ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин А.В., Царук Ф.Ф., Гайдук Н.А. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования //Труды БГТУ, серия П. – Мн.,2002. Вып.Х. – С.213-215.
2. Блохин А.В. Развитие комплекса оборудования для усталостных испытаний конструкционных матриалов //Труды БГТУ, серия П. – Мн.,2004. Вып.XII. – С.263-267.
3. Капсаров А.Г., Бельский С.Е., Чигринова Н.М. Особенности расчета элементов испытательного оборудования для получения сложного напряженного состояния в широком диапазоне частот//Современные методы проектированяи машин: Труды II Межд. конференции. – Мн., 2004. – Т.4. – С.242-245.

УДК 621.833.01

М.Н. Пищов, доц., кан. техн. наук;
С.Е. Бельский, доц., кан. техн. наук; А.М. Лось, ст.преп.
(БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИЗНАШИВАНИЯ УПРОЧНЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫМ БОРИРОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ

Условия эксплуатации ряда сложнонагруженных инструментов, а также деталей машин и механизмов характеризуются значительным трением, сопровождаемым интенсивным износом на их рабочих поверхностях. В связи с этим для повышения надежности и срока службы подобных изделий возникает необходимость использования различных способов поверхностного упрочнения. Применяемые для этой цели процессы должны обладать минимальными стоимостью, продолжительностью, трудо- и энергозатратами, не требовать финишной механической обработки изделий.

Для определения эксплуатационных характеристик упрочненных слоев в разработанных насыщающих составах и оптимизации температурно-временных параметров процесса упрочнения исследована кинетика изнашивания экспериментальных образцов после проведения различной ХТО. Необходимо отметить, что как показали проведенные исследования, диффузионные слои характеризуются неоднородностью структуры и химического состава, наличием дефектов в виде пор, микротрещин, а также значительными колебаниями по толщине и твердости. В связи с этим сопротивление изнашиванию является важным критерием физико-механических и эксплуатационных

свойств, так как позволяет оценить служебные свойства материалов, упрочненных при различных условиях.

Исследования износостойкости упрочненных различными составами экспериментальных образцов проводились в лабораторных условиях. Созданная на кафедре деталей машин и ПТУ БГТУ установка для проведения испытаний по сопротивлению изнашиванию экспериментальных образцов частично моделирует реальные условия работы инструментальной оснастки.

Режим испытаний при возвратно-поступательном движении был следующий: величина амплитуды – 110 мм; максимальная скорость скольжения Vmax=0,67 м/с; число циклов – 452 тысяч, что соответствует 59,72 км пройденного пути; температура в месте контакта поддерживалась не выше 70–100°С. При этом удельная нагрузка на поверхности трения изменялась от 1,5 МПа до 5,5 МПа, что позволило в достаточно широком диапазоне оценивать параметры износостойкости упрочненных образцов.

Исследования упрочненных образцов проводились в режиме сухого трения с минимальным добавлением индустриального масла 20 для исключения явления задира. Испытывались образцы размеров 10х10х10 мм из стали 45Х3В3МФС прошедшей цементацию по различным режимам.

В связи с тем, что структура и фазовый состав поверхностных слоев по глубине в значительной степени отличаются неоднородностью, показатели износостойкости различных слоев существенно отличаются друг от друга. Для получения достоверных результатов испытаний, в отличие от традиционно применяемых методик, отсутствовал период приработки образца и контртела. Поэтому при проведении исследований шероховатость контртела, выполненного из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 с твердостью HRC 64–66, поддерживалась постоянной в пределах Ra 1,25 мкм. После испытаний трех образцов рабочая поверхность контртела периодически перешлифовывалась на заданную шероховатость; для более интенсивного износа неровности выполнялись в направлении перпендикулярном движению образца.

Для определения рациональных параметров процесса поверхностного упрочнения технологической оснастки определено их влияние на сопротивление изнашиванию экспериментальных образцов. Так было установлено, что с увеличением времени борирования образцов из стали 25ХГТ от 1 часа до 2 часов сопротивление изнашиванию возрастает в 1,8–1,9 раза (рис. 1) и стабилизируется при времени обработки до 4 часов. Дальнейшее увеличение времени (до 5 часов)

приводит к возрастанию потери массы, что очевидно связано с коагуляцией фазы FeB и увеличением размера ее игл на поверхности [4, 5].

Потеря массы боросилицированных образцов больше, чем у борированных образцов до времени обработки 4,5 часа. Однако, с дальнейшим увеличением ее продолжительности изнашивание снижается (рис. 1). Это можно объяснить как более плотным поверхностным слоем боросилицированных образцов, так и существенно меньшей микрохрупкостью [6, 7].

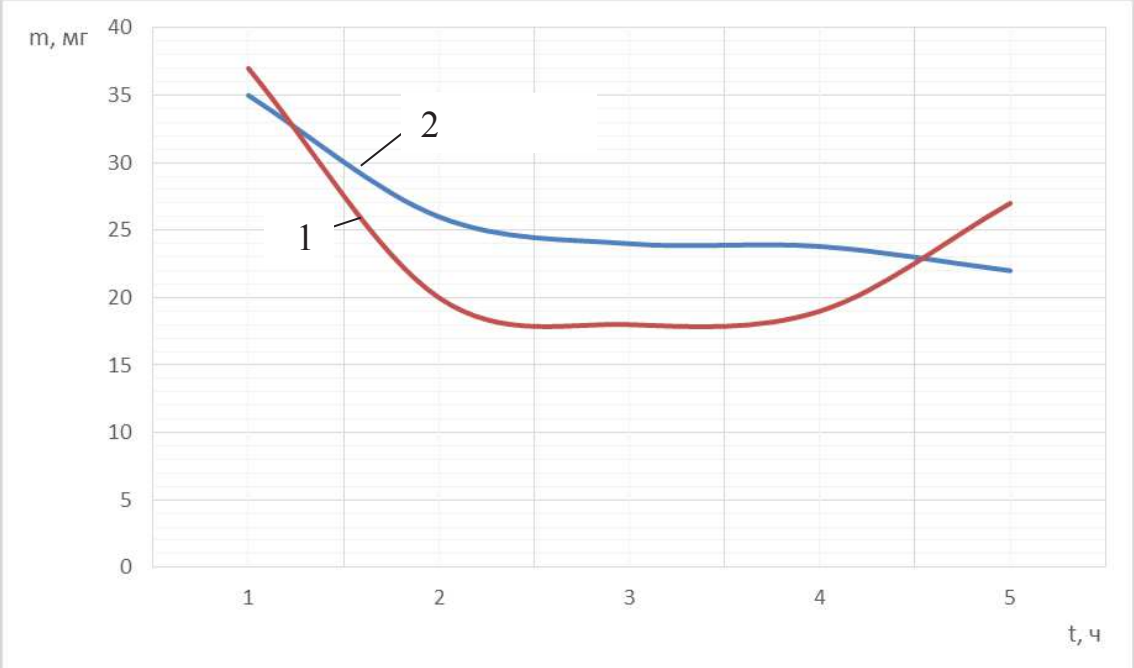


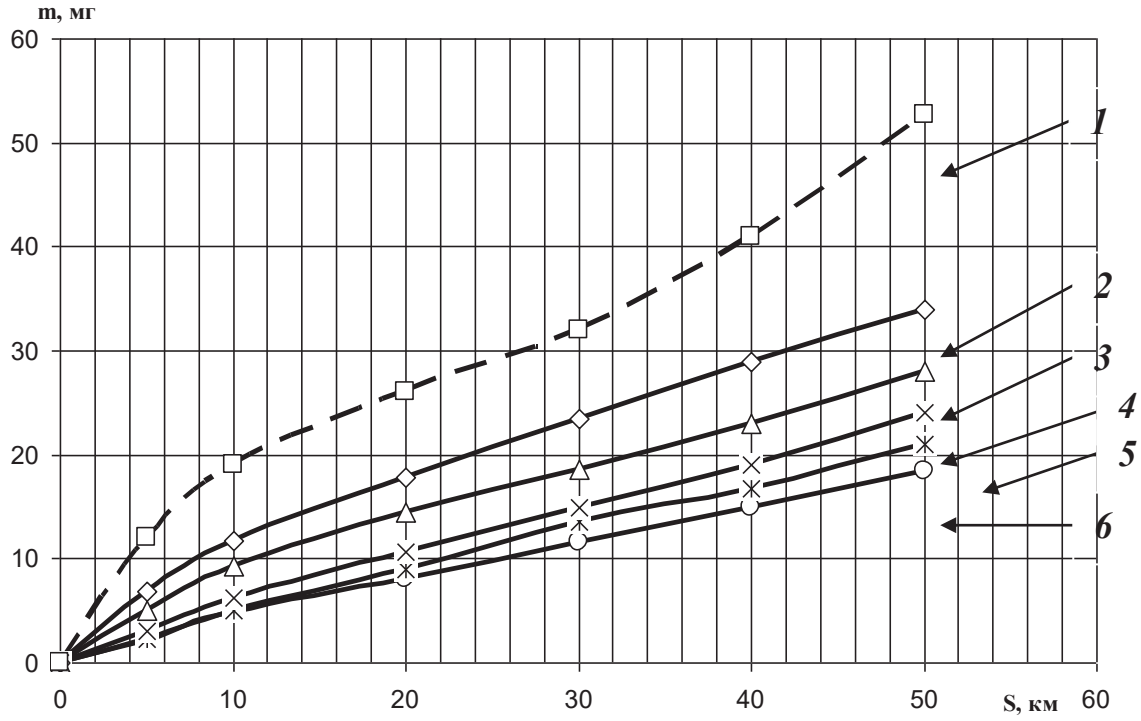
Рисунок 1 – Влияние времени процесса борированя (1) и боросилицирования (2) на сопротивление изнашивания образцов стали 25ХГТ (путь трения 50 км)

Для исследования влияния составов и параметров процессов упрочнения на сопротивление изнашиванию поверхностного слоя проведено исследование остаточных напряжений после поверхностного упрочнения. Установлено, что после борирования и боросилицирования возникают остаточные напряжения сжатия, возрастающие с повышением как времени, так и температуры обработки [8]. Поскольку напряжения сжатия в пределах поверхностного слоя благоприятны для повышения износостойкости, контактной выносливости и усталостной долговечности, следует предположить повышение эксплуатационной надежности упрочненной боросилицированием технологической оснастки, например штампов.

Сравнительная оценка износостойкости упрочненных методами борирования, боросилицирования и цементированных по заводской технологии поверхностных слоев полученных на образцах из различ-

ных сталей проводилась по потере массы при пути трения между измерениями 10 км. Следует отметить, что полученные кривые износа (рис.2) в целом соответствуют общепринятым представлениям и зависимостям характерным для эксплуатации деталей, работающих в условиях интенсивного нагружения [6-7].

Для кривой износа, полученной при упрочнении методом цементации (традиционная технология при изготовлении зубчатых колес трансмиссии) характерно наличие трех основных участков, соответствующих основным стадиям развития процесса изнашивания и разрушения поверхностного слоя образца. На первом этапе (до 20 км пробега), соответствующем периоду приработки, наблюдается более интенсивное изнашивание с потерей массы около 50% за весь период испытаний.



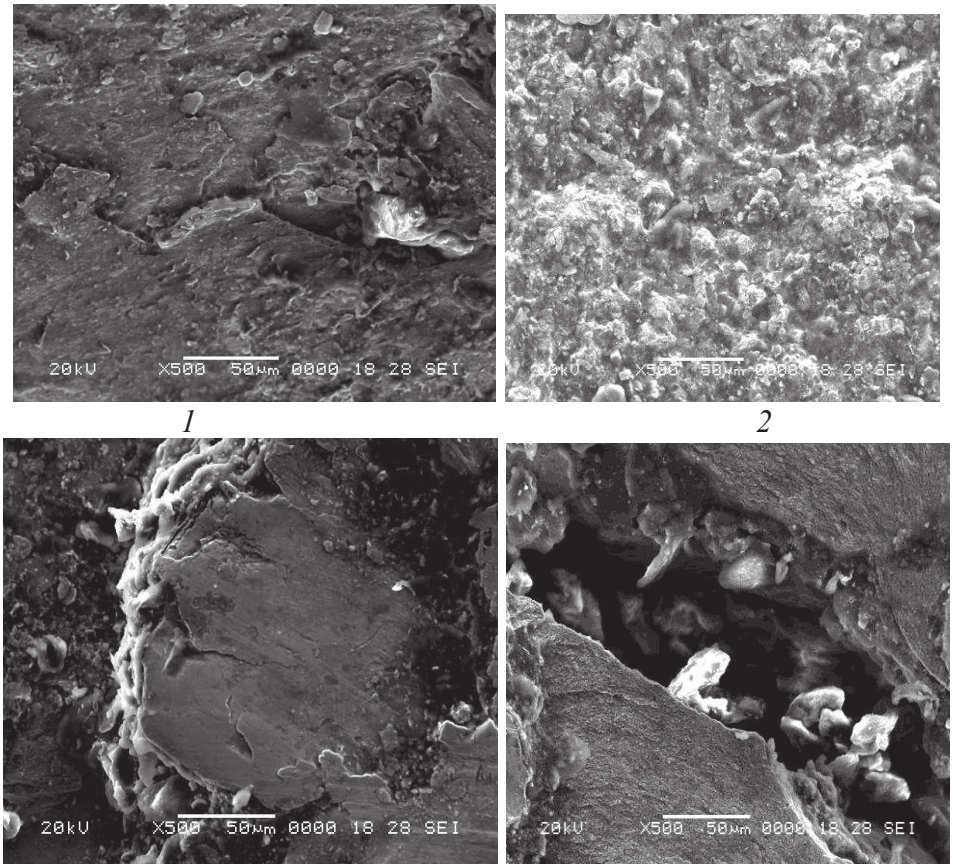
1 – цементация; *2* – боросилицирование 2 ч; *3* – 3,5 ч; *4* – 4 ч; *5* – борирование 3 ч; *6* – 4 ч

Рисунок 2 – Изменение зависимости величины изнашивания образцов из стали 25ХГТ от пути трения при разных составах сред и времени насыщения (нагрузка 1,155 МПа)

В отличие от цементации, при упрочнении образцов боросилицированием интенсивность изнашивания на всем протяжении пути трения остается практически постоянной [8].

При этом на некоторых участках пути трения наблюдается ее уменьшение, что вероятно связано со стабильностью поверхностной твердости и остаточных напряжений сжатия.

Характер кривых изменения величины изнашивания исследованных образцов из конструкционных сталей 40Х и 45 аналогичен приведенным на рис. 1 результаты для стали 25ХГТ при более высокой количественной оценке интенсивности износа. Также было установлено, что с увеличением времени обработки до 10 ч изменяется и картина разрушения поверхности. Элементы смятия участков поверхности и выкрашивания отдельных ее фрагментов наблюдаются только при пути трения 50 км (рис. 3), что подтверждает результаты испытаний на сопротивление изнашиванию.



1 – путь трения 5 км; *2* – 20 км; *3* – 40 км; *4* – 50 км

Рисунок 3 – Кинетика изнашивания образцов стали 25ХГТ, упрочненных цементацией при времени 5 ч при нагрузке 3,5 МПа

Полученные результаты исследований позволяют определить рациональные параметры процесса поверхностного упрочнения, обеспечивающие требуемую износостойкость поверхностного упрочненного слоя деталей трансмиссий лесных мобильных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пищов М.Н. Кинетика изнашивания деталей трансмиссии лесных машин, упрочненных комплексным борированием // Инновационная деятельность предприятий по исследованию, обработке и получению современных конструкционных материалов и сплавов: материалы Междунар. научн. конф., Москва, 2009. – М., 2009. – С. 179–187.

2. Макаревич С.С. Модель напряженного состояния зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов // С.С. Макаревич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Труды БГТУ. Серия П «Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2009. Выпуск XVII. – С. 327–330.

3. Бельский С.Е. Влияние параметров диффузионного упрочнения на шероховатость поверхности обработанных деталей и стабильность их размеров // Труды БГТУ. Сер.II лесн. и деревообраб. пром-сти. 2002. Вып. X. – С. 204–207.

4. Довгялло И.Г., Каледин Б.А., Сурус А.И., Бельский С.Е. Влияние механических колебаний на качество диффузионного слоя стальных деталей при низкотемпературной карбонитрации // Труды БГТУ. Сер.II лесн. и деревообраб. пром-сти. 2000. Вып. II. – С. 207–213.

5. Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние высокочастотных механических колебаний при поверхностном упрочнении на формирование и структуру упрочненных слоев конструкционных сталей // Литье и металлургия, 2003. № 2. – С. 124–127.

6. Ворошнин Л.Г. Борирование стали / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович // – М.: Металлургия, 1978. – 230 с.

7. Ляхович Л.С. Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л.С. Ляхович, Л.Г. Ворошнин, Г.Г. Панич. – Мн.: Наука и техника, 1974. – 289 с.

8. Ситкевич М.В. Влияние комплексного боридного упрочнения на структуру и свойства поверхностных слоев сталей для изготовления деталей зубчатых передач трелевочных лесных машин / М.В. Ситкевич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Литье и металлургия. Мн., 2008. – С. 140–146.