

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ТРИБОМОДИФИЦИРОВАНИЕМ В СРЕДЕ СМАЗКИ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ

Витязь П.А., Жорник В.И., Кукареко В.А.

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
zhornik@inmash.bas-net.by

Триботехнология является новой перспективной технологической отраслью, направленной на повышение триботехнических свойств поверхностей трения и увеличение ресурса трибосопряжений. Методы триботехнологии включают в себя формирование покрытий наплавкой трением, использование избирательного переноса, восстановление поверхностей трения в режиме непрекращающейся эксплуатации с применением «геомодификаторов». К триботехнологии следует также отнести технологические приемы повышения триботехнических свойств пар трения и увеличения ресурса трибосопряжений путем их приработки в среде смазочных материалов, содержащих наноразмерные твердые компоненты, в частности наноразмерные алмазы.

Целью данной работы является установление взаимосвязи структурного состояния поверхности трения с режимами трибоконтакта и параметрами модифицирования смазочного материала и установление области рационального применения технологии трибомодифицирования приработкой в среде смазочного материала с наноразмерными алмазосодержащими добавками.

Объектами исследования являются металлические, полимерные и металлополимерные материалы, а также газотермические покрытия из сталей аустенитного и мартенситного класса. В качестве смазочного материала использованы масло индустриальное И-20А и пластичные смазки Литол-24 (ГОСТ 21150-75) и ИТМОЛ-150 (ТУ РБ 100290.77.005-2006), модифицированные наноразмерной алмазно-графитовой добавкой УДАГ (ТУ РБ 28619110.001-95) (ША-А (ТУ РБ 100056180.003-2003)) производства НП ЗАО «Синта» (г.Минск). Триботехнические испытания проводились на трибометре, работающем по схеме возвратно-поступательного перемещения контактирующих тел при средней скорости взаимного перемещения $\approx 0,1-0,2$ м/с в диапазоне удельных нагрузок 5-100 МПа. Оценка величины износа осуществлялась по потере массы образцов при испытаниях. Исследование структурного состояния поверхностных слоев осуществлялось с помощью рентгеноструктурного анализа, изучение топографии поверхности – методами оптической и сканирующей электронной микроскопии. ДюрOMETрические характеристики оценивались по методу Виккерса.

Результаты испытаний показывают, что при трении пластичных материалов, например, отожженной стали 45, в среде смазки с наноразмерными алмазосодержащими добавками существенно возрастает микротвердость поверхностного слоя и увеличивается ширина дифракционных линий β от матричной α -фазы. Это указывает на существенное увеличение плотности дислокаций и вакансий в поверхностных слоях стали в результате их интенсивной пластической деформации в процессе фрикционного взаимодействия, при этом в них формируется субзеренная структура с размером субзерен $D \leq 100$ нм (рис. 1). С повышением давления испытаний, регистрируемые величины β возрастают, и увеличивается различие в их значениях для случаев использования модифицированной и немодифицированной смазки. Измельчение формирующейся при трении субзеренной структуры, характеризуемое размером блоков D , сопровождается пропорциональным увеличением микротвер-

дости поверхности трения. В частности, в результате триботехнических испытаний при давлении 30 МПа, микротвердость поверхностного слоя отожженной стали 45 возрастает в ~ 2 раза и повышается ее износостойкость. Образование в поверхностях трения наноразмерной субзеренной структуры вследствие присущих ей чрезвычайно высоких пластических свойств приводит к эффективному поглощению энергии фрикционного взаимодействия при трении и облегчает приработку контактирующего сопряжения.

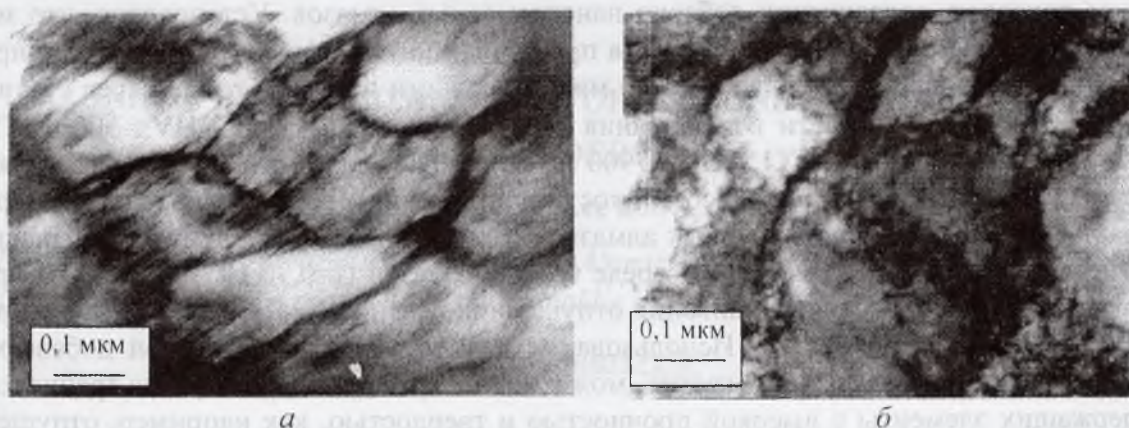


Рис. 1. Микроструктура поверхности трения отожженной стали 45 (а) (давление 20 МПа) и меди М1 (б) (давление 10 МПа) после испытаний со смазкой Литол-24+УДАГ

Кроме этого подобные структуры характеризуются высоким сопротивлением зарождению и распространению микротрещин, формирующих частицы износа. С другой стороны, интенсивное деформационное упрочнение наноразмерной субзеренной структуры обеспечивает высокую несущую способность фрикционного сопряжения. Можно полагать, что эффективное измельчение формирующейся в поверхностях трения субзеренной структуры при использовании смазки, модифицированной УДАГ, ответственно за повышенные триботехнические свойства таких фрикционных сопряжений. Кроме этого нельзя исключать также и возможности прямого модифицирования наноразмерными алмазами пластичных материалов пары трения в процессе контактного взаимодействия.

Предложен механизм трибомодифицирования поверхности трения в процессе фрикционного взаимодействия пар трения из пластичных материалов в присутствии смазки с наноразмерными алмазосодержащими компонентами, который предполагает, что в поверхностном слое пластичных материалов может формироваться наноразмерная субзеренная структура за счет процессов интенсивной пластической деформации, инициируемых твердыми компонентами смазки. При образовании подобной структуры происходит эффективное поглощение энергии фрикционного взаимодействия, а сама она обладает повышенным сопротивлением зарождению и распространению микротрещин, что предопределяет увеличение износостойкости трибосопряжения. В высокопрочных элементах пар трения, характеризующихся пониженной трещиностойкостью, присутствие в смазочном материале сверхтвердых частиц наноразмерных алмазов может инициировать ускоренное изнашивание за счет внедрения наночастиц в поверхностные слои и образования за счет этого зародышевых усталостных микротрещин.

Показано, что при трении пластичных металлических материалов в присутствии смазки с наноразмерными алмазосодержащими добавками в результате интенсивной пластической деформации в процессе фрикционного взаимодействия суще-

ственно возрастает микротвердость поверхностного слоя (в 1,5–2 раза). В процессе трибообработки поверхность трения выглаживается и приобретает зеркальный блеск, при большом увеличении на поверхности обнаруживаются заглаженные пластифицированные участки. При этом положительная роль добавок наноалмазов возрастает при повышении контактного давления в зоне трения и становится менее заметной при увеличении исходной твердости материала поверхности трения. Исследованы триботехнические свойства образцов высокопрочной конструкционной стали ШХ15 различной твердости при трении в среде смазки, модифицированной пакетом присадок, содержащих добавки наноразмерных алмазов. Установлено, что модифицирование смазочного материала приводит к интенсификации процесса приработки трибосопряжений, увеличению микротвердости поверхностных слоев стали и снижению интенсивности изнашивания в случае твердости стали $HV \leq 5000$ МПа. Для закаленной стали ШХ15 ($HV = 7900$ МПа) вследствие ее низкой трещиностойкости характерно снижение износостойкости при трении в среде смазки, модифицированной добавками наноразмерных алмазных частиц. Однако интенсивность изнашивания закаленной стали ШХ15 в среде базовой смазки ($I = 0,30 \cdot 10^{-9}$) несколько превышает интенсивность изнашивания отпущенной стали ШХ15 в среде модифицированной смазки ($I = 0,28 \cdot 10^{-9}$). Использование смазки, модифицированной добавками ультрадисперсных алмазных частиц, может быть перспективно для узлов трения, содержащих элементы с высокой прочностью и твердостью, как например, отпущенная сталь. Изменением режимов термической обработки стали и концентрации присадок в смазке можно достигать относительно более высокого уровня триботехнических свойств для сопряжений, работающих в смазке с добавками наноразмерных алмазов.

Показано, что использование смазки с наноразмерными твердыми добавками обеспечивает снижение интенсивности изнашивания металлопластмассовых композитов в 1,4–2,4 раза, а полимерных композитов в 1,2–1,5 раз, что обусловлено повышением несущей способности смазочного слоя модифицированной смазки, а также эффектом упрочнения металлической компоненты в металлопластмассовых композитах.

Установлено, что трибомодифицирование может эффективно реализовываться в газотермических стальных покрытиях, имеющих в структуре метастабильный аустенит твердостью $HV = 2000–3000$ МПа. В процессе приработки вследствие интенсивной пластической деформации под воздействием сверхтвердых частиц метастабильный аустенит трансформируется в износостойкий и твердый мартенсит деформации ($HV = 7000–8000$ МПа) за счет протекания деформационного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. Модифицированные покрытия обладают повышенной несущей способностью, в частности, газотермические покрытия из стали 12X18H10T в условиях граничного трения работоспособны при контактных давлениях, превышающих 100 МПа.

Разработан метод трибомеханического модифицирования поверхностей пар трения, включающий нанесение на поверхность трения тонкого слоя пластичного материала и последующее формирование в нем износостойких поверхностных структур путем приработки в среде смазочной композиции, содержащей наноразмерные сверхтвердые добавки. Эффективное измельчение формирующейся в поверхностях трения субзернистой структуры при использовании модифицированной смазки ответственно за повышенные триботехнические свойства подобных фрикционных сопряжений, интенсивное деформационное упрочнение наноразмерной субзернистой структуры обеспечивает их высокую несущую способность. Нагрузочно-скоростной режим и длительность приработки в значительной степени определяются материалом контактирующих тел, исходной шероховатостью рабочих поверхностей

и концентрацией наноразмерной алмазосодержащей добавки в прирабочной композиции. В частности, для пары трения «сталь 45 – медь М1» в присутствии смазки Литол-24 с алмазно-графитовой добавкой УДАГ наиболее эффективно процесс трибомодифицирования протекает при удельной нагрузке в зоне трибоконтакта $p=10\text{--}20$ МПа и концентрации УДАГ $C_a=0,75\text{--}1,0$ мас.% при параметре исходной шероховатости $Ra=0,63\text{--}1,25$ мкм. Интенсивность изнашивания обработанной поверхности составляет $I_h=(3,5\text{--}3,8)\cdot 10^{-9}$.

MAGNETIC PULSED COMPACTION OF DIAMOND-COBALT GRANULE POWDERS

Jung G. Lee, M. K. Lee and C. K. Rhee*

*Nuclear Materials Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI),
Daejeon, Republic of Korea*

* ckrhee@kaeri.re.kr

A diamond core drill is an important perforating tool in the construction field. Drilling segments of this core drill are usually produced by compaction and subsequent sintering of the mixed Diamond and Co powders with a size of several μm (indicated as 'raw powders' hereafter) [1]. However, production automation for these drilling segments has been restricted due to the very small size of the raw powders used. In this respect, large efforts have been made to use the granule powders with a size of > 1 mm which are fabricated by the granulation of the raw powders. Nevertheless, when these granule powders are compacted by a conventional static compaction (CSC) method, the green density is too low to be sintered to the bulk with the requested density because of their large particle size [2]. To date, the CSCed compacts using the granule powders should be sintered with an additional high pressure to obtain enough density for the sintered bulk to be used for the drilling segments [3]. Despite such pressure sintering, the Diamond-Co drilling segments prepared by CSC using the granule powders still possess a considerable amount of pores, thereby revealing poor drilling performance.

Considering the limitation of CSC, magnetic pulsed compaction (MPC) has been applied to produce the Diamond-Co drilling segments using granule powders in this study. MPC is an effective method to obtain a high green density by applying a high pressure (up to 5 GPa) to each powder for a short period of time (~ 500 μs) [4,5]. This ultra high pressure in 500 μs causes an enhanced deformation and rearrangement of the compacted powders, resulting in the improved green density [6,7]. The principle that anchors the MPC technique relates to sudden current flow in a coil, creating a magnetic field around that coil [2,5]. Also, nearby concentrator that can carry electricity will have a current induced in it in the opposite direction of the current in the primary coil. These opposing currents coincide with opposing magnetic fields and cause a pressure to develop between the primary coil and the concentrator. This pressure is known throughout the world of physics as the *Lorentz Force*. Finally, this force is transferred to the compacting tools, making powders be compacted.

In this study, the Diamond-Co granule powders were consolidated for drilling segments by the combined application of MPC and subsequent sintering. Density and hard-