



УДК 621.81

Л.С. Белевский, И.В. Белевская, О.С. Коптелова
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: l.belevskiy@mail.ru
Дата поступления 19.11.2015

УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ КОМБИНИРОВАННОЙ И УДАРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Аннотация

Исследована возможность использования секционной дисковой вращающейся проволочной щетки и бойков перфоратора для наноструктурирования поверхностного слоя металлических изделий с последующим нанесением функциональных покрытий сплошной проволочной щеткой. Установлено, что методами ударной и ударно-фрикционной обработки возможно получение наноструктурированного поверхностного слоя с размером фрагментов до 0,13 мкм подобно тому, как это достигается при интенсивной пластической деформации. Изучена микротопография поверхности образцов при различных режимах обработки.

Ключевые слова: поверхностное упрочнение, наноструктура, фрикционное плакирование, гибкий инструмент, перфоратор, микротопография.

Введение

В данной работе представлены результаты исследований упрочнения и восстановления деталей ударно-фрикционной комбинированной обработкой с использованием гибкого инструмента и бойков перфоратора.

Основная часть

Одним из эффективных методов повышения служебных свойств деталей является нанесение покрытий и деформационное упрочнение поверхностного слоя. В последние годы получили развитие совмещенные и комбинированные методы обработки поверхности, когда наряду с механическим воздействием на изделие добавляется действие электрического тока, ультразвука, различных технологических сред и т.п. К таким методам относится и фрикционное нанесение металлических покрытий гибким инструментом – вращающейся проволочной щеткой (ВПЩ), которые давно применяются для очистно-упрочняющей обработки в различных областях техники, в том числе и для нанесения покрытий. Процесс, названный фрикционным

плакированием (ФП), может найти широкое и эффективное применение в различных областях техники [1-3].

Восстановления размеров деталей накаткой роликом с последующим нанесением покрытий гибким инструментом. Процесс ФП может быть использован также для восстановления размеров и формы деталей [4]. Снижение эксплуатационных характеристик пар трения во многом связано с износом. Большие трудности возникают при восстановлении прецизионных деталей. Одним из способов восстановления является увеличение диаметра изношенной детали за счет высоты наплывов, образующихся по краям микроканавок при формировании рельефа алмазным выглаживанием или накаткой [5, 6]. При этом решаются две задачи – восстановление размера и создание дополнительных маслосъемных каналов. Представляется целесообразным применить комбинированную обработку. На поверхность с рельефом, полученным пластическим деформированием (накаткой), дополнительно нанести методом ФП функциональное покрытие, например, антифрикционное, износостойкое или коррозионностойкое. Ниже приведены результаты эксперимента комбинированной обработки.

Для накатки сетчатого рифления использовался ролик 20х9х8 мм, 0,5мм х 60°. Накатка производилась на токарном станке, на котором на образец после накатки наносилось методом ФП латунное покрытие.

Было исследовано влияние формообразующей накатки роликом на рельеф и структуру поверхностного слоя. После накатки диаметр образца увеличился на 50 мкм и на его поверхности образовались куполообразные выступы (рисунок 1).

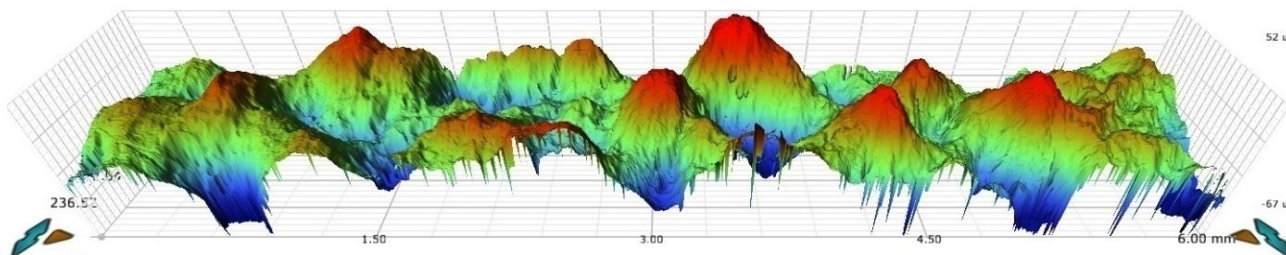


Рисунок 1 Микротопография поверхности образца после накатки¹

На рис. 2 показан общий вид латунного покрытия на стали (рисунок 2, а) и результаты микрорентгенспектрального анализа в верхнем слое покрытия (рисунок 2, б) и слое, прилегающем к основе (рисунок 2, в)². Как следует из рисунка 2, а, покрытие толщиной около 30 мкм сплошное, однородное состоит из латуни с незначительным количеством железа, которое может попадать в покрытие с поверхности основы или ворса ВПЩ.

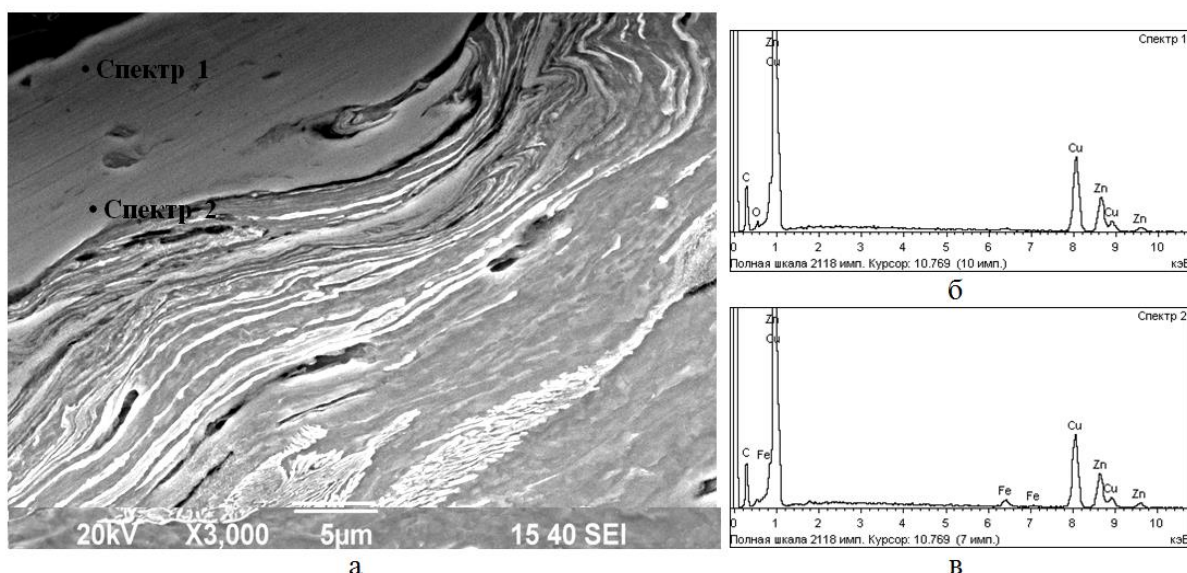


Рисунок 2 Латунное покрытие на образце из стали 20: а – вид покрытия; характеристические спектры: б – верхний слой покрытия; в – слой, прилегающий к основе

Исследование микроструктуры показало, что поверхность имеет увеличенную фактическую площадь контакта, обладает достаточной маслостойкостью, а сглаженные вершины выступов уменьшают концентрацию напряжений при контактных нагрузках.

Исследование упрочнения и микротопографии поверхности при ударно-фрикционной обработке гибким инструментом. Сплошными ВПЩ в зависимости от конструкции и режимов обработки можно в широких пределах менять шероховатость поверхности из различных металлов и сплавов, увеличивая или уменьшая шероховатость. Однако глубина упрочненного слоя при обработке стальных изделий невелика и сплошная ВПЩ оказывает, в основном, не ударное, а фрикционное воздействие. Известно, что при применении секционных дисковых щеток поверхность упрочняется наиболее эффективно. По нашему мнению, для

¹ Исследование микротопографии поверхности проводилось в лаборатории Научно-исследовательского центра «Микротопография» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» на установке Contour GT K1 (Bruker, США) к.ф.-м.н. Беловым В.К. и Губаревым Е.В.

² Исследования проводились в Центре коллективного пользования НИИ «Наносталей» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» к.т.н. Ефимовой Ю.Ю.

упрочнения и наноструктурирования поверхностного слоя целесообразно использовать секционные щетки, изготовленные из стальной закаленной проволоки, сплетенной в пучки. При входе в контакт такого пучка с поверхностью изделия он оказывает не только фрикционное воздействие, но и ударное, подобно пучку дроби из дробеметной установки или при упрочнении чеканкой. Секционной ВПЩ одновременно с упрочнением можно также наносить защитное покрытие (совмещенная обработка). Комбинированная обработка проводится в два этапа. Сначала поверхность образцов упрочняется секционной ВПЩ, а затем ее заменяют на сплошную ВПЩ, которой и наносится покрытие.

Исследование микроструктуры показало, что на поверхности образца, подвергнутого обработке секционной ВПЩ, образовался слой, который можно условно отнести к аморфизированному или наноструктурированному. Микротвердость упрочненного слоя более чем в 3 раза превышает твердость в центральной области образца.

На рис. 3 приведена микрофотография поверхности образцов, обработанных гибким инструментом (ВПЩ) по различным режимам. Измерения 3D параметров показывает, что наилучшими микрофотографическими характеристиками обладает образец "в". Хотя данный образец по маслоёмкости уступает поверхности "б" (обработка секционной ВПЩ), но он лучше удерживает слой смазки при контактом трении по следующим причинам. Образец "в" имеет более остроконечную топографию поверхности шероховатости, наибольшую площадь шероховатой поверхности, наименьший шаг неровностей. Следует также отметить, что поверхность после обработки секционной щеткой (рисунок 3, б) очень похожа на поверхность после обработки накаткой (рисунок 1).

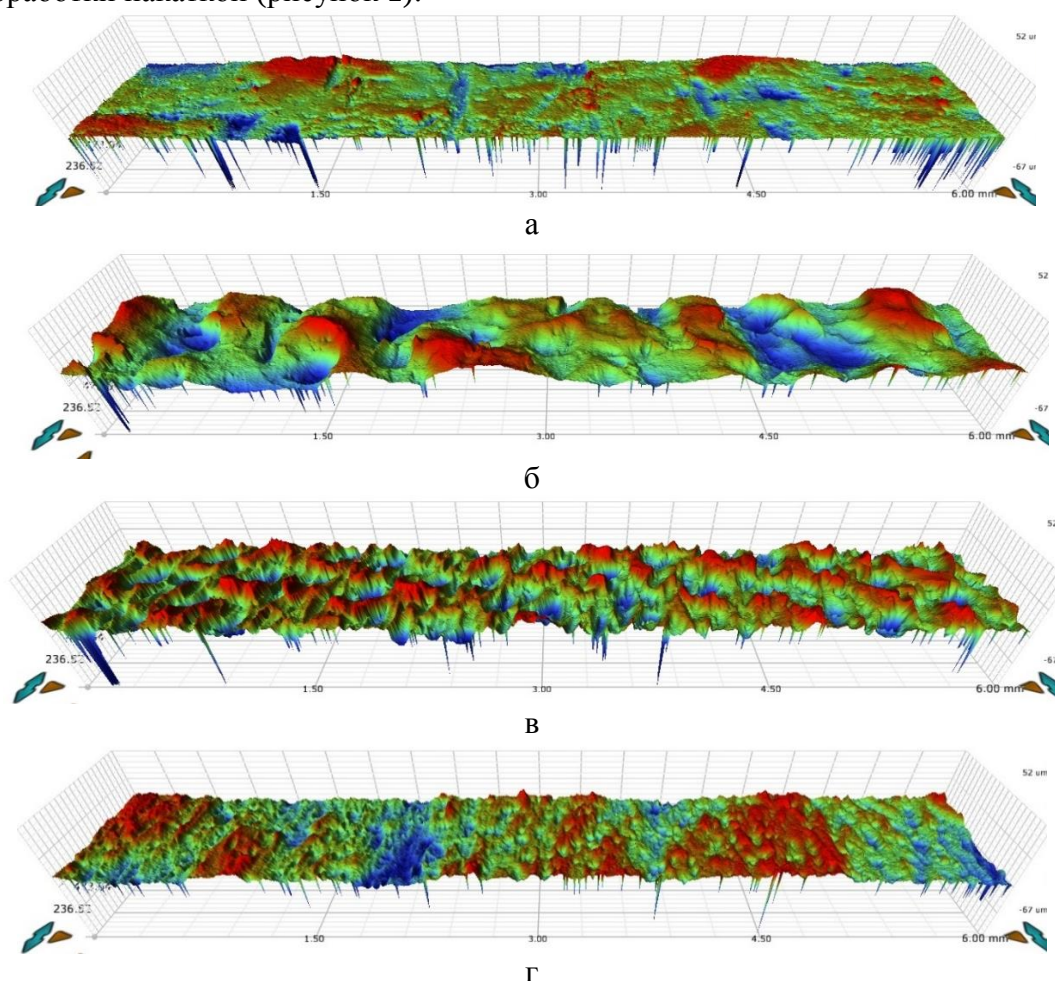


Рисунок 3 Микрофотография поверхности образцов:

а – калиброванный прут, б – обработка секционной ВПЩ;

в – покрытие латунью (совмещенная обработка секционной ВПЩ)

г – комбинированная обработка (обработка секционной ВПЩ и последующее нанесение латунного покрытия сплошной ВПЩ)

Динамический наклеп бойками. Одним из путей повышения конструктивной прочности стальных изделий является получение ультрамелкого зерна или создание нанокристаллической структуры, что может быть достигнуто различными способами [7]. Для наноструктурирования поверхности могут быть использованы методы интенсивной пластической деформации (ИПД), в том числе ударное поверхностное пластическое деформирование [8-11]. Ударные методы ИПД имеют свои особенности, в ряде случаев они более эффективны, чем статические, позволяют получить большую глубину упрочненного слоя. В ЦНИИТМАШе [12] разработаны различные приспособления и устройства для упрочнения динамическим поверхностным наклепом крупногабаритных пластинчатых и круглых деталей. Для упрочнения сварных швов и других изделий рекомендуется применение многобойковых чеканочных устройств, состоящих из пневматического молотка и многобойкового наконечника в виде пучка проволок. Следует отметить, что ударные приспособления достаточно сложны по конструкции и громоздки. Отбойные пневматические молотки слишком тяжелы и для их работы необходим компрессор или магистраль с воздухом под давлением. Представляется целесообразным использовать для динамического наклепа ручной электрический перфоратор.

Для проведения экспериментов на образцах использован ручной электрический перфоратор ПРЭ-7. Номинальное число ударов – 4000 уд/мин, энергия удара – 3,5 Дж, номинальная скорость рабочего шпинделя – 700 об/мин. Обработка поверхности образцов проводилась зубилом пикообразным из высокоуглеродистой легированной стали и буром диаметром 10 мм с твердосплавным наконечником. В дальнейшем мы будем, для краткости, использовать термины «зубило» и «твердый сплав». В качестве экспериментального материала для образцов при проведении модельных опытов пластического деформирования поверхностного слоя была взята сталь марки 20.

Перфоратор позволяет работать в режимах: удар или удар с кручением. При обработке зубилом использовались оба режима.

Измерение микротвердости выполнялось послойно, с шагом 50 мкм, схема замеров показана линиями на рисунке 4.

Результаты измерения микротвердости образцов подверженных деформации удар и удар с кручением зубилом, а также удар твердым сплавом представлены на рисунке 5. При всех режимах обработки на поверхности образцов наблюдается упрочнение по отношению к основному металлу от 42 до 83 %. Протяженность упрочненного слоя составляет от 200 до 350 мкм.

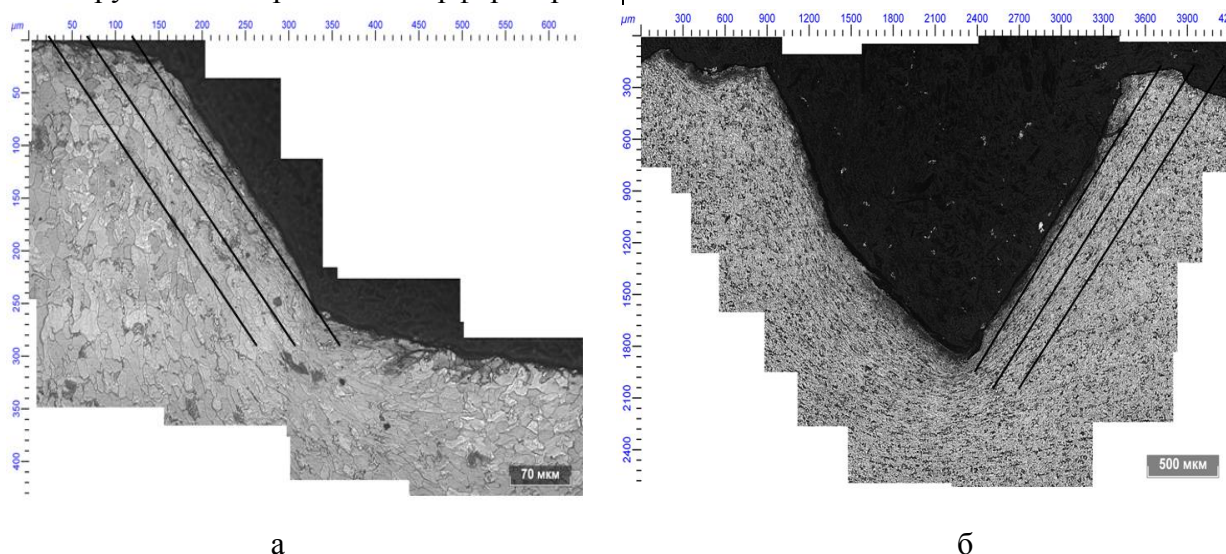


Рисунок 4 Схема замера микротвердости на образцах обработанных зубилом (а) и твердым сплавом (б)

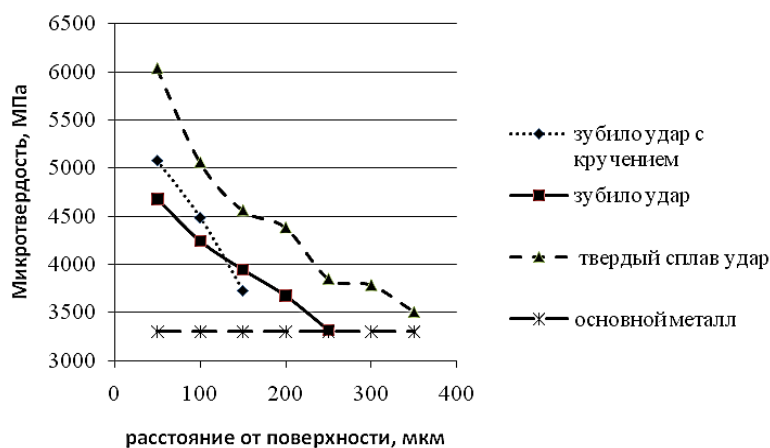


Рисунок 5 Распределение микротвердости в стали марки 20, деформированной различными способами

РЭМ анализ показал, что во всех случаях в микроструктуре поверхностного слоя происходит формирование волокнистой структуры, состоящей из вытянутых зерен феррита, которые ориентированы перпендикулярно оси образца (рисунок 6, а). Толщина волокна меняется от 0,13 мкм до 0,23 мкм, что свидетельствует о большой степени деформации. Помимо образования волокнистой структуры, развиваются процессы фрагментации в ней. Кроме того, происходит вытягивание перлитных участков и деформация и дробление цементитных пластин в них (рисунок 6, б).

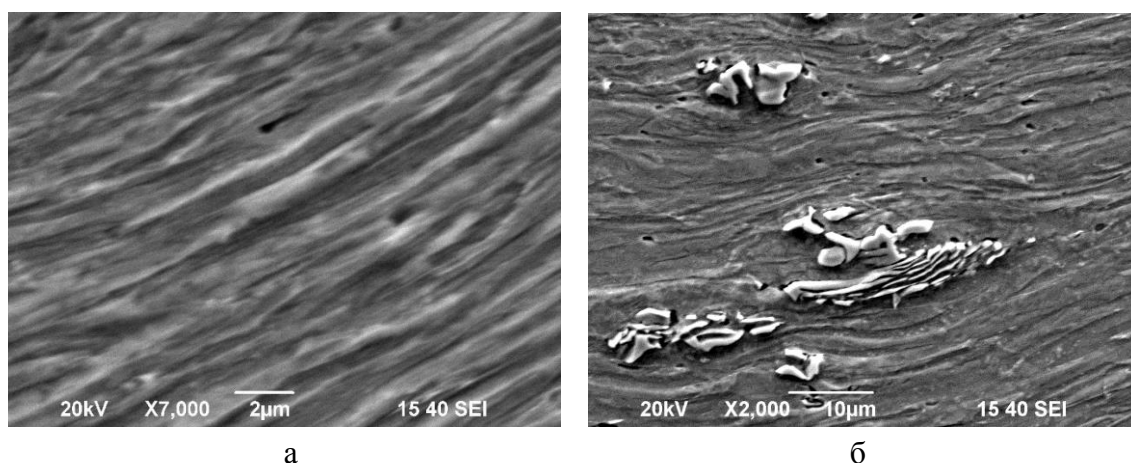


Рисунок 6 Волокнистая структура поверхностного слоя образца стали марки 20 деформированной ударом твердым сплавом (а); деформация перлитных участков (б)

Заключение

Комбинированная обработка накаткой с последующим фрикционным нанесением функционального покрытия гибким инструментом позволяет увеличить диаметр изношенной детали, получить ультрамелкозернистую структуру в поверхностном слое за счет ИПД. Функциональные покрытия различного назначения могут наноситься из чистых металлов и сплавов, композитных материалов, в том числе нанокompозиционных.

Результаты исследования показали, что методом ударно-фрикционной обработки гибким инструментом возможно получение твердого, наноструктурированного поверхностного слоя. Ударно-фрикционная обработка секционными ВПЩ может быть использована для упрочнения деталей и инструмента. Нанесение функциональных покрытий может дополнительно повысить износостойкость и другие служебные характеристики.

Исследование показало, что при использовании перфоратора, даже с небольшой энергией удара 3,5 Дж, позволяет весьма эффективно упрочнять поверхностный слой. Максимальное упрочнение стали 20 достигало 83%, глубина упрочненного слоя до 350 мкм. В поверхностном слое происходит формирование волокнистой структуры с толщиной волокон от 0,13 мкм до 0,23 мкм и развиваются процессы фрагментации. Наибольшее упрочнение, как по уровню твердости и по глубине упрочненного слоя, так и по измельчению микроструктуры достигается деформацией ударом бойка с наконечником из твердого сплава.

Обработка бойками может быть использована для упрочнения галтелей, шпоночных пазов, сварных швов, наклепа с рифлением и др. операций. Рассмотренный вариант динамического наклепа имеет свою технологическую нишу и его практическое применение требует научно-исследовательской подготовки.

Рассмотренные методы восстановления и упрочнения деталей не требуют дорогостоящего оборудования, и могут быть реализованы на обычных металлообрабатывающих станках.

Библиографический список

- Белевский Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом. - Магнитогорск: Лицей РАН, 1996.
- Анцупов В.П. Теория и практика плакирования гибким инструментом. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 1999.
- Завалишин А.Н., Смирнов О.М., Тулупов С.А. Модификация поверхности металлических изделий с использованием покрытий. М.: Орбита-М, 2012.
- Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю. Модификация поверхности и восстановление деталей фрикционной комбинированной обработкой // Ремонт, восстановление, модернизация, 2014 г., №4, С. 20-23.
- Хворостухин Л.А., Шишкин С.В., Ковалев А.П., Ишмаков Р.А. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением. М.: Машиностроение, 1988. 144 с.
- Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю. Восстановление размеров и формы деталей комбинированной обработкой // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». 2013. № 2. С. 50-52.
- Лякишев Н.П., Алымов М.И. Наноматериалы конструкционного назначения // Российские технологии. 2006. Т. 1-2. С. 71-81.
- Макаров А.В., Коршунов Л.Г. Прочность и износостойкость нанокристаллических структур поверхностей трения сталей с мартенситной основой // Изв. ВУЗов. Физика. 2004. № 8. С. 65-80.
- Чукин М.В., Корчунов А.Г., Голубчик Э.М., Полякова М.А., Гулин А.Е. Анализ метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки с использованием концепции технологического наследования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». 2012. № 4. С. 61.
- Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю., Копцева Н.В. Ударно-фрикционная комбинированная обработка гибким инструментом. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». - 2014. - № 4. - С. 53-57.
- Огарков Н.Н., Агарышева А.Г., Шаронов А.В. Обработка поверхностного слоя прокатных валков индентором с наложением ультразвука / Пути развития машиностроительного комплекса "ММК". Сб. научн. тр. под ред. Гостева А.А.-Магнитогорск: ПМП.- "Мини Тип".-1996.-Вып 2.-С. 184-189
- Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е., Савина Н.М. Усталость крупных деталей машин. - М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.