

В.И. Жорник, ст. науч. сотр., канд. техн. наук

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск, Беларусь

А.И. Камко, канд. техн. наук

РУП «Гомельский завод литья и нормалей», Гомель, Беларусь

Пластичная смазка с наноразмерными компонентами для тяжело нагруженных узлов трения сельхозмашин

Разработана пластичная смазка для тяжело нагруженных узлов трения, модифицированная наноразмерной алмазосодержащей добавкой. Наноразмерный модификатор обеспечивает формирование разветвленного структурного каркаса дисперсной фазы, что повышает несущую способность смазочного материала и снижает интенсивность изнашивания поверхностей трения.

пластичная смазка, дисперсная фаза, наноразмерная алмазосодержащая добавка, несущая способность, интенсивность изнашивания

Введение. Повышение интенсивности выполнения сельскохозяйственных работ, увеличение энергонасыщенности сельскохозяйственной техники неизбежно вызывает возрастание нагрузочно-скоростных и температурных режимов эксплуатации узлов трения. Ресурс узлов трения машин в значительной степени определяется работоспособностью используемых смазочных материалов. В связи с этим современное развитие сельскохозяйственной техники требует разработки новых смазочных материалов, обладающих повышенной несущей способностью и расширенным диапазоном рабочих температур, обеспечивающих более низкую интенсивность изнашивания.

Пластичные смазки, представляющие собой коллоидную систему, образованную дисперсионной средой (минеральное или синтетическое масло), дисперсной фазой (соли высокомолекулярных солей) и добавками (присадки, наполнители, модификаторы), широко применяются на практике для смазывания негерметичных узлов трения, обеспечивая упрощение конструкции узла и малый расход смазочного материала. Однако при высоких нагрузках происходит нарушение целостности смазочного слоя и появление металлического контакта между поверхностями трения, связанные с выдавливанием пластичной смазки из зоны трения. Это способствует снижению антифрикционных характеристик сопряжения, увеличению интенсивности изнашивания поверхностей трения, нарушению режима нормальной эксплуатации узла трения и может привести за счет явлений схватывания и задира к его поломке. Эксплуатационные свойства смазок определяются, главным образом, видом загустителя. Большинство пластичных смазок получают путем загущения масла солями жирных кислот различных металлов, причем соль может быть обычной или комплексной. Чаще всего используются кальциевые, литиевые, натриевые, бариевые и алюминиевые мыла. Добавки, представляющие собой присадки, наполнители, модификаторы структуры, призваны повысить триботехнические характеристики смазочного материала (антифрикционные, противоизносные, противозадирные) или придать ему специальные свойства (антипенные, антиокислительные, антикоррозионные, моющее-диспергирующие, депрессорные и др.) [1].

К числу перспективных направлений создания пластичных смазок с высокими

эксплуатационными характеристиками относится применение наноразмерных твердых добавок (порошки мягких металлов, слоистые природные силикаты, фуллерены, ультрадисперсные алмазы) [2-3].

Цель исследований. Целью выполненных исследований явилось создание пластичного смазочного материала повышенной несущей способности для увеличения ресурса тяжело нагруженных узлов трения машин различного функционального назначения, в том числе сельскохозяйственных.

Методика исследований. В качестве базовой смазки для исследования влияния добавок наноразмерных алмазов на структуру дисперсной фазы и свойства смазочного материала была выбрана комплексная литиевая смазка ИТМОЛ-150. Пластичная смазка ИТМОЛ-150 изготавливается с использованием в качестве дисперсионной среды индустриального масла И-40А, для загущения которого применяется комплекс из 12-гидроокси-стеариновой, ортоборной и терефталевой кислот, а их нейтрализация осуществляется гидроокисью лития. Для модифицирования смазочного материала использовалась ультрадисперсная алмазосодержащая шихта «ША» (ТУ РБ 100056180-2003), представляющая собой покрытые оболочкой из неалмазного углерода наноразмерные (10-30 нм) частицы алмаза с удельной поверхностью 400-500 м²/г. Несущая способность (противозадирные свойства) смазочного материала по нагрузке заедания и нагрузке сваривания определялась на четырехшариковой машине по ГОСТ 9490-75, коэффициент трения оценивался на машине трения МТВП-9М по схеме возвратно-поступательного перемещения образца, интенсивность изнашивания рассчитывалась по убыли массы образца за время испытаний, оцениваемой с помощью аналитических весов АДВ-200. Коллоидная стабильность смазки определялась по ГОСТ 7142-74. Структура дисперсной фазы пластичной смазки исследовалась на сканирующем электронном микроскопе Cam Scan фирмы «Oxford» (Великобритания) и сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения Mira фирмы «Tescan» (Чехия) препараты смазки осуществлялось по методике, изложенной в [4].

Результаты исследований и обсуждение. Применение наноразмерных алмазов в качестве модификатора смазочных материалов обусловлено рядом факторов: наноалмазы увеличивают динамическую прочность масляной пленки, действуют на кристаллическую решетку поверхности металла, упрочняя ее, формируют новые поверхности трения, уменьшая граничное трение и износ (особенно при больших нагрузках), обладают хорошими приработочными свойствами [5,6]. В то же время наряду со сказанным, частицы наноалмаза, благодаря большой поверхностной энергии, а также совместимости углеродных кластеров с масляной основой, обладают высокими структурирующими свойствами [7,8]. Это их качество можно использовать для создания пластичных смазочных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

При исследованиях отрабатывались две технологические схемы введения наноразмерных алмазов в состав смазочной композиции:

- вариант 1 – добавление наноалмазов в готовую пластичную смазку ИТМОЛ-150;
- вариант 2 – введение наноалмазной добавки в масло до стадии формирования структурного каркаса пластичной смазки.

Результаты триботехнических испытаний пластичных смазочных материалов, полученных по различным технологическим схемам, представлены на рисунках 1 и 2. Из представленных данных видно, что применение технологической схемы создания пластичной смазки с наноразмерными добавками без их закрепления в структурном каркасе дисперсной фазы не обеспечивает длительного сохранения высоких

антифрикционных свойств смазки, в то время как имплантация наноразмерных алмазосодержащих частиц в структуру дисперсной фазы позволяет сохранить высокие триботехнические свойства смазки на протяжении всего цикла испытаний.

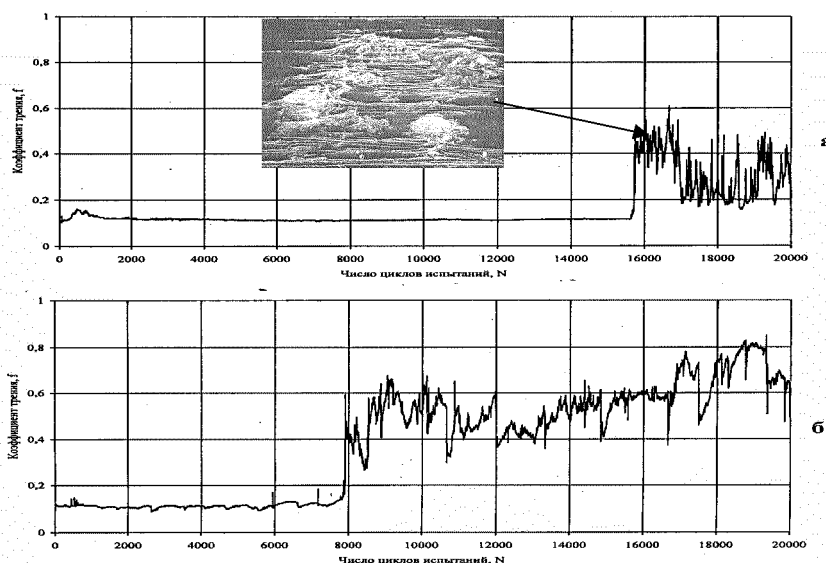


Рисунок 1 - Изменение коэффициента трения в процессе испытаний при давлении 20 МПа отожженной стали 45 твердостью HB 250-270 (а) и закаленной стали 45 твердостью HRC 42-45 (б) в присутствии смазки ИТМО-150Н, изготовленной по варианту 1 (контртело – закаленная сталь 60Г твердостью HRC 58-60)

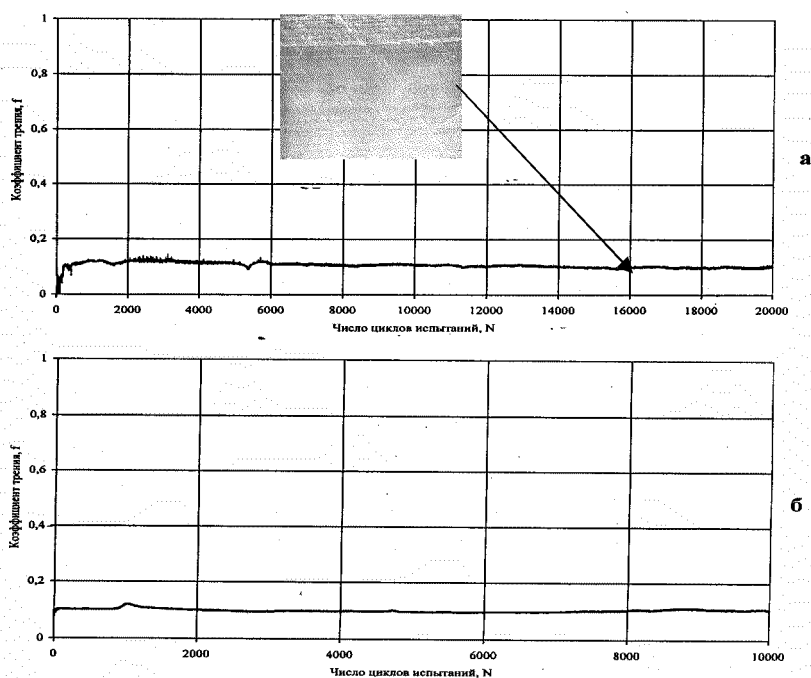


Рисунок 2 - Изменение коэффициента трения в процессе испытаний при давлении 20 МПа отожженной стали 45 твердостью HB 250-270 (а) и закаленной стали 45 твердостью HRC 42-45 (б) в присутствии смазки ИТМОЛ-150Н, изготовленной по варианту 2 (контртело – закаленная сталь 60Г твердостью HRC 58-60)

В случае использования пластичной смазки с наноразмерным алмазосодержащим модификатором, изготовленной по варианту 1, после 15600 циклов

испытаний для отожженной стали 45 и после 8000 циклов для закаленной стали 45 на поверхности трения появляются следы схватывания и задира, при этом коэффициент трения резко возрастает с $f = 0,10-0,12$ до $f = 0,40-0,60$ (рис. 1). В присутствии пластичной смазки с наноразмерным алмазосодержащим модификатором, изготовленной по варианту 2, для отожженной и для закаленной стали 45 после стадии приработки поверхность трения приобретает зеркальный вид, который сохраняется на протяжении всего периода испытаний (рис. 2). Коэффициент трения для обоих случаев находится на уровне $f = 0,08-0,10$. Интенсивность изнашивания поверхностей трения в присутствии смазки, изготовленной по первому варианту, составила: для отожженной стали 45 – $I = 2,6 \cdot 10^{-9}$ и для закаленной стали 45 – $I = 4,2 \cdot 10^{-9}$, а для варианта 2 – соответственно $I = 1,8 \cdot 10^{-10}$ и $I = 1,3 \cdot 10^{-10}$.

Влияние количественного содержания наноразмерной алмазосодержащей добавки устанавливалось в процессе исследования противозадириных свойств и коллоидной стабильности модифицированной пластичной комплексной литиевой смазки ИТМОЛ-150Н, изготовленной по технологическому варианту 2. Для испытаний использовались 6 составов смазочного материала с различным содержанием наноразмерной добавки и одинаковым массовым содержанием остальных компонентов. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1- Противозадириные свойства и коллоидная стабильность смазок

Содержание наноразмерной добавки мас. %	Нагрузка заедания, Н	Нагрузка сваривания, Н	Коллоидная стабильность, %
-	784	1568	12
0,3	784	1744	7
0,4	872	2195	5
0,5	872	2450	5
0,7	696	2450	2
1,0	617	2195	1

Из приведенных данных следует, что оптимальным, с точки зрения противоизносных свойств и коллоидной стабильности смазочной композиции, является содержание в ней наноразмерной алмазосодержащей добавки в количестве 0,4-0,5 мас. %.

Объяснение данных по триботехническим и объемно-механическим свойствам модифицированных пластичных смазок, полученных по различным технологическим вариантам, может быть дано на основе результатов исследования структуры их дисперсной фазы. Эти результаты показывают, что введенные частицы наноалмазов выступают в качестве центров структурообразования дисперсной фазы. Начало процесса комплексообразования происходит на поверхности частиц наноалмазов, что приводит к повышению структурированности дисперсной фазы, увеличению загущающей способности комплексных литиевых солей и образованию разветвленного структурного каркаса, состоящего из более коротких волокон длиной 5-10 мкм, имеющих большее количество переплетений (рис.3). Это обеспечивает повышение его маслоудерживающей способности, а также приводит к увеличению прочности граничного слоя смазочного материала в зоне трения. При этом прочные частицы наноалмазов имплантируются в дисперсную фазу, а не остаются в дисперсионной среде смазочной композиции, что, во-первых, повышает механическую и термическую стабильность смазки, а во-вторых, предотвращает агломерацию частиц наноалмазов, увеличивая коллоидную стабильность смазочного материала.

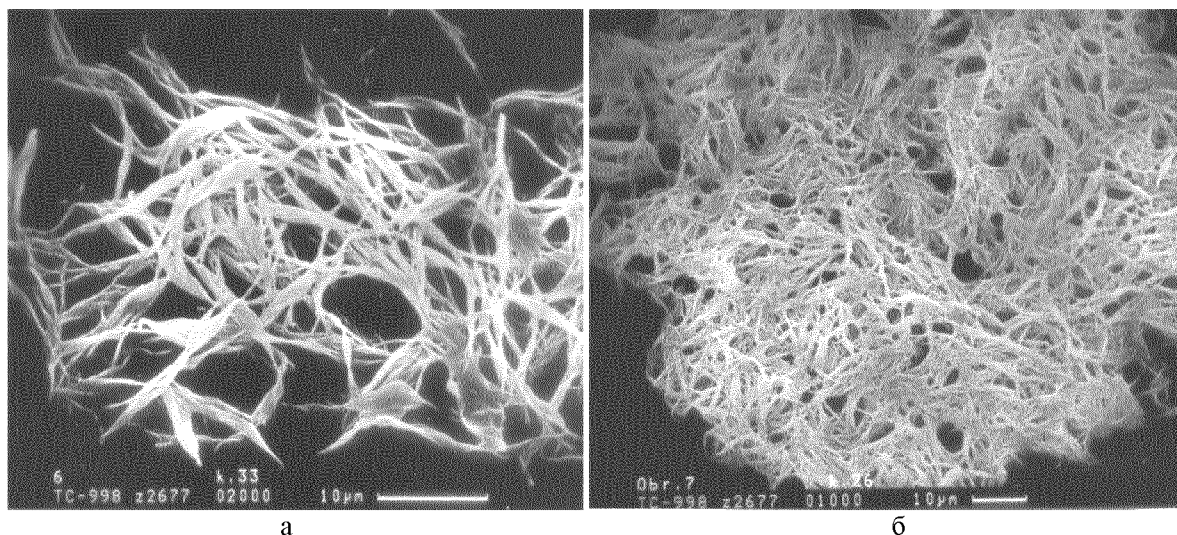


Рисунок 3 - Структура дисперсной фазы комплексной литиевой смазки ИТМОЛ-150Н, изготовленной по технологическому варианту 1 (а) и 2 (б)

В процессе трибозаимодействия незакрепленные в структурном каркасе смазки частицы наноалмазов (технологический вариант 1) за счет высокой поверхностной энергии коагулируют с образованием относительно крупных конгломератов размером до 0,4-0,5 мкм, обладающих абразивными свойствами, которые, попадая в зону трения, инициируют процессы катастрофического изнашивания поверхности трения. Крупные твердые конгломераты, образующиеся при трении в присутствии смазки, изготовленной по варианту 1, шаржируя поверхность трения, выступают в качестве источника зарождения усталостных трещин и снижают износостойкость поверхности [10], что особенно наглядно проявляется для случая закаленной стали 45, имеющей низкую трещиностойкость. Это обуславливает относительно низкий ресурс смазочного материала, изготовленного по варианту 1.

При использовании смазки с наноразмерными алмазосодержащими добавками, изготовленной по технологическому варианту 2, явления коагуляции алмазных частиц не происходит, а разветвленная дисперсная фаза смазки обеспечивает высокую несущую способность смазочного слоя. Наряду с этим, при повышенных удельных нагрузках закрепленные в структурном каркасе наноразмерные частицы алмаза способны модифицировать поверхности трения за счет процессов интенсивного пластического деформирования, создавая в поверхностных слоях наноразмерные ячеистые структуры, обладающие высокой износостойкостью [9].

Разработанная смазка ИТМОЛ-150Н, изготавливаемая по технологическому варианту 2, нашла применение в тяжелонагруженных узлах трения сельхозмашин, в частности, в шарнирных сопряжениях механизма копирования жаток зерноуборочных комбайнов КЗС-7, КЗС-10, КЗР-10, обеспечив повышение их быстродействия в 1,3-1,4 раза, что позволило снизить отклонения от установленной высоты среза стеблей с 21 до 12 % и уменьшить потери зерна за жаткой с 0,78 до 0,52 % [11].

Выводы. На основе проведенных исследований процессов структурообразования дисперсной фазы пластичных смазок разработан метод модифицирования смазочного материала наноразмерными алмазосодержащими добавками, предусматривающий введение модифицирующего наноразмерного компонента в дисперсионную среду (масло) до начала процесса формирования дисперсной фазы. Вводимые наноразмерные добавки, выступая в качестве центров кристаллизации, обеспечивают формирование разветвленного структурного каркаса

дисперсной фазы, что повышает ее маслоудерживающую способность, увеличивая при этом несущую способность смазочного материала и снижая интенсивность изнашивания поверхностей трения. Проведенный комплекс триботехнических испытаний свидетельствует о высоком уровне антифрикционных и противоизносных свойств разработанного смазочного материала в условиях высоких удельных нагрузок. Использование разработанной смазки в шарнирных сопряжениях механизма копирования жаток зерноуборочных комбайнов позволило повысить его быстродействие и поднять качество проведения уборочных работ.

Список литературы

1. Трение, износ, смазка (трибология, и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлингер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. Ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
2. Витязь, П.А. // Триботехнические свойства пар трения в среде консистентной смазки, модифицированной ультрадисперсными алмазами / П.А. Витязь, В.И. Жорник, В.А. Кукареко, Л.П. Пилиневич, Г.А. Шеко // Порошковая металлургия (Минск). – 2001. – № 24. – С.34-39.
3. Долматов, В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение. – С-Пб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 344 с.
4. Чекан, В.А. Препарирование пластичных смазок для исследования их структурного каркаса методом сканирующей электронной микроскопии / В.А. Чекан, Л.В. Маркова, Т.И. Пинчук, А.В. Ивахник // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2005. № 8. – С. 36 – 38.
5. Смазочная композиция для тяжело нагруженных узлов: патент 5906 Респ. Беларусь, МПК С 10М 169/04 / П.А. Витязь, В.И. Жорник, В.А. Верещагин, Н.Е. Гильнич; заявитель ОИМ НАН Беларуси. – № а 20000276; заявл. 27.03.2000; опубл. 30.03.2004 // Афіцыйны інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 3.
6. Антифрикционная смазка для абразивной обработки материалов: патент 2030449 РФ, МПК С 10М 125/02 / А.И. Баранов, И.И. Брост, П.М. Брыляков и др.; заявитель НПО «Алтай». №2004931340; заявл. 26.04.91; опубл. 10.03.1995, бюл. №7.
7. Люты, М. Методология создания смазочных материалов с наномодификаторами / М. Люты, Г.А. Костюкович, А.А. Скаскевич, В.А. Струк, О.В. Холодилов // Трение и износ, 2002. – Т.23, №4. – С.411– 424.
8. Жорник, В.И. Влияние наноразмерных углеродных добавок на структуру пластичных смазок и износостойкость поверхностей трения / В.И. Жорник, А.В. Ивахник. // Углеродные наноструктуры // Сб. науч. тр. - Мн.: ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2006. – С.81-87.
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. Кукареко, А.И. Камко // Трение и износ. – 2006. – Т. 27, № 1. – С. 61-68.
10. Витязь, П.А. Формирование износостойких поверхностных структур и механизм фрикционного разрушения при трении в среде смазочного материала, модифицированного ультрадисперсными алмазографитовыми добавками. Ч.2. Модель разрушения / П.А. Витязь, В.И. Жорник, В.А. Кукареко, А.И. Камко // Трение и износ. – 2006. – Т. 27, № 2. – С. 196-200.
11. Камко, А.И. Повышение качества систем копирования рельефа поля жатки зерноуборочного комбайна / А.И. Камко // Сельскохозяйственные машины для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов. Состояние, тенденции и направления развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22-23 марта 2007 г. / М-во пром. Респ. Беларусь, РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике»; отв. за выпуск В.А. Смуругов. – Гомель: РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике», 2007. – С. 220-226.

В. Жорник, А. Камко

Пластична змазка з нанорозмірними компонентами для важко навантажених вузлів тертя сільськогосподарських машин

Розроблене пластичне мастило для важконавантажених вузлів тертя, модифіковане нанорозмірною алмазовмісною добавкою. Нанорозмірний модифікатор забезпечує формування

розгалуженого структурного каркасу дисперсної фази, що підвищує несучу здатність мастильного матеріалу і знижує інтенсивність зношування поверхонь тертя.

V. Zhornik, A. Kamko

Grease with nanoscale components for heavy-duty friction units of agricultural machinery

The grease for heavy load friction units modified by nanosized diamond containing additive is developed. The nanosized modifier ensures a formation of branched structural skeleton of dispersed phase, which increases the load capacity of lubricating layer and reduces wear of friction surfaces.

Одержано 01.09.09