

**Заключение.** В сравнении с традиционной технологией возделывания пропашных культур при предлагаемой гребневой технологии урожайность сои, подсолнечника и кукурузы увеличилась на 20,16 и 38 %, соответственно. Использование разработанных перспективных энерго- и ресурсосберегающих средств механизации гребневого возделывания пропашных культур с оптимизированными конструктивными параметрами и режимов работы позволяет повысить урожайность пропашных культур. За счет совмещения нескольких технологических операций за один проход агрегата эксплуатационные затраты на предпосевную обработку почвы, посев и уход за посевами снижаются до 45 %.

#### Список цитируемых источников

1. Козырев, Б. М. Энергосберегающие технологии и машины для поверхностной обработки почвы / Б. М. Козырев — Минск, 2003. — 366 с.
2. Крючин, Н. П. Обоснование ресурсосберегающих технологий рядового посева и совершенствование высевальных систем посевных машин : дис. ... д-ра техн. наук. — Самара, 2006 — 339 с.
3. Тепловая обработка зерна в условиях контактного типа / В. И. Курдюмов [и др.] — Минск : БГАТУ, 2014. — 290 с.

УДК 621.793

**М. А. Леванцевич, А. С. Столяров, И. А. Козловский**

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь*

### **РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ, СФОРМИРОВАННЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫМ ПЛАКИРОВАНИЕМ ГИБКИМ ИНСТРУМЕНТОМ**

**Введение.** Проблема кардинального повышения ресурса узлов трения машин и механизмов предопределяет необходимость изыскания все более эффективных путей ее решения. Перспективным в этом направлении является применение упрочняющих технологий, обеспечивающих формирование поверхностей трения с заданным комплексом эксплуатационных свойств различными технологическими методами, в том числе и путем нанесения тонких металлических покрытий. Подобные покрытия широко используют в машиностроении для снижения трения скольжения в подвижных сопряжениях механических систем и повышения износостойкости трущихся деталей. При этом предпочтение отдают покрытиям с гетерогенной (неоднородной) структурой, состоящей из распределенных в пластичной массе легирующих добавок из твердосмазочных материалов (графита, дисульфида молибдена, фторопласта и др.) и твердых частиц (карбидов, боридов, нитридов, ультрадисперсных алмазов и др.). В процессе эксплуатации деталей с этими покрытиями, благодаря тому, что пластичная матрица наиболее эффективно прилегает к поверхности контртела, твердосмазочные добавки снижают трение, а твердые частицы воспринимают контактное давление в зоне трения, значительно улучшаются условия работы трибосопряжения, что способствует существенному увеличению его ресурса [1].

**Основная часть.** Формирование покрытий с гетерогенной структурой, наряду с другими методами, можно осуществлять и методом деформационного плакирования гибким инструментом (ДПГИ), где в качестве гибкого инструмента используется вращающаяся металлическая щетка с проволочным ворсом, а слой покрытия на поверхности детали образуется за счет переноса ворсом щетки микрочастиц фрикционно взаимодействующего с ней материала покрытия (донора) [2]. При этом, в качестве донора целесообразно использовать материалы с гетерогенной структурой [3].

Известно, что для системы сталь — медь основным видом сцепления является молекулярное сцепление, т.е. когда пограничные атомы одного металла вступают в связи с атомами другого металла, сохраняя при этом связь с атомами своего металла. При этом молекулярное сцепление может быть развито до такой степени, что прочность сцепления может стать выше прочности медного слоя, но такой высокой прочности сцепления можно достичь только в случае чистых поверхностей (обрабатываемая поверхность должна быть от грязи и от окислов металла, образованного в результате окисления) и высокой температуры. Выполнение этих условий как раз происходит при нанесении покрытия гибким инструментом.

Для плакирования применяют металлы и сплавы, обладающие хорошей свариваемостью: углеродистые и кислотостойкие стали, дюралюмины, сплавы меди.

В качестве защитного покрытия для плакирования используют алюминий, тантал, молибден, титан, никель, нержавеющие стали.

Метод плакирования позволяет экономить дорогостоящие металлы или высоколегированные сплавы и находит широкое применение в промышленности.

Однако, в силу недостаточной изученности работоспособности сформированных покрытий, выполнить прогнозную оценку их эксплуатационных свойств весьма затруднительно, что обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований.

Цель исследований заключалась в определении критериев работоспособности покрытий, сформированных методом ДПГИ, из материалов на основе меди с гетерогенной структурой.

Методика исследований: триботехнические испытания выполняли на машине трения возвратно-поступательного типа. При этом в качестве образцов использовали прямоугольные пластины размером  $20 \times 60 \times 5$  мм из стали 45 (HRC 52...55) и серого чугуна СЧ-20 (HRC 54...56), на одной из поверхностей которых методом ДПГИ формировали покрытия (рисунок 1, б) с толщиной слоя 10...12 мкм из донора, представляющего собой композит на основе бронзы Бр 05С5Ц5Гр1ДМ0,5 (см. рисунок 1, а), полученный путем спекания смеси порошков меди (83,5 %), с легирующими добавками олова (5 %), свинца (5 %), цинка (5 %) и компонентов твердой смазки графита (1 %) и дисульфида молибдена (0,5 %).

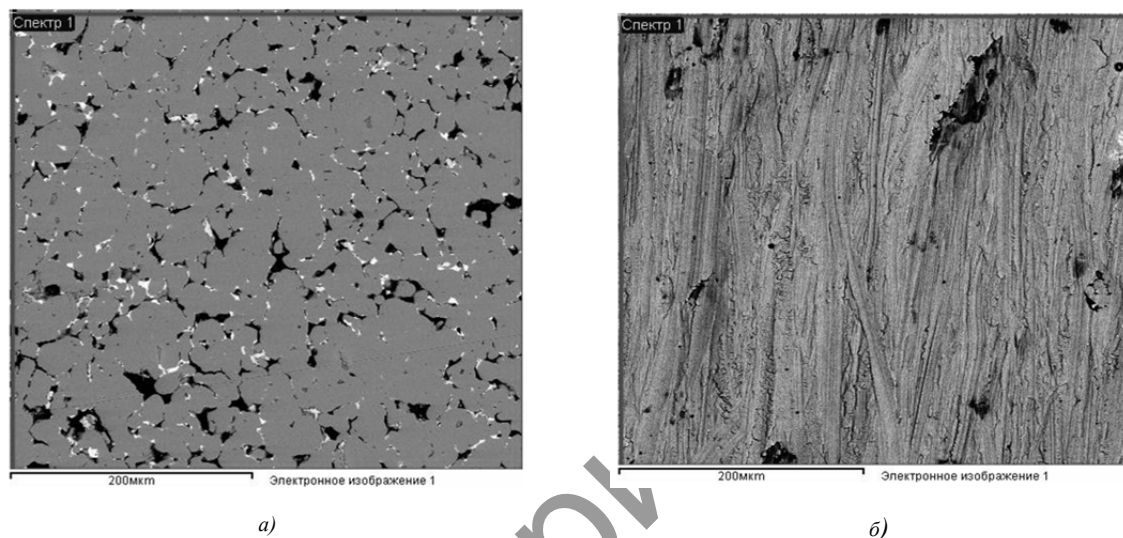


Рисунок 1 — СЭМ-изображение поверхности материала донора (а) и сформированного из этого материала поверхности покрытия (б)

В качестве контрольного образца — цилиндрический ролик из незакаленного серого чугуна СЧ-20, диаметром  $10 \times 12$  мм, осуществляющий трение по покрытой поверхности пластины плоским торцом. Смазывание дорожки трения осуществлялось маслом И20А (3 капли / мин). Относительная скорость взаимного перемещения — 0,1 м / сек. Удельное давление — 2,5 МПа.

В качестве критериев работоспособности принимались значения коэффициента трения скольжения ( $f_{\text{тр}}$ ) при трении сферического индентора по плоской поверхности омедненных стальных дисков и износ образцов, регистрируемый по разности масс образцов и контрольных образцов до испытаний и после испытаний.

Химический состав поверхностных слоев оценивался при анализе предварительно зафиксированного рентгенофлуоресцентного спектра, полученного при облучении поверхности образцов потоком высокоэнергетических электронов и регистрации спектра детектором энергодисперсионного спектрометра. Качественный (наличие определенных химических элементов на исследуемой поверхности) и полуколичественный (процентное содержание найденных химических элементов, определенных методом фундаментальных параметров без использования стандартных образцов состава) анализ химического состава осуществлялся с использованием специализированного программного обеспечения, поставляемого совместно с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 [3].

**Результаты исследований.** Анализ данных триботехнических испытаний показал (рисунок 2), что сформированные покрытия как на пластинах из стали, так и чугуна, по сравнению с пластинами без покрытия, способствуют снижению коэффициента трения скольжения, в среднем 1,3...1,36 раза.

При этом количественное содержание меди и легирующих добавок в слое покрытия обычно меньше, чем в доноре, хотя могут иметь место и некоторые превышения содержания в покрытии отдельных элементов. Что, возможно, связано со спецификой процесса переноса частиц донора ворсом щетки. Следует, также, отметить, появление в слое покрытия железа и кислорода. Железо, возможно, привносится как из ворса щетки, так и из поверхности основы.

При этом значения величин суммарного износа образцов и контрольных образцов снижаются, в среднем, в 1,1 и 1,3 раза, при трении по пластинам с покрытием из стали и чугуна, соответственно.

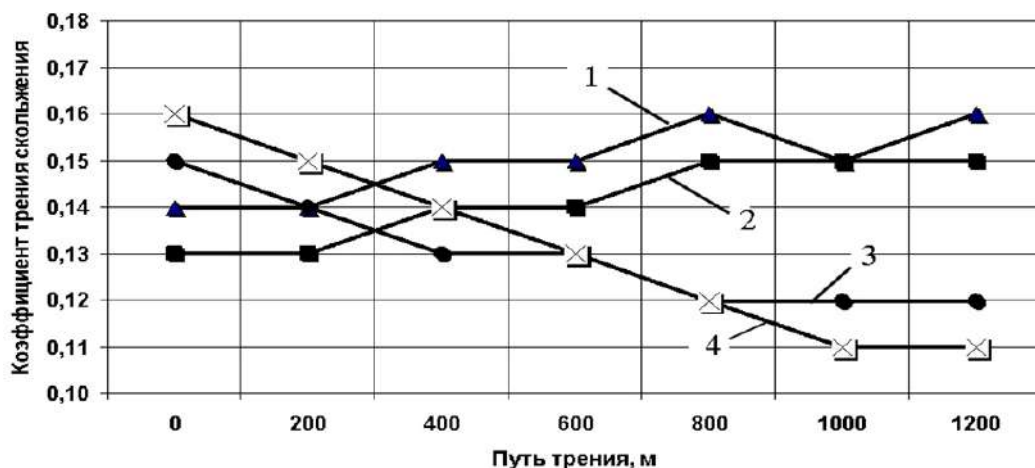


Рисунок 2 — Экспериментальные зависимости коэффициента трения скольжения от пути трения контрообразца по образцам 1, 2 — из стали и чугуна без покрытия; 3, 4 — с покрытием

**Заключение.** При формировании антифрикционных покрытий методом ДПГИ из материалов доноров с гетерогенной структурой сформированный слой покрытия способствует снижению значений величин коэффициента трения скольжения в испытываемых парах трения в 1,3...1,36 раза и износа — в 1,1...1,3 раза. Полученные данные дают основание полагать, что подобные покрытия, сформированные на поверхностях трущихся деталей подвижных сопряжений будут способствовать также и увеличению их ресурса.

#### Список цитируемых источников

1. Долматов, В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза как основа нового класса композиционных металл-алмазных гальванических покрытий / В. Ю. Долматов, Г. К. Буркат. // Сверхтвердые материалы. — 2000 — № 1 — С. 84—95.
2. Триботехнические свойства тонких металлических покрытий с наноразмерными наполнителями / П. А. Витязь [и др.] // Трение и износ. — 2004 — Т. 25, № 6. — С. 593—601.
3. Леванцевич, М. А. Улучшение плавности хода подвижных узлов станков формированием антифрикционных покрытий на направляющих скольжения / М. А. Леванцевич // Перспективные технологии ; под. ред. В. В. Клубовича. — Витебск : ВГТУ. — 2011. — С. 542—566.
4. Повышение ресурса трибосопряжений активированными методами инженерии поверхности / П. А. Витязь [и др.] — Минск : Беларус. навука. — 2012. — 348 с.

УДК 621.4

П. В. Степанович, К. С. Винничек, А. Н. Жигалов

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ КОЛЬЦА СТОПОРНОГО НА МАШИНЕ РАЗРЫВНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ 600М ДЛЯ СРАВНЕНИЯ С ИССЛЕДОВАНИЯМИ САД-СИСТЕМЫ АРМ FEM

**Введение.** Буровой крюк или крюкоблок представляет собой мобильную часть подъемной системы установки и предназначен для выполнения следующих операций: удержание бурильных труб посредством вертлюга в процессе бурения; удержания и маневрирования бурильных труб посредством штропов и элеватора в процессе спуска-подъема труб; удержания и маневрирования колонны обсадных труб в процессе крепления скважины обсадными трубами; маневрирования при спуске и подъеме разных инструментов при выполнении специальных операций на скважине. Предварительный анализ позволил выдвинуть гипотезу о том, что путем добавления в конструкцию подвески пружинной такого узла, как гидроамортизатор, позволит довольно эффективно решить проблему повышения надежности узла. С точки зрения авторов, гидроамортизатор, который будет срабатывать только в начальный момент нагружения и в момент снятия нагрузки, не позволит резко сработать системе пружин до полного снятия нагружения. К слабым местам данного решения может быть отнесено то, что соединение штока и клапана осуществляется стопорным кольцом, места посадки на клапане и штоке, а также само стопорное кольцо будут испытывать большие нагрузки и, следовательно, будут иметь недостаточную прочность [1].