

УДК 621.923

В.И. БЕЛОУС

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Украина

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

За последнее время развитие нанотехнологий стало одним из стратегических направлений в машиностроении и авиадвигателестроении. В статье проведен анализ существующих теорий трибологических воздействий при металлообработке. Рассмотрен вопрос возможности структуризации смазочно-охлаждающих жидкостей углеродными наномодификаторами совместно с поверхностно-активными веществами (ПАВ) с целью изменения реологических свойств смазочно-охлаждающих технологических средств в поверхностном слое при шлифовании труднообрабатываемых материалов для улучшения эксплуатационных характеристик деталей современных авиационных двигателей.

Ключевые слова: *смазочно-охлаждающие жидкости, поверхностно-активные вещества, наноматериалы, глубинное шлифование.*

Введение

Современное авиадвигателестроение происходит в условиях широчайшего применения деталей из коррозионно-стойких, высоко- и жаропрочных материалов и сплавов. Одним из высокопроизводительных методов их обработки является глубинное шлифование, с помощью которого возможно выполнение требований по точности и качеству поверхностного слоя изготавливаемых деталей, но при этом метод характеризуется более высокой контактной температурой, чем традиционные способы шлифования. Это требует разработки и применения средств снижения теплонапряженности процесса, среди которых, одним из приоритетных, можно выделить смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Расширение в настоящее время области использования нанотехнологий может позволить путем добавления наноматериалов в СОЖ получить высокоэффективные наноструктурированные смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС).

1. Постановка задачи исследования

При глубинном шлифовании труднообрабатываемых материалов смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) должна иметь высокую смазочную, моющую и проникающую способность, должна обеспечивать наиболее полный отвод теплоты из зоны шлифования с последующим формированием заданных качеств поверхностного слоя. Одна из основных целей введения СОТС в зону резания заключается в создании в зоне трения, т.е. скольжение поверхностей трения элементов сопряжения заме-

няются скольжением жидкости со своими реологическими свойствами. Однако в реальных условиях сплошность плёнки всегда нарушается. Это может произойти как непосредственно при работе, так и в момент остановки и запуска процесса шлифования. В этом случае трение переходит в режим граничного. Из работ [1 – 3] следует, что процесс износа в режиме граничного трения определяется структурой граничного слоя смазки пластифицированным слоем трущейся поверхности.

Условия работы СОТС в режиме резания труднообрабатываемых материалов относятся к наиболее жесткому режиму с граничным трением [4]. На основании выше приведенного, можно сформулировать решению каких задач для конкретной пары трения должна способствовать модификация СОТС. Так, в условиях гидродинамического режима изменение объемных реологических свойств в сторону увеличения вязкости нежелательно, т.к. это повлечет за собой потерю расходуемой мощности. В то же время желательно изменение реологии в тонком приповерхностном слое с целью увеличения устойчивости масляной пленки к деформационным изменениям в условиях растущего механического воздействия. Достижение необходимых характеристик реологических режимов в трибологической области контакта возможно структуризацией СОТС.

Таким образом, в условиях граничного трения структуризация СОТС наномодификаторами может позволить реализовать желаемые реологические режимы и способствовать решению проблем связанных как с формированием приповерхностной пленки, так и формированием заданных свойств поверхностного слоя при глубинном шлифовании. Для это-

го необходимо провести исследование и анализ существующих теорий поверхностных явлений в трибосистемах, поведение и свойства вещества в поверхностном слое (на границе контакта фаз).

2. Анализ механизма воздействия внешней среды

Существующие гипотезы [5] о механизме действия внешней среды при обработке металлов можно условно классифицировать на три основных группы.

В соответствии с первой гипотезой внешняя среда (водные растворы поверхностно-активных веществ – ПАВ) производят пластифицирующее действие срезаемого слоя металла вследствие адсорбции полярных молекул СОЖ в субмикротрещинах (П.А. Ребиндер).

Экспериментально показано, что при деформации и разрушении чистых металлов в присутствии ПАВ полосы скольжения в деформируемом металле измельчается в десять раз, а работа, затрачиваемая на разрушение, многократно уменьшается по сравнению с деформацией металла в инактивной среде.

В соответствии с другой теорией, предложенной Г.И.Епифановым и получившей название "теории каталитического распада СОЖ", молекулы смазки под действием силового поля ювенильных поверхностей стружки разрушаются с образованием атомов, которые диффундируют в срезаемый слой металла. В результате этого процесса металл в зоне деформации быстрее достигает предельного состояния (охрупчивается) и разрушается при меньшей затрате энергии. Внедрение продуктов распада молекул СОЖ в деформируемый металл активируется высокими температурами и давлениями, возникающими при резании, наличием химически чистых поверхностей, в результате искажений кристаллической структуры срезаемого слоя. Согласно изложенной теории внешняя среда не оказывает влияния на изменение трибологической обстановки процесса трения, а лишь уменьшает работу резания.

Изложенные выше представления о механизме действия СОЖ были развиты, в основном, учеными, работающими в области физики и химии поверхности при деформации и разрушении металлов.

Сущность третьей гипотезы, развиваемой специалистами по резанию металлов, заключается в следующем.

Эффективное действие внешней среды при резании металлов связано с изменением условий граничного трения на контактных поверхностях абразивного зерна (АЗ) и стружки. Это обусловлено образованием смазочных (физических или химических) пленок и их защитным действием – устране-

ние физического контакта между инструментальным и обрабатываемым материалами.

Внешняя среда вследствие образования защитных пленок экранирует силы молекулярного притяжения между ювенильными поверхностями АЗ и стружки, уменьшает адгезию и, как следствие, средний коэффициент трения.

Сопоставление всех 3-х гипотез показывает, что каждая из них справедлива лишь в определенных конкретных условиях, когда имеются соответствующие факторы для её проявления. Не исключается также и возможность их совместного проявления. В этом случае ювенильные поверхности, образованные при контакте «зерно-поверхность», не только проявляют большую активность к физической адсорбции и химическим реакциям, но и излучают поток энергетических частиц (электронов, квантов излучения), интенсивность которого максимальна в момент вскрытия слоев. Эти частицы оказывают существенное влияние на протекание химических процессов, происходящих на контактных поверхностях при шлифовании.

В результате их взаимодействия с молекулами внешней среды, происходит активация последних и распад с образованием реакционных частиц - активных атомов, радикалов и радикальных групп, активность которых обусловлена наличием на валентной оболочке электрона с нескомпенсированным спином. Обладая высокой химической активностью, эти частицы взаимодействуют с ювенильными поверхностями, результатом чего является интенсивное образование композиций (вторичных структур), основная функция которых заключается в разделении чистых контактирующих поверхностей, т.е. в снижении адгезионных взаимодействий.

3. Методы повышения эффективности СОТС

Образование химических радикалов может происходить как естественным, так и принудительным путем. Общие закономерности процессов принудительного образования радикалов практически не отличаются от естественного. В результате внешних воздействий на СОТС, ее компоненты получают дополнительную энергию, что переводит их в метастабильное (промежуточное) состояние, которое характеризуется ослаблением или частичным нарушением внутримолекулярных связей элементов СОТС.

Интенсификация образования реакционных частиц в контактной зоне может быть решена активацией СОЖ физическими методами (наложение электрического, магнитного, ультразвукового полей), получившими широкое распространение, а

также методами химической активации – добавкой в состав СОЖ дополнительных компонентов, имеющих непрочные внутримолекулярные связи

Деструктурируя в зоне контакта, атомы и радикалы этих веществ являются инициаторами зарождения и интенсификации протекания радикально-цепных реакций. Исследованиями [6] было установлено положительное влияние галогенов на процессы лезвийной обработки, из которых наиболее уникальными свойствами обладает йод. В наибольшей степени это проявляется при обработке титана и сплавов на его основе. Например, введение в состав СОЖ порядка 0,001% йода при резании сплавов BT5-1, BT6 приводит к увеличению в 1,5...2,0 раза стойкости инструментов при одновременном улучшении качества обработанных поверхностей.

Образованные радикалы йода участвуют в поверхностных химических реакциях, а так же могут выступать в роли инициаторов зарождения цепных реакций, в результате чего в контактной зоне образуются вторичные структуры – различные соединения йода с металлами контактирующих поверхностей.

Химические пленки, образованные в результате реакции паров йода с титаном, имеют в четыре раза более низкий коэффициент трения, чем чистые поверхности титана. Исследованиями [7] установлено, что при резании в присутствии йодсодержащих СОТС в результате химических реакций в контактной зоне образуются пленки соединения FeI_2 , которые, имея низкий коэффициент трения, способствуют значительному улучшению трибомеханического состояния контактной зоны (рис. 1).

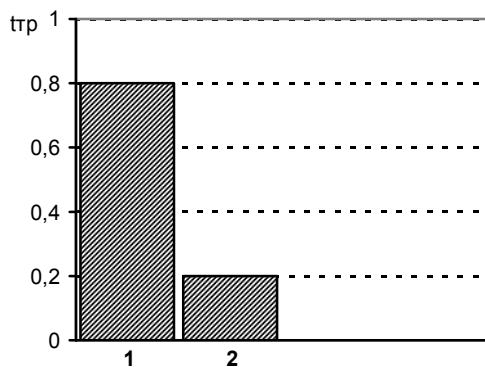


Рис. 1. Гистограмма изменения коэффициента трения:

1 – без использования СОТС; 2 – с использованием в качестве смазочного средства дийодида железа

При введении в СОТС совместно с йодом мелкодисперсного графита происходит следующее. Йод, обладая достаточно высокими деструкционными свойствами, способен при определенных условиях разрушать кристаллическую решетку железа.

Графит хорошо проникает в образующиеся микропоры и при высоких значениях давления и температуры шлифования частично реагирует с железом, образуя дополнительные карбиды железа, обладающие высокой твердостью. В результате на обработанной поверхности детали формируется твердый, но с низким коэффициентом трения наноструктурный слой, достаточно прочно связанный с основным материалом детали.

Сравнительные исследования образцов из сталей 12ХЗН, 30ХГСА и сплава 45Х25Н20, подвергнутых плоскому шлифованию при использовании различных составов СОТС, показали, что добавление в СОТС кристаллического йода и мелкодисперсного графита позволяет повысить износостойкость поверхностного слоя в зависимости от режимов эксплуатации и материала от 2 до 5 раз.

Оказание активного воздействия на зону трения с помощью наномодификации возможно в силу особых физико-химических свойств наночастиц. Их сорбционная активность способствует равномерному распределению полимера, выполняющего ту или иную роль в СОТС. Например, для антизадирной присадки эта роль состоит в предотвращении мицеллообразования, с одновременным удерживанием в зоне с локальным перегревом, тогда как без наномодификатора происходит десорбция полимера с поверхности металла. Наночастицы характеризуются способностью к диссипации всех видов энергии, выделяющейся в процессе граничного трения в виде фотонов, фононов и экзоелектронов [8]. Последний эффект особенно важен для снижения водородного изнашивания [2], возникающего в результате абсорбции водорода металлом. Одним из источников возникновения атомарного водорода в зоне трения является сольватированные электроны, образующиеся в результате экзоелектронной эмиссии. Время жизни гидратированного электрона имеет порядок миллисекунды, а затем он восстанавливает водород из следов влаги, всегда присутствующей в реальных условиях. Из многочисленного экспериментального материала, приведенного в [1], следует, что абсорбция водорода металлом в триботехнических узлах, содержащих органическую смазку или полимер, представляет основную причину износа. Таким образом, структуризация СОТС наномодификатором способна не только повысить его антиокислительные свойства, благодаря снижению трибодеструкционных явлений в приповерхностном смазочном слое, но и повлиять на долговечность пластифицированного слоя металла

Как следует из опытных данных [11], введение антизадирной присадки существенно меняет качество трущейся поверхности. Это связано с хорошо известной способностью поверхностно-активных ве-

ществ (ПАВ) снижать время приработки в новом трибосопряжении и формировать в нем защитный-расклинивающий слой [12]. Однако с ростом нагрузки работоспособность ПАВ резко падает в результате его десорбции с трущихся поверхностей и возможной деструкции.

На основании полученных данных испытаний, известных свойств углеродных наномодификаторов (УНМ) и ПАВ, к которым относится антизадирная присадка С-5А, в механизме образования и последующего действия наноструктурированного СОТС можно выделить несколько этапов. Основными из них следующие:

1) УНМ на стадии диспергирования в базовой СОТС формирует вокруг себя сольватную оболочку из молекул полимера. Диспергирование происходит в присутствии антизадирной присадки, которая в данном случае играет роль ПАВ;

2) организация фрактальной сетки из компонентов УНМ и ПАВ в объеме СОТС;

3) возникновение трибологической пары микрорельефа «абразивное зерно-деталь» в присутствии наномодифицированной СОТС.

Благодаря сорбции на УНМ, молекулы ПАВ приобретают ориентацию наиболее благоприятную для последующего их взаимодействия в зоне контакта с трущимися поверхностями, снимая тем самым ориентационный фактор. В свою очередь, наличие сольватной оболочки у наночастиц УНМ придает им седиментационно-агрегативную устойчивость, что является необходимым условием для формирования объемной фрактальной сетки в жидкой среде СОТС. Очевидно, что наномодификатор, способный справиться с решением широкого спектра задач, должен обладать такими физико-химическими свойствами как термодинамическая устойчивость, высокая сорбционная активность, хорошая (сравнимая с металлами) тепло и электропроводность.

Наномодификатор с таким набором свойств можно получать на основе фуллероидных материалов [13].

Легкие фуллерены (C_{60} и C_{70}), несмотря на их относительную дороговизну, уже сейчас находят широкое применение в различных областях науки и техники [9]. Однако, широкое применение последних зачастую тормозится практически полной несовместимостью легких фуллеренов с водой и водными растворами. Истинная растворимость фуллерена C_{60} в воде при $25^{\circ}C$ составляет $1,3 \times 10^{-11}$ г/л, а фуллерена C_{70} в тех же условиях – $1,1 \times 10^{-13}$ г/л.

Тоже относится и к большинству производных легких фуллеренов (галоген-[фтор-, хлор-, бром- и иод], оксо-, amino-, карбокси- и т.п.) – они, как правило, весьма малорастворимы в воде и водных рас-

творах.

Фуллеренолы, по аналогии с фуллеренами, могут выполнять роль высокоэффективных наномодификаторов различных сред. Это и обуславливает особый интерес к доступным и простым методам синтеза водорастворимых фуллеренов в промышленном масштабе. Полигидроксилированный фуллерен, называемый фуллеренолом обладает простой структурой, склонной к дальнейшей модификации, характеризуется ярко выраженной способностью к захвату радикалов. Это позволяет рассматривать его в числе наиболее перспективных представителей водорастворимых фуллеренов [9, 10].

На практике часто используются более дешевые так называемые смешанные фуллеренолы, т.е. фуллеренолы с различным числом и типом функциональных групп.

Хорошо известно [14] применение в трибологических процессах наночастиц дисульфида молибдена MoS_2 . Такая структуризация, в частности, позволяет добиться минимизации расхода СОЖ при шлифовании чугуна. Исследования показали, что жидкости с применением новых MoS_2 -наночастиц значительно понижают коэффициент трения в зоне между поверхностями круга и заготовки, соответственно, понижают тангенциальную силу шлифования. В результате возрастает коэффициент шлифования и во всех случаях повышается эффективность процесса шлифования при минимальном расходе СОЖ [14]. Зависимость коэффициента шлифования показана на гистограмме (рис.2) при сравнении некоторых видов СОТС с различной концентрацией наночастиц MoS_2

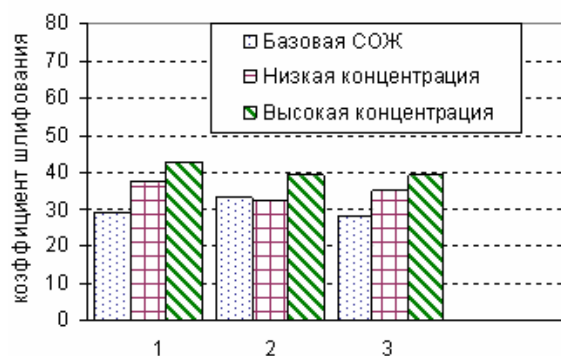


Рис. 2. Влияние структуризации СОЖ наночастицами MoS_2 на коэффициент шлифования: 1 – CANMIST; 2 – Soybean Oil; 3 – Paraffsn Oil

Использование наночастиц при подготовке СОТС должно способствовать увеличению коэффициента шлифования. А применение при этом одного из способов физической активации, например, кавитационной обработки повысит эффективность процесса шлифования.

Заклучение

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей с добавлением ПАВ и структуризацией наноматериалами способствует повышению эффективности технологических систем шлифования за счет направленной избирательной активации эффектов действия среды при минимизации её расхода и затрат энергии. Следовательно, это направление является перспективным в проведении научных исследований, но необходимы дальнейшее развитие теории взаимодействия СОТС с поверхностью обрабатываемого материала и экспериментальные проверки в процессе механической обработки.

Литература

1. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения / А.С. Ахматов. – М.: Машиностроение, 1963. – 472 с.
2. Гаркунов Д.Н. Научные открытия в триботехнике. Эффект безызносности при трении. Водородное изнашивание металлов / Д.Н. Гаркунов. – М.: Изд. МСХА, 2004. – 383 с.
3. Поляков С.А. Нанотехника в трибологии / С.А. Поляков, С.П. Хазов // Нанотехника. – 2006. – № 1. – С. 42-56.
4. Курчик Н.Н. Смазочные материалы для обработки металлов резанием / Н.Н. Курчик, В.В. Вайниток, Ю.Н. Шехтер. – М.: Химия, 1972. – 312 с.
5. Латышев В.Н. Трибология и проблемы СОТС / В.Н. Латышев, А.Г. Наумов // Инструмент и

технологии. – 2003. – № 17-18. – С. 117-129.

6. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОЖ / В.Н. Латышев. – М.: Машиностроение, 1985. – 65 с.

7. Латышев В.Н. Применение йода как компонента СОТС при резании металлов / В.Н. Латышев, А.Г. Наумов В.С. Раднюк // Металлообработка. – 2008. – № 3. – С. 9-14.

8. Евдокимов В.Д. Экзоэлектронная эмиссия при трении / В.Д. Евдокимов, Ю.И. Семов. – М.: Наука, 1973. – 180 с.

9. Сидоров Л.Н. Фуллерены / Л.Н. Сидоров, М.А. Юровская. – М.: Экзамен, 2005. – 688 с.

10. C60 fullerolformation catalysed by quaternary ammonium hydroxide / J. Li, A. Takeuchi, M. Ozawa, X. Li, K. Saigo, K. Kitazawa // J.Chem. Soc. Chem. Commun. – 1993. – P. 1784-1788.

11. Петров Ю.В. Применение наноструктурированных смазочно-охлаждающих сред для механической обработки резанием композиционных материалов / Ю.В. Петров // Студенческая научная весна 2010: Машиностроительные технологии. – 2010. – С. 41-50.

12. Ланге К.Р. Поверхно-активные вещества: синтез свойства анализ применения / К.Р. Ланге. – СПб.: Профессия, 2005. – 219 с.

13. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены / Э.Г. Раков. – М. Университетская книга, Логос, 2006. – 376 с.

14 Performance of novel MoS₂ nanoparticles based grinding fluids in minimum quantity lubrication grinding / Bin Shen, Ajay P. Malshe, Parash Kalita, Albert J. Shih. – 2008. – Volume 36. – P. 357-364.

Поступила в редакцию 17.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.К. Борисевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

МОДИФІКУВАННЯ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ РІДИН ПРИ ШЛІФУВАННІ ВАЖКООБРОБЛЮВАЄМИХ МАТЕРІАЛІВ

В.І. Білоус

За останній час розвиток нанотехнологій став одним із стратегічних напрямків у машинобудуванні та авіадвигунобудуванні. В статті проведено аналіз існуючих теорій трибологічних взаємодій при металообробці. Розглянуто питання можливості структуризації змащувально-охолоджувальних рідин сучасними наномодифікаторами сумісно із поверхнево-активними речовинами (ПАВ) з метою зміни реологічних властивостей змащувально-охолоджувальних технологічних засобів у поверхневому шарі при шліфуванні важкооброблюємих матеріалів для покращення експлуатаційних характеристик деталей сучасних авіадвигунів.

Ключові слова: змащувально-охолоджувальна рідина, поверхнево-активна речовина, наноматеріали, глибинне шліфування.

MODIFICATION OF CUTTING FLUIDS IN GRINDING OF HARD MATERIALS

W.I. Bilous

Recently, the development of nanotechnology has become one of the strategic directions in engineering and aircraft engine manufacturing. The article analyzes the existing theories of frictional effects in metalworking. The question of the possibility of structuring coolants with carbon nanomodifiers conjunction, together with surface-active substances (SAS) in order to change the rheological properties of lubricating-cooling technological means in the surface layer in grinding hard materials to improve the performance of parts of modern aircraft engines.

Key words: cutting fluids, surface-active substances, nanomaterials, creep feed grinding.

Белоус Вадим Иванович – зав. лабораторией кафедры «Технология производства авиационных двигателей», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.