

4. Полях О.А., Якушевич Н.Ф. Оценка возможности и целесообразности использования мелкодисперсных кремнеземсодержащих материалов в восстановительных процессах // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. 1999. Вып. 8. С. 29 - 40.
5. Зубов В.Л., Гасик М.И. Электрометаллургия ферросилиция. – Днепропетровск : Системные технологии. 2002. - 704 с.
6. Якушевич Н.Ф., Полях О.А. Технология углетермического синтеза микропорошков карбида кремния. - В кн.: Новые материалы и технологии. - М.: МГАТУ, 1994. С. 32 - 35.
7. А.С. СССР 1730035: Способ получения карбида кремния / В.М. Динельт, В.И. Ливенец; опубл. 16.08.1992; бюл. № 22.
8. Страхов В.М. Проблемы с углеродистыми материалами для рудной и химической электротермии и пути их решения // Кокс и химия. 2010. № 8. С. 29 - 33.
9. Страхов В.М. Альтернативные углеродистые восстановители для ферросплавных производств // Кокс и химия. 2009. № 1. С. 20 - 25.
10. Исламов С.Р. Переработка низкосортных углей в высококалорийное топливо // Уголь. 2012. № 3. С. 64 - 66.
11. Улановский М.Л. Формирование заданных свойств углеродистого восстановителя для электротермических процессов // Кокс и химия. 2000. № 4. С. 14 - 20.
12. Нефедов П.Я. О требованиях к качеству углеродистых восстановителей для процессов рудной электротермии // Кокс и химия. 2000. № 8. С. 24 - 32.
13. Пат. РФ 2060935. Способ очистки карбида кремния / В.П. Исаков, К.С. Юдина, Ю.А. Филиппов; опубл. 27.05.1996; бюл. № 24.
14. Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г. Особенности применения традиционных методов исследования физико-химических и технологических свойств тугоплавких карбидов и боридов для аттестации их высокодисперсного состояния // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. 2003. № 12. С. 78 - 86.
15. Руднева В.В. Галевский Г.В. Термоокислительная устойчивость нанопорошков тугоплавких карбидов и боридов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2007. № 4. С. 20 - 24.

#### ПЕРИОДИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВУХСЛОЙНЫХ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 И БРОНЗЫ ПГ-19М-01, ПОЛУЧАЕМЫХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ

*О.Г. Девойно, д.т.н., проф., В.К. Шелег, д.т.н., проф., Н.И. Луцко, научн. сотр.*

*Белорусский национальный технический университет*

*Республика Беларусь, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65,*

*тел. (375-017-331-00-45), e-mail: scvmed@bntu.by*

**Аннотация:** Исследовано распределение микротвердости в двухслойном мультимодальном покрытии на основе сплава на основе Ni и алюминиевой бронзы, полученном лазерной наплавкой. Установлена периодичность изменения микротвердости в поперечном сечении композиционных покрытий. Дана оценка регулирования характеристик покрытий при различных схемах лазерной наплавки.

**Abstract:** Micro-hardness distribution in laser cladding double layer multimodal coating made from Ni-based alloy and aluminium bronze was investigated. Periodical variance of micro-hardness in double layer multimodal coating cross section was specified. The estimation about adjustment of coating characteristics under laser cladding scheme variance was get done.

В связи с увеличением потребности промышленности в высоко-износостойких материалах и исчерпанием возможностей упрочнения однокомпонентных материалов возрастает роль композиционных материалов, в том числе композиционных покрытий, позволяющих значительно увеличить износостойкость. Особое место среди композиционных покрытий занимают так называемые мультимодальные покрытия [1, 2], в которых имеются несколько значений какого-либо признака (размера частиц упрочняющей фазы, пористости, вида материала), имеющие одинаковую частоту повторения. Лазерная наплавка дает возможность создавать мультимодальные покрытия, состоящие из полосчатых слоев, полученных чередованием материалов с различными физико-механическими свойствами. Такие слои характеризуются не только высокой износостойкостью, но и анизотропией износостойкости в разных направлениях относительно наплавленных валиков.

В настоящее время уже накоплен значительный научный задел в области формирования покрытий из порошковых материалов с использованием метода лазерной наплавки. Изучены материаловедческие и технологические аспекты получения лазерно-наплавленных слоев для различных материалов [3-5]. Тем не менее, требуют проработки вопросы формирования многослойных мультимодальных покрытий из слоев, получаемых чередованием валиков из разных составляющих мультимодального покрытия и вопросы изучения их физико-механических характеристик.

В данной работе изучалось распределение микротвердости по глубине и в продольном направлении (вдоль поперечного сечения слоя) в двухслойном мультимодальном покрытии, полученном методом лазерной наплавки чередованием валиков из сплава на основе никеля ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01. Покрытия наносились на технологическом комплексе на базе CO<sub>2</sub>-лазера непрерывного действия типа «Комета» и координатного стола с системой числового программного управления «Mach 3» на образцы из стали 45, предварительно подвергнутые дробеструйной обработке. Наплавка велась в четыре этапа. На первом этапе на основу наносилась сетка из параллельных валиков из сплава ПГ-12Н-01 с различными шагами, на втором этапе между валиками из сплава ПГ-12Н-01 наплавливались валики из бронзы ПГ-19М-01. Далее снова выполнялись этапы 1 и 2, основой для наплавки являлся уже нанесенный слой, только наплавка валиков второго слоя производилась со смещением, так, чтобы валики из сплава ПГ-12Н-01 располагались над валиками из бронзы ПГ-19М-01, и наоборот.

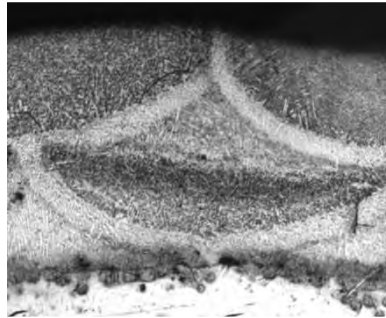


Рис. 1. Поперечное сечение двухслойного мультимодального покрытия из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 x50

После наплавки образцы разрезали в направлении, перпендикулярном наплавленным валикам, шлифовали и полировали. На фотографии полученного шлифа поперечного сечения (рисунок 1) отчетливо видны валики бронзы ПГ-19М-01 и валики из сплава ПГ-12Н-01.

Измерение микротвердости выполнялось на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 100 г по глубине покрытия по линиям симметрии валиков из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01, находящихся в первом слое покрытия, из основы в покрытие с шагом 0,05 мм и в продольном направлении вдоль поперечного сечения слоя параллельно основе с шагом 0,1 мм.

Распределение микротвердости по глубине двухслойного мультимодального покрытия из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 в случае, когда в нижнем слое находится валик бронзы, представлено на рис. 2.



Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине двухслойного мультимодального покрытия из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 (валик из бронзы внизу)

Как видно из рисунка 2, на границе основа-покрытие наблюдается достаточно резкий рост микротвердости до значений 4300-4800 МПа, что соответствует бронзовой составляющей покрытия. На таком уровне микротвердость остается до расстояния от основы 0,3-0,55 мм, когда при переходе к самофлюсующемуся сплаву ПГ-12Н-01 микротвердость вновь возрастает до 5200-5800 МПа и сохраняется на таком уровне до расстояния от основы 0,75-0,9 мм. После этого при переходе к стыку двух валиков бронзы над серединой валика из сплава ПГ-12Н-01 происходит снижение микротвердости покрытия до 4500-4800 МПа. Таким образом, для случая, когда внизу находится валик бронзы, по глубине многослойного покрытия наблюдаются три зоны микротвердости. При переходе от одной зоны микротвердости к другой, изменение микротвердости происходит достаточно резко, что свидетельствует о небольшой величине переходных зон или об их отсутствии.

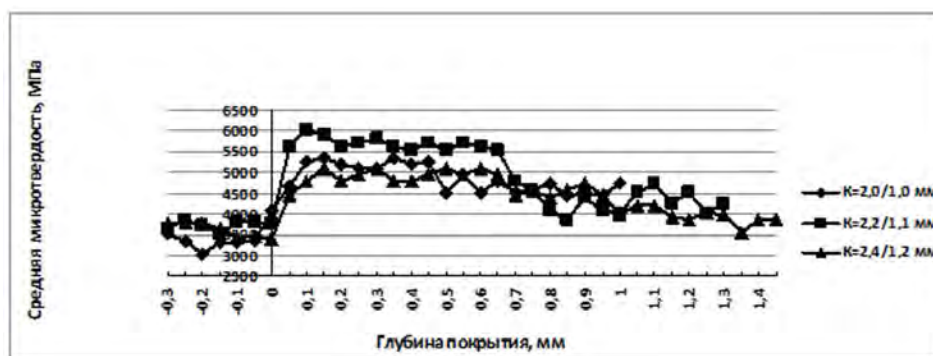


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине двухслойного мультимодального покрытия из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 (валик из сплава внизу)

Несколько иная картина распределения микротвердости по глубине двухслойного мультимодального покрытия из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 наблюдается в случае, когда в нижнем слое находится валик из сплава ПГ-12Н-01 (рисунок 3). Видно, что на границе основа-покрытие заметен резкий рост микротвердости до значений 5000-5800 МПа, что соответствует сплаву ПГ-12Н-01. На таком уровне микротвердость сохраняется до расстояния от основы 0,5-0,95 мм. После этого происходит снижение микротвердости покрытия до 4200-4700 МПа, что связано с переходом в бронзовую составляющую композиционного покрытия. Таким образом, для случая валик самофлюсующегося сплава внизу, по глубине двухслойного композиционного покрытия наблюдаются две зоны микротвердости. Как и в предыдущем случае, переход от одной зоны микротвердости к другой сопровождается достаточно резким изменением микротвердости, что обычно связано с небольшой величиной переходных зон.

Характерные результаты измерения микротвердости в продольном направлении вдоль поперечного сечения слоя параллельно основе представлены на рисунке 4. Координаты начальных точек измерения выбирались в середине левого валика из бронзы ПГ-19М-01, координаты конечной точки измерения – в середине правого валика из бронзы. Из рисунка 4 видно, что при всех исследованных шагах наплавки в продольном направлении двухслойного мультимодального покрытия наблюдается периодичность изменения микротвердости. Вначале, когда измерения выполняются в валике бронзы ПГ-19М-01, средняя микротвердость покрытия находится в пределах 3300-4750 МПа, затем, когда измерения проводятся в валике сплава ПГ-12Н-01, наблюдается увеличение средней микротвердости до 4400-5600 МПа, и, наконец, когда измерения снова проводятся в валике из бронзы, средняя микротвердость опять уменьшается до 3300-4750 МПа. Такие периодические изменения микротвердости происходят вдоль всего поперечного сечения двухслойного мультимодального покрытия из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01.

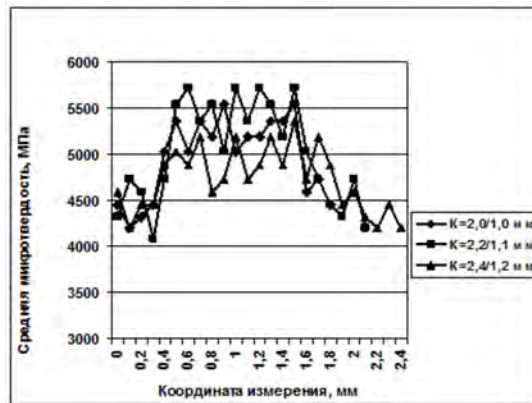


Рис.4. Распределение микротвердости в двухслойном мультимодальном покрытии из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 в направлении параллельно основе

Таким образом в двухслойном мультимодальном покрытии из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 наблюдается периодичность изменения микротвердости, как по глубине слоя (в случае, когда валик из бронзы находится внизу), так и в продольном направлении слоя параллельно основе.

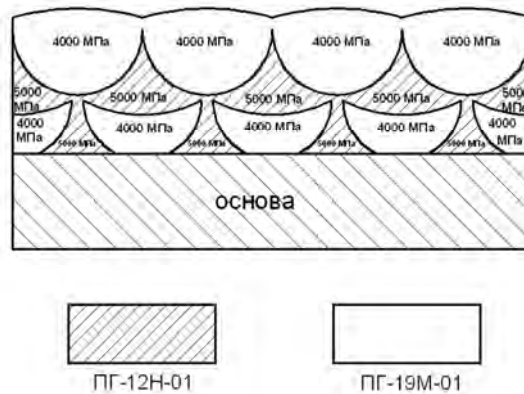


Рис. 5. Схема поперечного сечения двухслойного мультимодального покрытия из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01

На рисунке 5 наблюдаемая периодичность изменения микротвердости в двухслойном полосчатом мультимодальном покрытии из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 для наглядности представлена в виде схемы. Как видно из рисунка 5, это покрытие представляет собой матрицу из сплава ПГ-12Н-01 со средней микротвердостью 5000 МПа, в которую при помощи лазерной наплавки внедрены области из бронзы ПГ-19М-01 со средней микротвердостью 4000 МПа. После механической обработки поверхности, в плане сверху такое покрытие будет представлять собой полосчатую структуру, в которой чередуются полосы сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01.

Таким образом, при помощи лазерной наплавки существует возможность создавать мультимодальные полосчатые покрытия, состоящие из полос разнородных материалов и при этом добиваться периодичности изменения микротвердости покрытий в поперечном сечении, по глубине покрытия и в плане сверху. При этом, варьируя соотношение шагов наплавки одноименных и разноименных материалов, можно добиваться разной периодичности изменения этой характеристики покрытий.

Исследования, проведенные в рамках данной работы, позволяют понять механизм формирования двухслойных мультимодальных покрытий из разнородных материалов методом лазерной наплавки. Показана возможность получения периодичности изменения микротвердости в поперечном сечении мультимодальных покрытий, по глубине покрытия и в плане сверху. Полученные результаты позволяют сделать предположение о периодичности изменения и других физико-механических свойств таких покрытий. Кроме того, можно с достаточной степенью уверенности утверждать, что существует реальная возможность регулирования физико-механических и эксплуатационных

свойств, в том числе износостойкости и коэффициента трения в покрытиях, получаемых методом лазерной наплавки.

Подобные композиционные покрытия могут использоваться для повышения износостойкости направляющих различного назначения, подшипников скольжения, штоков.

Литература.

1. J. Ratajski, A. Gilewicz, P. Bartosik, L. Szparaga. – Mechanical properties of antiwear Cr/CrN multilayer coatings // Archives of Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 75. - I. 2. – P. 35-45.
2. A. Gilewicz, R. Olik, L. Szpraga, J. Ratajski. – The properties of multi-layer and gradient coatings based on CrN/CrCN deposited on nitride 4140 steel // Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems. – 2014. – I. 3. – P. 27-43.
3. John C. Ion, Laser processing of Engineering Materials: principles, procedure and industrial application. - MA.: Elsevier Butterworth – Heintmann, Burlington, 2005. - 220 p.
4. E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin, Laser Cladding. - Boca Raton, Florida: CRS Press, 2005. 380 p
5. J. Th. M. De Hosson, V. Ocelic, Functionally graded materials produced with high power lasers// Proceeding of ASTRA – 2003. - Hyderabad, India, 2003. - P. 368-376.

#### **ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ РК**

*М.М. Мусаев, докторант, К.Т. Шеров, д.т.н., проф.*

*Казахстанский государственный технический университет, г. Караганда*

*100012, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, тел. 8(7212) 56-75-98 (код 1056)*

*E-mail: kstu\_mmm@mail.ru*

**Аннотация:** В данной статье приведены результаты исследований состояния проблемы обработки деталей типа тел вращения в условиях машиностроительных предприятий Республики Казахстан (РК). Исследования показали, что более 85% деталей подвергающихся механической обработке относятся к деталям тел вращения. Выявлена проблема, связанная с дроблением стружки при токарной обработке. Для решения данной проблемы предложена технология термофрикционного фрезоточения, а также разработано и изготовлено универсальное устройство для осуществления предлагаемого способа.

**Abstract:** The article presents the results of research into problems solved in machine-building enterprises of the Republic of Kazakhstan (RK). Studies have shown that more than 85% of the parts of the machined parts of the body of rotation. The problem associated with jet crushing during turning is revealed. To solve this problem, a technology of thermofriction turn-milling has been proposed, as well as a universal device designed and manufactured to supply the proposed method.

Одной из важнейших задач современного развития экономики является интенсификация производства на основе достижений научно-технического прогресса. Темпы научно-технического прогресса обусловлены в основном развитием машиностроения.

В современном машиностроительном производстве Республики Казахстан, особенно в горно-металлургическом комплексе, все большее применение находят коррозионностойкие и жаропрочные стали и сплавы, обработка которых традиционными для заводов Казахстана способами механической обработки связана с определенными трудностями. Эти сплавы, как правило, являются труднообрабатываемыми. Износ режущего инструмента весьма высок. Для обработки таких материалов в основном применяется резцы, оснащенные пластинками из дорогостоящих инструментальных материалов – твердые сплавы, минералкерамика, эльбор и т.д.

Одним из путей экономии дорогого инструментального материала является разработка и применение новых ресурсосберегающих технологий термофрикционной обработки на малых скоростях [1,2,3], в частности комплексный способ обработки наружных цилиндрических поверхностей термофрикционным фрезоточением [4,5,6].

Было проведено исследование состояния проблемы обработки деталей тел вращения в условиях АО «Алматинский завод тяжелого машиностроения» и ТОО «Курлысмет» Производство №2 (завод НОММ).