

7. Леванцевич, М.А. Технологические возможности покрытий нанесенных металлическими щетками /М.А. Леванцевич // Вестник ПГУ. – 2003. – Т.2, № 4. – С. 53 – 55.
8. Оценка триботехнических свойств покрытий при работе в среде модифицированного смазочного материала / А.И. Камко [и др.] // Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте: сборник тезисов докладов Междунар. научн.-практ. конф., Гомель, 22-23 окт. 2006 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общей ред. В.М. Овчинникова. – Гомель, 2006. – С. 156 – 159.
9. Витязь, П.А. Формирование износостойких поверхностных структур и механизм фрикционного разрушения при трении в среде смазочного материала, модифицированного ультрадисперсными алмазографитовыми добавками. Ч.1 Триботехнические свойства / П.А. Витязь, В.И. Жорник, В.А. Кукаренко, А.И. Камко // Трение и износ , 2006. – Т.27, №1. – С.61 – 68.

Аннотация

Технологическое обеспечение долговечности звездочек цепных передач

Предложен типовой технологический маршрут, обеспечивающий уменьшение циклических нагрузок на зубья звездочек и нанесением на их поверхность твердых наноразмерных частиц.

Abstract

The technological security of the durability of the chain transmissions stars

A technological process is devised, which secures decreasing of cycle load on the teeth of stars and putting firm nano – size particles on their surface.

УДК 621.793

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЯХ КОРПУСНЫХ ОПОР ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Белоцерковский М.А., к.т.н., Чекулаев А.В.

*ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларусь»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Введение. В настоящее время в выпускаемых почвообрабатывающих агрегатах комбинированных широкозахватных (АКШ) широко используется конструкция корпусных опор подшипникового узла катков, представляющая собой два сферически сопряженных корпуса. Данная конструкция обеспечивает вращение катков и их перемещение в вертикальной плоскости без заеданий и заклиниваний, что позволяет выравнивать поверхность обрабатываемого поля и производить его прикатывание для предпосевной подготовки почвы. Основным требованием подшипникового узла катка культиватора является низкий

коэффициент трения между сопрягаемыми подвижными поверхностями при максимально возможной герметичности узла в целом.

В современном сельхозмашиностроении уменьшение коэффициента трения обеспечивают, преимущественно, за счет своевременного и периодического применения смазочных материалов. Выбор обоснован тем, что применение смазочных материалов является одним из наиболее доступных и экономичных методов увеличения ресурса деталей трибосопряжений. Например, при интенсивной эксплуатации (предпосевные работы) агрегата комбинированного широкозахватного (АКШ), смазывание его подшипниковых узлов катков, предназначенных для выравнивания и прикатывания обрабатываемых почв, производят не реже двух раз в месяц. Однако требуемое конструкционное исполнение модифицированных подшипниковых узлов, обеспечивающих не только вращение катков, но и их перемещение в вертикальной плоскости без заедания и заклинивания, не позволяет ограничиваться лишь применением смазочных материалов. В процессе работы подвижные поверхности подвергаются воздействию ударных нагрузок, что приводит к образованию вмятин и малой толщины слоя смазочного материала. Кроме этого, смазочный материал, вступая в физическое и химическое взаимодействие с поверхностями трения, изменяет свойства этих поверхностей, что приводит к заклиниванию их друг с другом и выходу из строя всего узла с установленными в нем деталями.

В последние годы в промышленно развитых странах для увеличения работоспособности тел трибосопряжений разрабатываются методы нанесения композиционных покрытий с высокими защитными антифрикционными и демпфирующими свойствами. К их числу относятся методы гальванического осаждения, газотермического и ионно-плазменного напыления, лазерного легирования, микродугового оксидирования, ионной имплантации и др. Однако в условиях жесткой конкуренции сельскохозяйственной продукции основным фактором выбора метода нанесения является себестоимость покрытий. Учитывая габариты подшипниковых узлов, одним из наиболее целесообразных и экономичных методов нанесения антифрикционных покрытий может быть метод напыления композиций на основе полимеров.

Расчетная оценка величины адгезии покрытий. В основу методики оценки необходимых физико-механических свойств покрытий, в том числе и адгезии, положена методология научно обоснованного выбора наиболее рационального способа и режимов нанесения покрытий, базирующаяся на рассмотрении упрочняемой или восстанавливаемой детали как элемента динамической системы, рассчитываемого на надежность [1].

При оценке прочностной надежности поверхностного слоя сферического корпуса (покрытия, нанесенного на сферический корпус) можно было воспользоваться двумя схемами расчета, основанными на теории Мора [2]. Первая схема, не учитывает деформации основания, а прочность поверхностного слоя определяется контактным давлением, действующим на опору от веса и сил инерции. Второй, более сложный подход, требует учета деформации сферической оболочки [3]. В данной работе использованы обе расчетные схемы, поскольку первая хорошо описывает напряженное состояние в средней части поверхности сферы, а вторая - на краю сферической оболочки, где возможно возникновение больших по значениям напряжений изгиба вследствие малой толщины оболочки.

На первом этапе исследований определили значения контактного давления, действующего в сферическом подшипнике (корпусной опоре). Далее оценку прочностной надежности покрытия осуществляли с помощью теории Мора [2], согласно которой отрыв слоя происходит при неблагоприятной комбинации нормальных и касательных напряжений на некоторой площадке. Если напряжение $\sigma_m = 0$, то имеем первый вариант, где рассматривается влияние только контактного давления и сил трения. На краю сферической оболочки возможно возникновение больших по значениям напряжений изгиба. Поэтому был использован более сложный подход, учитывающий деформацию сферической оболочки.

Оценку прочностной надежности адгезии покрытия к основе, принимая, что отрыв покрытия происходит при неблагоприятном сочетании нормальных и касательных напряжений действующих в точке на границе раздела, осуществили, воспользовавшись выражением [2]:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \nu \sigma_3 ,$$

где $\sigma_{\text{экв}}$ – эквивалентные напряжения растяжения, действующие по нормали к поверхности покрытия; σ_1 и σ_3 – главные напряжения растяжения (сжатия), действующие на элементарных участках поверхности, где отсутствуют касательные напряжения; ν – коэффициент, определяемый из отношения пределов текучести материала покрытия при сжатии и растяжении:

$$\nu = \sigma_{\text{тр}} / \sigma_{\text{тсж}} ,$$

где $\sigma_{\text{тр}}$ и $\sigma_{\text{тсж}}$ – пределы текучести при растяжении и сжатии материала покрытия соответственно.

Главные напряжения σ_1 и σ_3 определяются по формулам [2]:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{m\max} - \sigma_p}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{m\max} + \sigma_p}{2}\right)^2 + \tau_p^2} , \quad \sigma_3 = \frac{\sigma_{m\max} - \sigma_p}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{m\max} + \sigma_p}{2}\right)^2 + \tau_p^2} .$$

По теории Мора эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$ определяется через σ_p , τ_p и $\sigma_{m\max}$ следующим образом:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \nu \sigma_3 = \frac{1-\nu}{2} (\sigma_{m\max} - \sigma_p) + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{m\max} + \sigma_p}{2}\right)^2 + \tau_p^2} \quad (1)$$

Уравнение прочностной надежности имеет вид:

$$\sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma] ,$$

где $[\sigma]$ – допускаемое растягивающее напряжение, которое определяется из условия $[\sigma] = \sigma_{\text{пред}}/n$. Здесь $\sigma_{\text{пред}}$ – предельное растягивающее напряжение для материала покрытия, определяемое при испытании на отрыв антифрикционного слоя от основы, МПа; n – коэффициент запаса прочности.

Коэффициент динамичности определяли как отношение напряжений, полученных при динамических нагрузках (испытания на вибростенде), к напряжениям, полученным в статике:

$$K_d = P_d / P_c ,$$

где K_d – коэффициент динамичности; P_d – величина динамической нагрузки, определяемая с помощью тарировочного графика по значению сигнала, полученного от тензодатчиков, при динамическом нагружении, Н; P_c – величина статической нагрузки, Н.

Определим $\sigma_{m\max}$. В основу расчетной схемы положена сферическая оболочка радиусом R , с толщиной стенки δ , нагруженной равномерным нормальным давлением. Непосредственный расчет сферической оболочки является весьма сложным, поэтому использован приближенный метод расчета, основанный на учете краевого эффекта и изложенный в работе [3]. Приближенное, но достаточно точное описание краевого эффекта дает уравнение:

$$\frac{d^4 V}{d \theta^4} + \frac{R^2 E \delta}{D} V = 0 , \quad (2)$$

где θ – угол между нормалью к поверхности оболочки и осью симметрии; δ – толщина оболочки, м; E – модуль упругости материала оболочки; $V = Q_n \cdot R$ – переменная Мейснера; Q_n

– поперечная сила в сечении оболочки; $D = \frac{E \delta^3}{12(1-\mu^2)}$ – изгибная жесткость оболочки;

μ – коэффициент Пуассона.

После преобразований получили: $\sigma_{max} = \frac{T_m}{\delta} + \frac{M_{m0}6}{\delta^2}$. Подставив числовые значения, получили: $\sigma_{eq} = 0,261 \cdot K_d$ (МПа). Максимальный коэффициент динамичности согласно результатам экспериментов, примем равным 5, откуда $\sigma_{eq} = 0,259$ МПа · $K_d = 1,3$ МПа.

Для каждого из методов упрочнения рабочих поверхностей деталей существует свой уровень допускаемых напряжений, обусловленный значениями величин адгезии покрытий и когезионного взаимодействия в самом слое. Исходя из этого, подбор соответствующего метода и режимов сводится к выполнению неравенства:

$$\kappa K_{\pi} \sigma_{eq} \leq \sigma_{cu}, \quad (3)$$

где κK_{π} - коэффициент запаса прочности; σ_{cu} - прочность сцепления на отрыв покрытия с основой (адгезия), МПа; σ_{eq} - эквивалентное напряжение в точке поверхности детали, МПа.

Принимаем $\kappa K_{\pi} = 2$, тогда, согласно уравнению (3), прочность сцепления равна: 1,3 МПа · 2 ≈ 2,6 МПа.

Оценим необходимые значения PV – фактора покрытия. Допустимые значения нагрузления антифрикционных покрытий определяются по предельным значениям величины $P_p V_0$, где V_0 - средняя скорость скольжения сферической опоры по сферическому основанию.

Средние значение скорости V_0 составляет 3 м/с. Показатель $P_p V_0$ для рассматриваемого покрытия будет: $P_p V_0 = 3 K_d P$, и эта величина должна быть меньше предельных значений $[PV]$: $15 \text{ м/с} \cdot 18 \text{ кН/м}^2 \leq [PV]$. Полученные данные свидетельствуют о том, что при таких малых скоростях скольжения и небольших нагрузках будут работоспособны антифрикционные покрытия на основе полиамида.

Разработка оборудования для газопламенного напыления полимерных порошков. Для обеспечения эффективного процесса нанесения покрытий из порошков, получаемых криогенным измельчением полимерных гранул, вторичных полимеров и отходов производства синтетических волокон, был разработан термораспылитель, позволяющий в широких пределах изменять теплофизические параметры факела и удовлетворяющий условиям, указанным в предыдущем разделе.

Термораспылитель «ТЕРКО-П» [4] позволяет осуществлять плавную регулировку состава горючей смеси и форму факела, обеспечивая необходимую для каждого полимера величину плотности теплового потока. Оригинальная конструкция газосмесительного устройства и соплового наконечника позволили повысить качество смешения компонентов горючей смеси (пропана и воздуха) и ликвидировать налипание полимерного материала на торец сопла.

Воздух, движущийся в зазоре шириной 0,25...0,50 мм между мундштуком и сопловым наконечником (рисунок 1), охлаждает мундштук, препятствуя налипанию полимерных частиц на его внутреннюю поверхность, а также не позволяет налипать порошку на наружный торец мундштука. Кольцевая щель шириной 2...5 мм, выполненная со стороны торца горелки между сопловым наконечником и накидной гайкой, обеспечивает равномерное истечение газовой смеси.

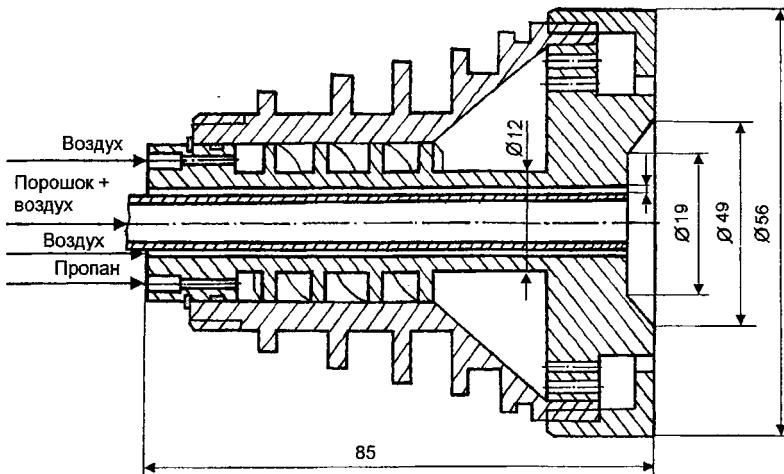


Рисунок 1 – Схема газосмесительного устройства и соплового наконечника термораспылителя «ТЕРКО-П»

Повышение качества покрытий достигается за счет лучшего смешения компонентов горючей смеси в газосмесительной камере, имеющей форму винтовой канавки. При движении по винтовой канавке горючего газа и воздуха возникают циркуляционные токи или так называемая вторичная циркуляция, обуславливающая возникновение развитого турбулентного течения, которое повышает интенсивность перемешивания и обеспечивает получение качественной смеси. Выполненная на сопловом наконечнике со стороны торца по центру выемка глубиной 3...9 мм она обеспечивает попадание частиц порошка непосредственно в самую горячую зону факела. Это позволяет интенсифицировать теплообмен между порошком и факелом, что также положительно сказывается на качестве наносимых покрытий.

В данной конструкции обеспечена возможность управления теплофизическими характеристиками факела путём изменения соотношения скоростей выхода компонентов горючей смеси (V_{cm}) (пропана (V_{pr}) и воздуха (V_b)), порошка (V_p) и воздуха в зазоре между мундштуком и сопловым наконечником (V_z). Поток воздуха является газодинамическим активатором, с помощью которого изменяется форма факела и, соответственно, плотность теплового потока.

С целью определения максимально возможной производительности процесса нанесения полимерного антифрикционного покрытия экспериментально исследовались тепловые характеристики факела полимерного термораспылителя. Установлено, что максимальные значения поверхностной плотности теплового потока и температуры в факеле пропано-воздушного пламени разработанного термораспылителя достигаются на расстоянии 33...36 мм от среза сопла и составляют соответственно $110 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ и 1530 К. Используя эти данные, был определен коэффициент теплопередачи $\alpha_{max} \approx 800 \text{ Дж/с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{град}$. При данных теплофизических параметрах производительность напыления порошков на основе полиамида ПА-6 составила около 1,4 кг/ч, т.е. за 1 час обеспечивается качественное напыление покрытия площадью до $6,2 \text{ м}^2$ при толщине слоя 200...300 мкм.

Разработка оборудования для распыления полимерных шнуров и проволок. Основным недостатком напыления порошков полимеров является сегрегация компонентов в напыляемой шихте, приводящая к неравномерности формирования структуры, снижению прочности и ухудшению эксплуатационных характеристик покрытий. По этим причинам практически невозможно вводить в напыляемую шихту наноразмерные наполнители. Кроме того, жесткие требования по фракционному составу и влажности порошков увеличивают стоимость материалов и снижают технологичность использования порошкового

напыления. Указанных недостатков лишены проволочные материалы, поскольку любые наполнители, в том числе и наноразмерные, можно вводить в процессе изготовления проволоки. Однако в классических работах по газопламенному напылению отмечается, что из-за низкой теплопроводности полимеров и низкой температуры деструкции процесс распыления полимерных проволок осуществить невозможно. Обусловлено это тем, что низкая теплопроводность и относительно небольшая температура разложения полимера препятствуют полному расплавлению проволоки в высокотемпературной зоне, поскольку полимер у поверхности разлагается прежде, чем внутренняя зона нагреется до температуры плавления.

Была выполнена аналитическая оценка процесса газопламенного распыления полимерных проволок, при этом использована модель, рассматривающая диспергирование, как поочередное распыление тонких поверхностных слоев [5]. Установлены величины плотности теплового потока и динамические параметры факела, обеспечивающие диспергирование полимерных экструдатов толщиной 2...3 мм, и дальнейший полет частиц к покрываемой детали без нарушения структурных параметров полимера (деструкции). В результате анализа существующего оборудования установлено, что указанные условия могут быть реализованы в конструкциях распылителей с камерами микрофакельного сжигания топлива. Применение принципов микрофакельного горения позволяет стабилизировать процесс сжигания газовоздушной смеси при одновременном увеличении скорости ее горения в каналах перфорированного элемента без отрывов и проскока, что, в свою очередь, дает возможность сжигать значительное количество горючей смеси в гораздо меньшем объеме.

В ГНУ «ОИМ НАН Б» разработан термораспылитель, позволяющий в зоне плавления экструдата изменять теплофизические и динамические параметры потока в широких пределах (рисунок 2)[6]. Плотность теплового потока до 10^5 Вт/м², а скоростной напор потока около 200000 кг/м · с². Режимы распыления обеспечили скорость струи газа 1200 м/с (определен расчетом при давлении и температуре газа в камере сгорания: $P_k=0,4$ МПа, $T_k=2000$ К) и плотность теплового потока 10^4 Вт/м² (определен калориметрическим зондом). Для нанесения покрытий использовались полимерные экструдаты диаметром 2...3 мм из полиамида, полиэтилена и полиэтилентерефталата. Рабочие газы: пропан и воздух. Нанесенные покрытия обладали прочностью сцепления до 10 МПа, а производительность процесса составляла более 1,5 кг/ч.

С использованием установки газопламенного распыления порошковых полимеров и разработанного проволочного термораспылителя были проведены сравнительные испытания газопламенных покрытий. Результаты показали, что введение в полимер наноразмерного углеродного наполнителя улучшает качество покрытия, причем использование проволоки дает лучшие результаты в сравнении с порошком (таблица 1).

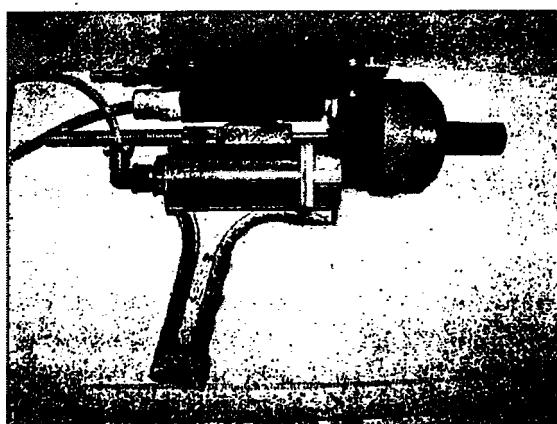


Рисунок 2 – Внешний вид термораспылителя для нанесения покрытий из полимерных проволок

Таблица 1 – Свойства полимерных покрытий

Исследуемая характеристика	Значения для покрытий из различных материалов		
	порошок ПЭТФ 50 – 200 мкм	Порошок ПА-6, 50 – 200 мкм + углерод- ный наполнитель	Проволока ПА-6, $d=3\text{мм} + \text{углеродный}$ наполнитель
Прочность сцепления на отрыв, МПа	8,2 - 8,4	8,3 - 8,6	9,5 – 10,1
НВ, МПа	70	80	80
Коэффициент сухого трения, $V=0,65 \text{ м/с}$	P=10 МПа	0,20	0,15
	P=5 МПа	0,25	0,08
			0,07

Заключение. В результате проведенных исследований предложено два варианта процесса нанесения антифрикционных полимерных покрытий на рабочие поверхности таких узлов сухого трения, как подшипниковый узел катка культиватора типа АКШ. Теоретически установлено, что полимерные газопламенные покрытия будут удовлетворять по прочностным характеристикам условиям работы подшипникового узла.

Разработано два типа оборудования для нанесения полимерных антифрикционных покрытий – напыление порошков и распыление проволок.

Сравнительные испытания показали, что покрытия, полученные распылением проволоки из полиамида ПА-6 с наполнителем, имеют более низкий коэффициент трения, чем порошковые покрытия и более высокую прочность сцепления со стальной основой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоцерковский М.А., Гоман А.М. Учет эксплуатационных нагрузок при выборе метода упрочнения – восстановления быстроизнашивающихся деталей // Механика машин, механизмов и материалов. №1 (2), 2008. – С. 74 – 77.
2. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов: Наука. – М, 1972. – 544 с.
3. Бидерман, В.Л. Механика тонкостенных конструкций. Статика: Машиностроение. – М, 1977. – 488 с.
4. Белоцерковский, М.А. Активированное газопламенное напыление покрытий порошками полимеров // Упрочняющие технологии и покрытия. №6, 2007. – С. 19 – 23.
5. Белоцерковский М.А., Чекулаев А.В. Исследование процесса нанесения защитных покрытий, получаемых газотермическим распылением полимерных экструдатов // Сварка и родственные технологии, 2005, №7. – С. 77-81.
6. Белоцерковский М.А., Чекулаев А.В., Коробов Ю.С. Газопламенные полимерные покрытия // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. Материалы 9 МНТК . 10 – 13 апреля 2007 г. С.-Петербург, 2007. – С. 26-33.

Аннотация

Разработка технических средств для формирования полимерных покрытий на рабочих поверхностях корпусных опор почвообрабатывающих агрегатов

Предложено два варианта процесса нанесения антифрикционных полимерных покрытий на рабочие поверхности таких узлов сухого трения, как подшипниковый узел катка культиватора. Теоретически установлено, что полимерные газопламенные покрытия будут

удовлетворять по прочностным характеристикам условиям работы подшипникового узла. Разработано два типа оборудования для нанесения полимерных антифрикционных покрытий – напыление порошков и распыление проволок.

Abstract

The development of technical means for the formation of polymer coatings on working surfaces of hull towers tillage machines

We propose two variants of the process of applying antifriction polymer coatings on the surfaces of these units of dry friction, a roller bearing unit culture tivatora. In theory, found that the polymer coating gas will meet letvoryat of strength characteristics of bearing hub. Develop a two types of equipment for applying the polymer antifriction coatings - application of powders and spraying wires.

УДК 621.891

ОТРАБОТКА РЕЖИМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Жорник В.И., к.т.н.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь
Камко А.И., к.т.н.

Гомельский завод литья и нормалей, г. Гомель, Республика Беларусь

К числу перспективных методов повышения износостойкости поверхностей трения относится трибомеханическое модифицирование. Процесс формирования износостойких поверхностных структур осуществляется на стадии приработки трущихся поверхностей в присутствии смазочного материала, содержащего наноразмерные твердые компоненты. Нагрузочно-скоростной режим и длительность приработки определяются материалом контактирующих тел, исходной шероховатостью рабочих поверхностей, типом применяемого приработочного состава. Упрочнение и повышение износостойкости поверхностного слоя происходят за счет процессов интенсивной пластической деформации при трении и формировании наноразмерной ячеистой структуры, обеспечивающей снижение скорости развития микротрещин и замедленное формирование частиц износа.

Исследование влияния режимов приработки на формирование свойств поверхностей трения проводилось по схеме возвратно-поступательного движения контактирующих тел на паре трения «медь М1 – сталь 45». В качестве смазочного материала использовалась пластичная смазка Литол-24, модифицированная наноразмерными добавками алмазографитовой шихты УДАГ.

Исследование влияния длительности процесса триботехнического взаимодействия на кинетику измельчения структуры поверхностных слоев меди М1 показывает, что начало периода стабилизации структурного состояния зависит от удельной нагрузки в контакте, в частности, замедление процесса измельчения субзерен происходит после 200-300 м пути для удельной нагрузки $p_a=20$ МПа и после 350-450 м пути для удельной нагрузки $p_a=10$ МПа, при этом размер субзерен находится для обоих случаев в пределах 0,060-0,065 мкм. Для случая испытаний пары трения «медь М1 – закаленная сталь 45» при дав-