

УДК 621.893

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЕЕ ТЕРМООБРАБОТКИ В СРЕДЕ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА С НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ**

*Д.В. ЛОПАТИН, Ю.А. ГАСС  
(Представлено: А.А. ГУЩА)*

*В статье представлены исследования влияния величины износа поверхности трения в среде смазочного материала с наноразмерными алмазосодержащими добавками в зависимости от ее режима термообработки.*

**Введение.** На сегодняшний день для изменения свойств материала и, как следствие, изменения характера трения применяют различные виды термообработки. Наиболее распространенными являются закалка, отпуск и отжиг [1].

*Закалка* – термическая обработка стали, сплавов, основанная на перекристаллизации стали (сплавов) при нагреве до температуры выше критической; после достаточной выдержки при критической температуре для завершения термической обработки следует быстрое охлаждение. Основная цель закалки – повышение твердости и прочности стали [2].

*Отпуск* – термическая обработка (термообработка) стали, сплавов, проводимая после закалки для уменьшения или снятия остаточных напряжений в стали и сплавах, повышающая вязкость, уменьшающая твердость и хрупкость металла.

*Отжиг* – это нагрев стали до температуры, определяемой целью отжига, выдержка при этой температуре и последующее медленное охлаждение вместе с печью. Время выдержки должно быть достаточным для нагрева изделия по всему сечению. Цель отжига – устранение химической неоднородности сталей, понижение твердости для облегчения механической обработки и др [3].

Сложность решения проблемы обеспечения заданной долговечности трибосоприятия заключается в необходимости учета взаимозависимых параметров комплекса «технология – трибоузел – эксплуатация». Высокие показатели износостойкости поверхностей трения обеспечиваются за счёт применения современных смазочных материалов, однако во многих случаях этого недостаточно.

Для улучшения эксплуатационных свойств поверхности трения необходимо дальнейшее повышение износостойкости сопряжённых поверхностей. Одним из перспективных направлений является трибомодифицирование наноразмерными алмазосодержащими добавками [4].

**Цель работы:** определение степени износа поверхности трения в зависимости от применяемого вида термообработки материала в среде смазки, модифицированной добавками наноразмерных алмазных частиц.

**Методы исследований.** Для выявления зависимости степени износа от вида термообработки материала были испытаны образцы, находившиеся в закалённом, отпущенном и отожжённом состоянии. Все образцы изготовлены из стали ШХ-15 и представляют собой стержень размером Ø3 x 15 мм. В качестве контртела был выбран диск Ø70x6 мм из закаленной стали ШХ – 15.

Испытания на износ проводились на универсальной машине трения MODEL: MMW – 1A вертикального типа с компьютерным управлением. Машина поддерживает силу нагрузки в течении эксперимента постоянной с отклонением ±2 Н. Относительная погрешность измерения силы трения не превышала ±2% при жидкостном режиме смазывания.

Перед проведением исследования для повышения точности эксперимента производилась подготовка поверхности образцов. Для уменьшения шероховатости производилась притирка с использованием наждачной бумаги зернистостью Р600.

Все образцы испытывались при одинаковом режиме трения, со следующими параметрами: – сила нагружения: 212 Н; – удельная нагрузка: 10 МПа; – скорость скольжения: 0,2 м/с; – расстояние, пройденное образцами: 3000 м; – масло с содержанием наноалмазов концентрацией 0,36%.

В процессе испытаний фиксировались значения величин силы трения и коэффициента трения с частотой один раз в 1 с в режиме реального времени с возможностью сохранения в файл. Полученные данные аккумулировались в графическом и текстовом виде и после аппроксимации подвергались анализу.

Для оценки величины износа использовался метод отпечатков. Отпечатки наносились на образцы на микротвердомере BUEHLER Model No 1105D, они имеют пирамидальную форму, оставляемую индентором для определения твердости по Викерсу с противолежащим углом 136°. В сечении отпечатки представляют собой ромб, диагонали которого измерялись до проведения эксперимента и после. После этого разность размеров пересчитывается в величину абсолютного износа. Размер отпечатков определялся после каждой 1000 м.

**Результаты и обсуждение.** После прохождения 3000 м на образцах наблюдались темные полосы. Это, вероятно, вызвано ухудшением подтекания масла в зону трибоконтакта и нарушением условий смазывания пары трения за счет вязкости смазочного материала, вследствие чего в центре контакта происходило сухое трение. Причём, у закаленных образцов темные полосы были узкими (рис. 1), в то время как на отожжённых ширина полос доходила до половины диаметра стержня, т.е. наблюдается обратная зависимость между твердостью образцов и шириной темных полос.

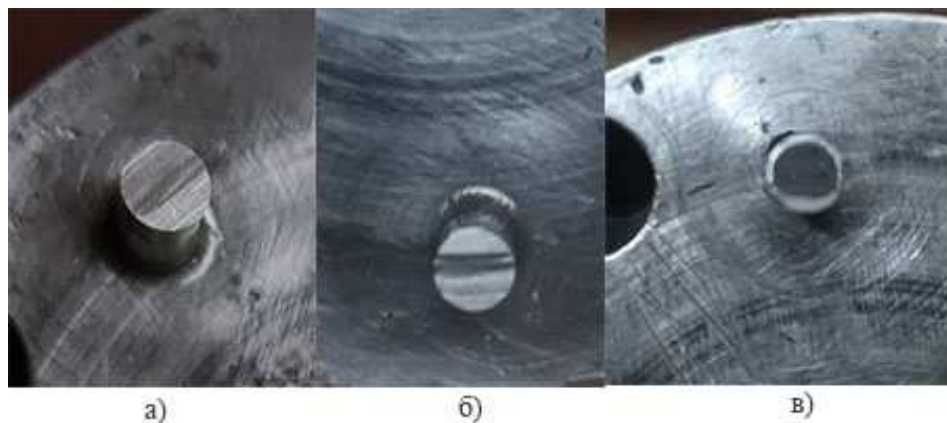


Рисунок 1. – Тёмные полосы на образцах: а – закалка, б – отпуск, в – отжиг

Данные полученные в результате исследований представлены на рисунке 2.

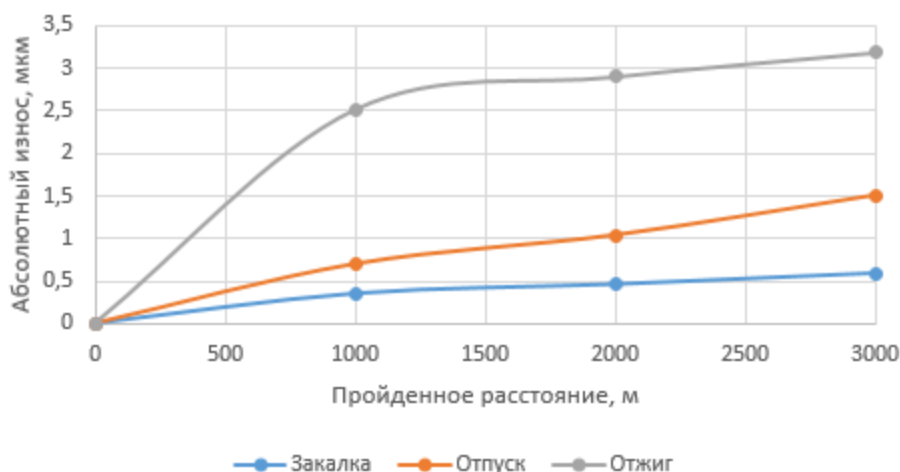


Рисунок 2. – График зависимости износа поверхности трения от режима ее термообработки

Из представленных данных можно видеть, что в случае испытаний отожженной стали в среде смазки, модифицированной наноразмерными добавками, регистрируется ускоренная приработка трибосопряжения. Это обусловлено присутствием в смазочном материале наноразмерных алмазно-графитовых частиц, обеспечивающих формирование в поверхностном слое элемента пары трения ультрадисперсной субзерненной структуры, обладающей повышенной стойкостью к зарождению и распространению трещин при фрикционном взаимодействии.

В случае триботехнических испытаний образцов отпущенной стали ШХ 15 с твердостью *HRC* 50 величина абсолютного износа стали снижается по сравнению с испытаниями образцов отожженной стали. На начальных стадиях испытаний регистрируется интенсификация процесса приработки трибосопряжения, и, связанный с этим относительно пониженный износ отпущенного образца. Интенсивность изнашивания образцов отпущенной стали, определенная на стадиях установившегося износа, примерно в 2 раза ниже, чем интенсивность изнашивания отожженной стали.

Сопоставляя данные по интенсивности изнашивания закаленной стали ШХ 15 с аналогичными данными для стали в отпущенном состоянии можно отметить, что присутствие в смазочном материале

наноразмерных добавок 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 ШХ 15 ( $HV = 7900$  МПа) вследствие ее низкой трещиностойкости характерно снижение износостойкости при трении в среде смазки, модифицированной добавками наноразмерных алмазных частиц.

**Заключение.** Испытание образцов при трении в среде смазки, модифицированной добавками наноразмерных алмазных частиц с различными режимами термообработки показало, что твердые образцы меньше подвержены износу, о чем свидетельствует кривая износа закаленной стали в сравнении с отожженной и отпущенной. Вид термообработки также влияет на характер трения: чем более пластичный материал, тем хуже подтекание смазочного материала в зону контакта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев, Л.Б. Системный анализ технологии формирования износостойких покрытий на поверхностях трения деталей / Л.Б. Леонтьев, А.Л. Леонтьев, В.Н. Макаров // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12 (часть 4). – 729–734 с.
2. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов: учебник / И. И. Новиков. – 3-е изд. – М. : *Металлургия*, 1978. – 392 с.
3. Глухова, А. Термическая обработка стали / А. Глухова // *Станки для обработки металла и дерева. Технологии. Инструмент и расходные материалы*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/materialovedenie/termicheskaya-obrabotka-stali.html>. – Дата доступа: 25.09.2019.
4. Pešić, R. Methods of Tribological Improves and Testing of Piston Engines, Compressors and Pumps / R. Pešić, A. Davinić, S. Veinović // *Tribology in industry*. – 2005. – Vol. 27, № 1&2. – P. 38–47.