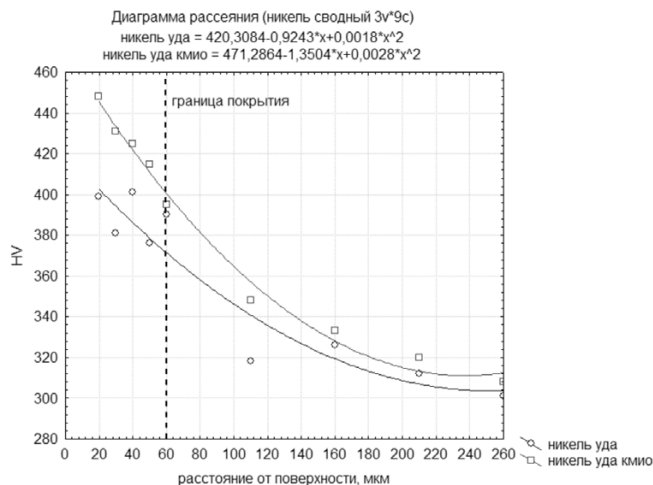


Рис. 4. Распределение микротвердости по глубине никель-алмазного покрытия до и после КМИО

ляется сравнительно однородным по твердости. Микротвердость как никель-алмазного покрытия, так и подложки после КМИО незначительно увеличивается, что является признаком протекающих микроструктурных изменений в процессе обработки. Никель является ферромагнитным материалом, который поглощает энергию магнитного поля, что объясняет только незначительное увеличение микротвердости приповерхностной области подложки по сравнению с хром-алмазным покрытием. Также это подтверждается наличием микроструктурных изменений в самом покрытии, приводящим к увеличению поверхностной микротвердости никель-алмазного покрытия после КМИО в среднем на 50 HV.

### Выводы

1. Существует возможность управляемого повышения эксплуатационных показателей металлических и металлоалмазных покрытий ферромагнитных инструментальных и конструкционных сталей, а также других изделий на основе композиционных ферромагнитных материалов методом КМИО.

### Research of influence of the combined magnitno-pulse processing on structure and properties of chromic and nickel coverings

A.Yu. Kozluk, M. O. Kuperin, A.G. Tuirin

The method for increase of wear resistance and microhardness metal and the metal-diamond of coverings based on influence of a pulse magnetic field of a high tension is offered. The maximum decrease in internal residual pressure and microhardness increase provides preliminary heating of products with coverings a current of high frequency and a pulse magnetic field with intensity, sufficient for full magnetic saturation of ferromagnetic coverings or the basic material of products.

**Key words:** magnitno-pulse processing, residual pressure, microhardness, covering metal-diamond, chromic coverings, nickel coverings, blanket hardening.

2. Механизм модификации физических свойств металлических и металлоалмазных покрытий ферромагнитных материалов при КМИО предположительно основан на субструктурном упрочнении вследствие пластической деформации ферромагнитного материала покрытия и/или основного материала за счет магнитоstrictionных напряжений, возникающих из-за проникновения магнитного поля в приповерхностные слои. Пластическая деформация повышает плотность дислокаций и точечных дефектов в материале, что сопровождается изменением твердости и износостойкости поверхностного слоя и приводит к изменению напряженного состояния поверхностного слоя.

3. В результате КМИО хром-алмазных и никель-алмазных покрытий изменяются их физико-механические свойства, в частности, незначительно повышается микротвердость никель-алмазного покрытия по всей глубине (50 HV), а также микротвердость ферромагнитной подложки покрытия (до 200 HV).

Разработанные технико-технологические средства могут в дальнейшем стать основой для создания заводских технологий изготовления деталей и инструментов с металлическими и металлоалмазными покрытиями с повышенными эксплуатационными показателями.

### Список литературы

1. Патент РФ № 2339704 / Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю. Способ комбинированной магнитно-импульсной обработки поверхностей инструментов и деталей машин // Бюл. № 33. – 2008. – 6 с.
2. Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю. Эффективная магнитно-импульсная обработка режущего инструмента // Обработка металлов. – 2009. – № 1. – С. 4–7.
3. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник. В двух т. / под ред М.А. Шлугера. – М.: Машиностроение, 1985 – Т. 1. – 240 с.
4. Малыгин Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 112 с.