

динатных перемещений, а так же рассеивание составляющих погрешностей.

Прогнозирование смещения выходного параметра ΔY позволит учитывать конструктивные особенности МС в процессе эксплуатации для достижения требуемой точности при получении межосевых расстояний и линейных размеров в корпусных деталях.

УДК 681.7

Грондзка-Далке М., Сазонов М.И., Цыганов Д.Л., Якушевич С.

ИЗУЧЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК

Алмазные и алмазоподобные пленки (АПП), получаемые плазменными методами осаждения из газовой фазы или в вакууме, привлекает ученых уже около четверти века. Постоянно растущий интерес к этим пленкам и расширение исследований объясняется уникальностью их свойств: высоким удельным электрическим сопротивлением, оптической прозрачностью в видимом и ИК – диапазонах электромагнитного излучения, низким коэффициентом трения, высокой стойкостью в агрессивных химических средах и биосовместимостью.

В основе получения алмазных и алмазоподобных пленок используются различные методы: нагрев нити, плазмы высокочастотного разряда (ВЧ), ионно-лучевых источников, магнетронов и т.д. Следует отметить, что всем известным методам присущи как достоинства, так и недостатки. Наиболее перспективным, на наш взгляд, является метод получения АПП способом химического осаждения из газовой фазы с применением до и или сверхзвуковой плазменной струи (CVD метод).

Брестским государственным техническим университетом совместно со Сморгонским заводом оптического станкостроения была разработана и создана вакуумно-плазменная установка (ВПУ-2), предназначенная для получения алмазоподобных пленок. Установка типа ВПУ-2 позволяет в широких диапазонах изменять параметры ее работы, что в конечном итоге влияет на качество и скорость роста алмазоподобных пленок. Схема установки ВПУ-2, используемой для осаждения алмазоподобных пленок, приведена на рис. 1.

Нанесение тонких износостойких алмазоподобных покрытий производится способом химического осаждения из газовой фазы с применением высокотемпературной плазменной струи.

Осаждение пленок проводилось при мощности плазматрона, равной 5-20 кВт, расходах аргона 3-6 л/мин, метана 0,3-2 л/мин, водорода 0,4-1,2 л/мин, расстояниях от плазматрона до подложки 40-120 мм и давлении газа в реакторе 150-280 Па. В качестве основного метода исследования структуры покрытий нами был выбран метод комбинационного рассеяния света (КРС). Спектры КРС регистрировались при комнатной температуре с помощью спектрометра модели 1403 фир-

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проников А. С. Программный метод испытания металло-режущих станков. – М.: Машиностроение, 1985.
2. Горбунов В. П., Григорьев В. Ф. Оценка технологической надежности многоцелевого станка по параметру точности координатных перемещений // Вестник БГТУ – Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. -№4, 2000 – с.8-11.

мы Spx. Регистрация спектров осуществлялась по схеме обратного рассеяния, спектральная полуширина щелей спектрометра составляла 2-3 см⁻¹. Возбуждение производилось излучением Ar*-лазера с длиной волны 488 нм и 514,5 нм. Мощность излучения на образце составляла 0,3-0,4 Вт, а диаметр возбуждающего пучка составлял ~ 20 мм. Характерный спектр КРС углеродных пленок, выращенных при различных температурах подложки и времени напыления, показан на рис. 2.

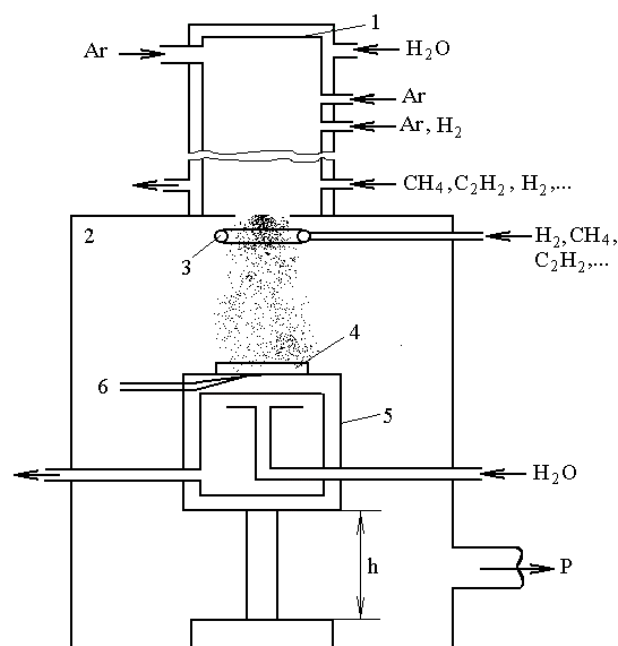


Рисунок 1 – Схема установки ВПУ-2

1 – плазмотрон с межэлектродной вставкой, 2 – химический реактор, 3 – кольцо для подачи газов в реактор, 4 – подложка, 5 – водоохлаждаемый подложкодержатель, 6 – термопара, P – к откачному посту.

Грондзка-Далке М. Преподаватель Белостокского технического университета.

Якушевич С. Директор предприятия по производству технологического оснащения Белостокского технического университета.

Польша, г. Белосток, ул. Вейска, 45с.

Сазонов Михаил Иванович. Д.т.н., профессор, каф. сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Цыганов Д.Л. Аспирант каф. сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

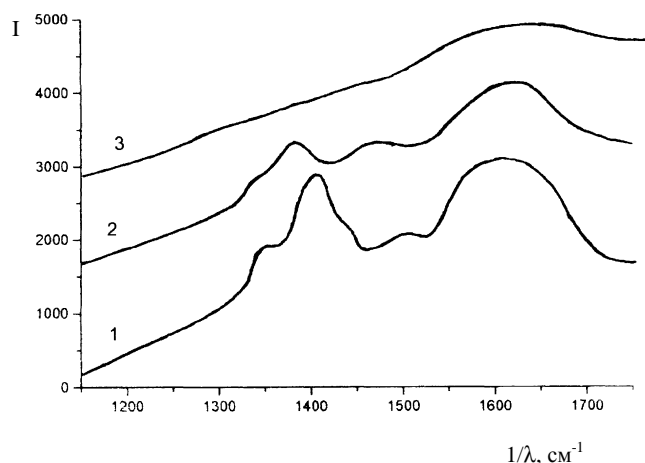


Рисунок 2 – Спектры КРС углеродных пленок, выращенных с использованием медных столиков различной толщины в водоохлаждаемом подложкодержателе. Расход метана -0,2 л/час.

1. Толщина столика - 4 мм, время нанесения 60 мин.
2. Толщина столика - 2мм, время нанесения 15 мин.
3. Без водоохлаждения, время нанесения 20 мин.

На рис. 2 также показано изменение характера спектров КРС углеродных пленок в зависимости от толщины водоохлаждаемого столика при прочих равных условиях нанесения. Температура на поверхности подложки увеличивается с ростом толщины столика. Спектр КРС пленки, выращенной при максимальной температуре (~650⁰ С), состоит из двух широких полос 1350 см⁻¹ (D –полоса) и 1580 см⁻¹ (G –полоса) с одинаковой интенсивностью, что позволяет характеризовать ее как алмазоподобную. При снижении температуры на поверхности подложки соотношение интенсивностей D- и G –полос уменьшается. Кроме полосы 1350 см⁻¹ наблюдаются дополнительные полосы (кривая 1) с максимумами в интервале 1370-1400 см⁻¹ и 1470-1500 см⁻¹. Причем интенсивность полосы 1370-1400 см⁻¹ превосходит интенсивность D- полосы. Снижение интенсивности и уширение полос D- и G- полос, а также появление в промежуточной области между двумя основными полосами дополнительных полос говорит об уменьшении размеров как *sp*₃ -, так и *sp*₂ – гибридных кристаллических кластеров. Это уменьшение размера кристаллических кластеров прежде всего может происходить за счет изменения температуры подложки.

Для того, чтобы оценить пригодность использования полученных АПП в условиях перегрузок были проведены сравнительные исследования микротвердости поверхностей материалов с АПП. Трибологические исследования проводились на стимуляторе трения (рис. 3) в дисково-кольцевой системе при вращательно-реверсивном движении. Частота движения достигала 1 Hz, максимальная скорость скольжения - $v_{p\ max} = 0,018\ m/s$, нагрузка задавалась переменной по синусоидальной зависимости - от 0 до 8 МПа, время испытаний составляло 4 часа. В качестве смазки применен 2% раствор карбоксиметилцеллюлозы. Материал заготовок для исследования приведен в таблице 1. Образцы были выполнены в виде дисков. В качестве детали пары трения использовалось кольцо из коррозионностойкой хромистой стали 0Н13, закаленной до твердость 55 HRC_s, поверхность была полированная до шероховатость $R_a = 0,07\ \mu m$.

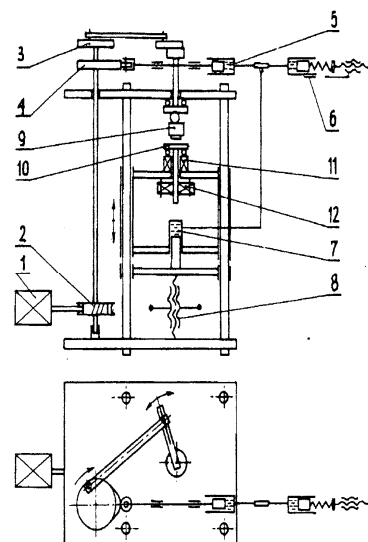
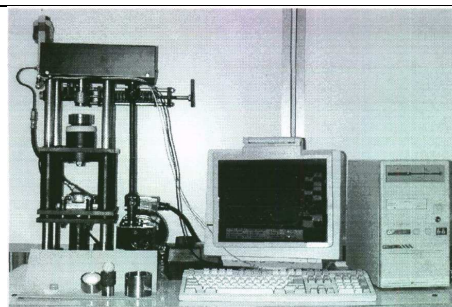


Рисунок 3 – Схема и фотография трибологической установки: 1 – электромотор, 2 – червячный привод, 3 – рычажный механизм, 4 – копир, 5 – гидроцилиндр, 6 – регулятор, 7 – вспомогательный гидроцилиндр, 8 – винтовой подъемник, 9 – патрон для заготовки, 10 – деталь пары трения, 11 – датчик нагрузки, 12 – датчик сил трения.

Фотографии поверхности выполнены при помощи электронного сканирующего микроскопа типа Hitachi S3000-N (SEM), микротвердость измерялась методом Hanemanna с использованием оптического микроскопа типа Neophot 10.

На рис. 4 представлены фотографии поверхностей исследуемых образцов с нанесенной алмазоподобной пленкой. Анализ фотографии алмазоподобной пленки на поверхности отдельных образцов показал, что параметры процесса образования покрытий не были достаточно оптимизированы. На образцах серии 1-D, 2-D, 3-D, 6-D видно, что нанесенные пленки из-за значительной их толщины растрескивались и отслаивались от основы.

Таблица 1 – Материал образцов для нанесения АПП и условные обозначения.

Обозначение	Материал образца
1-0	Ферритная сталь 0Н13
1-D	Ферритная сталь 0Н13 с покрытием
2-0	Аустенитная сталь 0Н18Н10
2-D	Аустенитная сталь 0Н18Н10 с покрытием
3-0	Аустенитная сталь 00Н18Н9Т
3-D	Аустенитная сталь 00Н18Н9Т с покрытием
4-0	Алюминий
4-D	Алюминий с покрытием
5-0	Медь
5-D	Медь с покрытием
6-0	Алюминиевая бронза ВА93
6-D	Алюминиевая бронза ВА93 с покрытием

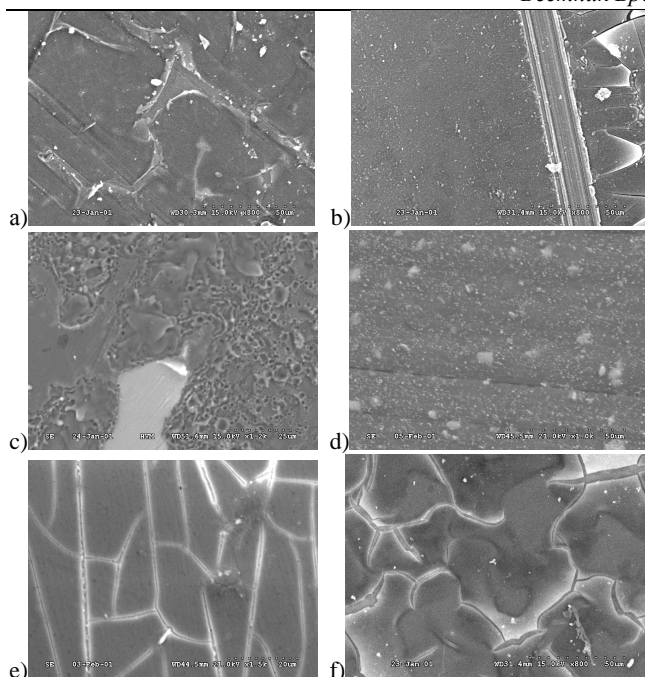


Рисунок 4 – Микрофотографии поверхностей исследуемых материалов с алмазоподобными покрытиями (SEM):

a) 1-D, 800× -тонкое покрытие - отслаивается от подложки; b) 2-D, 800× – толстое - прочное покрытие, на рисунке потрескалось вблизи риски вследствие напряжений; c) 3-D, 1200× - тонкое покрытие неравномерной толщины; d) 4-D, 1000× - хорошая адгезия; e) 5-D, 1500× - хорошая адгезия, но покрытие потрескалось вследствие термических напряжений; f) 6-D, 800× - тонкое покрытие - отслаивалось от подложки.

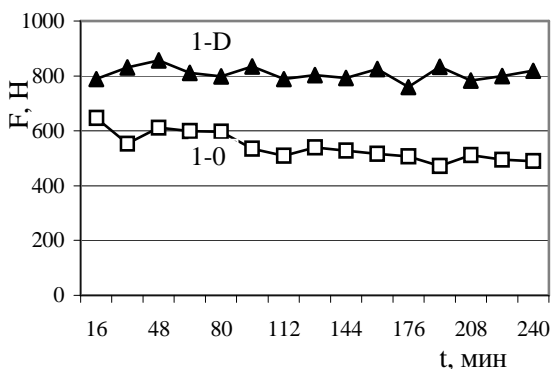


Рисунок 5 – Изменения усилий трения F стали 0H13.

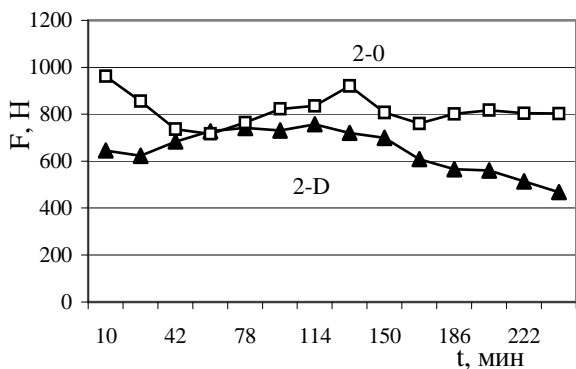


Рисунок 6 – Изменения усилий трения F стали 0H18N10.

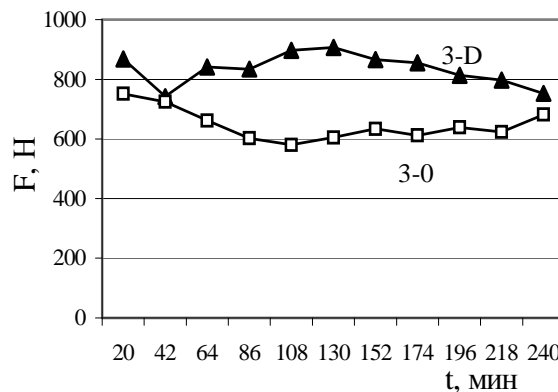


Рисунок 7 – Изменения усилий трения F стали 00H19N9T.

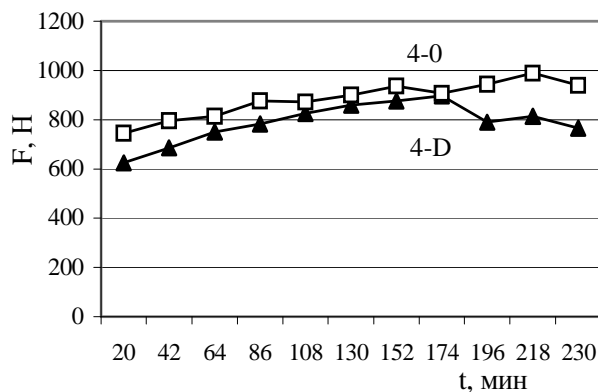


Рисунок 8 – Изменения усилий F трения алюминия.

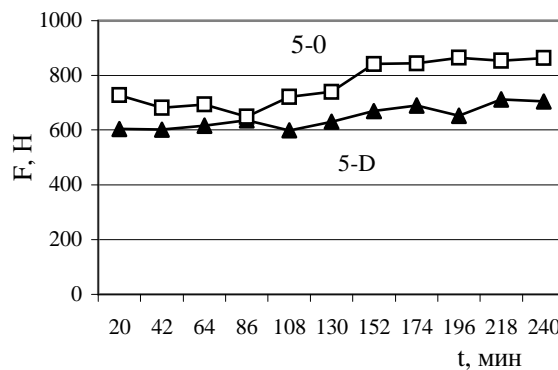


Рисунок 9 – Изменения усилий F трения меди.

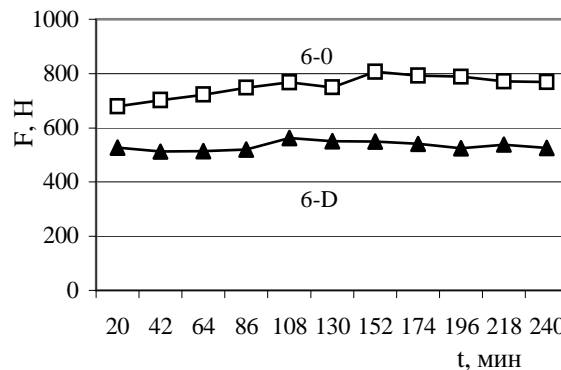


Рисунок 10 – Изменения усилий трения F бронзы BA93.

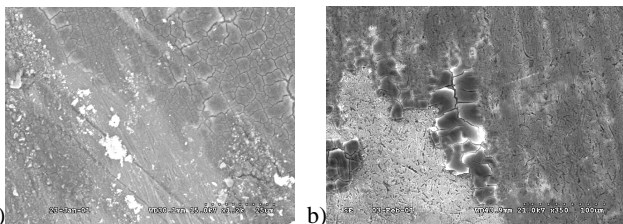


Рисунок 11 – Топография поверхности образцов из стали 0H13 после 4-часового испытания (SEM):
a) 1-D с АПП, 1200х; b) 1-0, 350х.

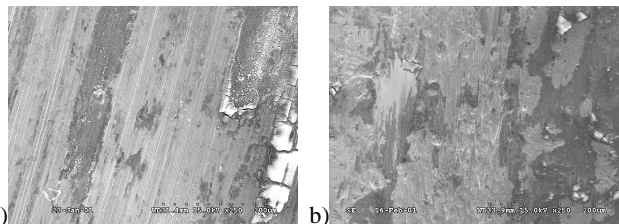


Рисунок 16 – Топография поверхностей образцов из бронзы BA93 после 4-часового испытания (SEM):
a) 3-D 250х; b) 3-0, 250х

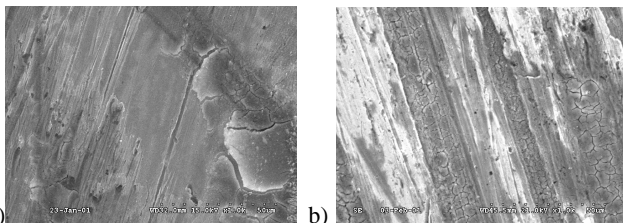


Рисунок 12 – Топография поверхностей образцов из стали 0H18N10 после 4-часового испытания (SEM):
a) 2-D с АПП, 1000х; b) 2-0, 1000х.

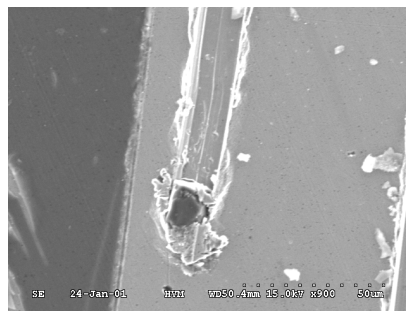


Рисунок 17 – Абразивное действие частиц износа во время трения меди с покрытием АПП, 900х.

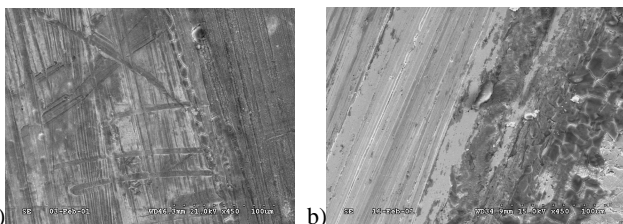


Рисунок 13 – Топография поверхностей образцов из стали 00H18N9T после 4-часового испытания (SEM):
a) 3-D с АПП, 450х; b) 3-0, 450х.

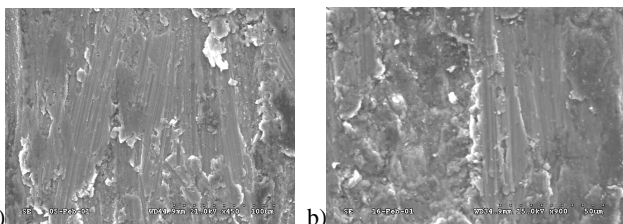


Рисунок 14 – Топография поверхностей образцов из алюминия после 4-часового испытания (SEM):
a) 4-D с АПП, 450х; b) 4-0, 900х.

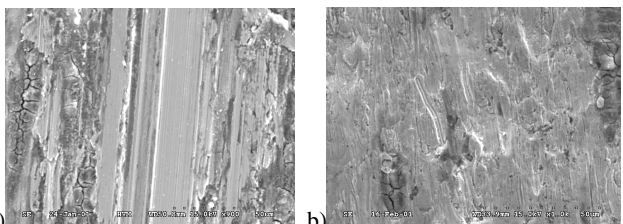


Рисунок 15 – Топография поверхностей образцов из меди после 4-часового испытания (SEM):
a) 3-D с АПП, 900х; b) 3-0, 1000х

Особенно хорошо это видно на образце 3-D, изготовленного из мягкой аустенитной стали 00H18N9T, где пленка неоднородна и характеризовалась самой слабой адгезией. Только для серий 4-D, 5-D получен плотный, хорошо прилегающий к основе алмазный слой. Но нанесенная пленка хрупкая и трескается под воздействием напряжения. Слабую адгезию нанесенных слоев к поверхности исследуемых материалов подтверждали также исследования микротвердости поверхности исследуемых материалов. Так для образца серии 3-D из стали 00H18N9T с алмазоподобным покрытием попадались два значения микротвердости: большее в местах, где покрытие хорошо прилегает к основе, и меньшее, равное микротвердости не модифицированной стали.

Результаты трибологических исследований показали различное влияние углеродных покрытий на условия трения и процессы изнашивания для различных материалов.

При трении мягких сталей: ферритной 0H13 (серия 1) и аустенитной 00H18N9T (серия 3) влияние покрытия на величину усилий трения – отрицательное. Максимальные величины усилий на образцах с покрытиями значительно больше, чем для не модифицированных материалов в течение всего четырех часового периода исследований (рис.5 и рис.7). Но в обоих случаях покрытие не оказало влияния на величину износа. Для ферритной стали не наблюдалось износа, при данной точности измерений, после четырех часов исследований на обоих образцах на микрофотографиях видны гладкие поверхности (рис.11а и 11б).

На поверхностях аустенитной стали 00H18N9T (серии 3-0 и 3-D) после четырех часов испытаний на трение появились равномерные лунки глубиной около 5 мкм. На микрофотографиях виден абразивный износ поверхностей (рис.13).

Для серии 4-D стали 0H18N10, где покрытие характеризовалось лучшим качеством и адгезией к подложке (рис.4б), результаты трибологических исследований показали положительное влияние покрытия на снижение усилий трения (рис.6). Анализ следов трения подтвердил различный характер процессов изнашивания. На поверхности образца без покрытия наблюдаются глубокие риски, характерные для абразивного износа (рис.12б). На поверхности стали серии 4-D

после четырех часов испытаний видны еще следы покрытия и образовавшихся вторичных пленок, ответственных за снижение усилий трения (рис. 12а).

Для алюминия и меди влияние покрытия на усилия трения – незначительное (рис. 8 и 9). На мягком алюминиевом образце тонкий слой покрытия был разрушен уже в начале исследования, после чего наступило интенсивное изнашивание, как и для материала без покрытия. На обоих образцах видны следы усталостного износа пластичного материала (рис. 14 а и 14 б). Микрофотографии медных образцов показали различный характер износа (рис. 15). На не модифицированном материале видны следы усталостного износа (рис. 15а), а на образце серии с покрытием (5-D) – абразивный износ (рис. 16 б). Большие величины усилий трения и износа меди с покрытием можно объяснить абразивным действием частиц износа, остающихся в зоне трения (рис. 17).

Наиболее положительное влияние покрытия получено при трении алюминиевой бронзы ВА93 (серия 6-D) – 30% снижение усилий трения (рис. 10) и значительное уменьшение износа по сравнению с непокрытым материалом. Микрофотографии поверхностей после трения подтвердили различный характер процессов изнашивания. Следы трения непокрытого материала показывают усталостный износ (рис. 16 б). На поверхности образца 6-D видны еще следы покрытия (рис. 16 а), несмотря на плохую его начальную адгезию. Наверно в начале трения образовались вторичные защитные пленки с участием углеродного покрытия.

УДК 622.24.051

Монтик С.В.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ТВЕРДОГО СПЛАВА

Твердые сплавы типа ВК (сплавы карбида вольфрама с кобальтом) обладают высокой твердостью, прочностью и износостойкостью, что обусловило их широкое применение для оснащения режущего, горного и бурового инструментов. Одним из способов экономии твердого сплава является использование биметаллических изделий, состоящих из твердосплавной рабочей части и стального основания. Для изготовления биметаллических (твердый сплав – сталь) изделий можно применять метод электроконтактного механотермического формирования (МТФ), разработанный в Государственной академии нефти и газа имени И. М. Губкина (г. Москва). МТФ характеризуется спеканием порошка твердого сплава и получением монолитного соединения его со сталью за счет выделения теплоты при пропускании электрического тока и формирующего давления.

Биметаллические (твердый сплав – сталь) изделия, изготовленные МТФ, эксплуатируются в различных условиях работы, поэтому возникает задача исследовать влияние технологии МТФ на микроструктуру твердого сплава. Это позволит определять оптимальные параметры технологии МТФ в зависимости от конкретных условий работы твердого сплава, т. к. именно микроструктура оказывает существенное влияние на износостойкость и прочность твердого сплава.

Для исследования влияния технологии МТФ на микроструктуру твердого сплава были изготовлены биметаллические изделия в виде зубков формы Г26 по ГОСТ 880-75 для шарошек буровых долот. Использовались твердые сплавы ВК8-В и ВК10-КС по ГОСТ 3882-74 и сталь 45 по ГОСТ 1050-74. Для изготовления биметаллических изделий применялась одно- и двухстадийная технология МТФ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Диесперова И.И., Слепцов В.В. Научно-технические технологии инженерии поверхности: положение сегодня и перспективы развития российского рынка. //Справочник. Инженерный журнал. 2001. №1. С 59 – 62.
2. Блинов Л.М., Гуляев Ю.В., Долголаптев А.В., Шклов И.П.. Алмазные пленки: перспективные направления использования и их получение в плазме ВЧ- и СВЧ- разрядов пониженного давления.// Радиотехника и электроника. 1996 г.41. №4. С.389-403
3. Matsumoto S., Chattopadhyay K.K.. A New RF+DC Plasma CVD Method for Diamond Deposition // Proceedings of 12th Intern. Symposium on Plasma Chemistry (Minneapolis, University of Minnesota) 1995 Edited by J.V. Heberlein, D.W. Ernie, J.T. Roberts Minneapolis, University of Minnesota, 1995. vol.4 P. 2315-2320
4. Сазонов М.И., Хвисевич М.И., Кузмич В.А., Пекун А.И., Каролинский В.Г., Цыганов Д.Л. Осаждение из газовой фазы алмазоподобных пленок с применением вакуумно-плазменной установки ВПУ-2 // 2000. Материалы и технологии :Тез. 4-ой респуб. конф. Гомель. С.87.
5. Grib V.N., Gusakov G.A., Karolinsky V.G., Sazonov M.I., Solovyov V.S. A study into the processes of depositing diamond-like films by using plasma jets. Межд. конф. "Физика плазмы и плазменные технологии", г. Минск. 2000. С.487-490.

Двухстадийная технология МТФ заключается в спекании под давлением в керамической пресс-форме порошка твердого сплава при одновременном его соединении со стальным основанием за счет теплоты, выделяемой при пропускании электрического тока, с использованием медного, а затем графитового электрода-пуансона. Параметры процесса: давление прессования 25 - 50 МПа, плотность тока 8 - 20 А/мм², время процесса 5 - 7 с для каждой стадии.

При одностадийной технологии МТФ спекание осуществляется под давлением в графитовой пресс-форме за счет нагрева при прохождении электрического тока через порошок твердого сплава, стальное основание и пресс-форму. Давление прессования составляет 9 МПа, плотность тока 4 - 5 А/мм², длительность процесса от 10 до 200 с.

Исследование микроструктуры твердых сплавов проводилось по ГОСТ 9391-80 [1] на оптическом микроскопе НЕОР-НОТ 30.

Определение стереологических параметров твердых сплавов - среднего размера карбидных зерен d_{WC} , среднего размера участка Со-фазы l_{Co} , смежности C_{WC-WC} . проводилось методом случайных секущих [2,3] на фотографиях травления шлифов при увеличении в 1250 и 2000 раз. Средний размер карбидных зерен определялся как отношение суммарной длины секущей, приходящейся на зерна WC, к числу зерен, через которые проходит секущая. Аналогично определялся и средний размер участка кобальтовой фазы. Смежность C_{WC-WC} (относительная доля контактной поверхности) вычислялась по формуле:

Монтик Сергей Владимирович. Доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.