

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И НАДЕЖНОСТИ МАШИН

УДК 621.81-192:630*3

СУРУС Анатолий Иванович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСМИССИИ ЛЕСОВОЗНЫХ МАШИН
КАРБОНИТРИРОВАНИЕМ В РАСПЛАВАХ, АКТИВИРОВАННЫХ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ**

05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2003

Работа выполнена в Учреждении образования “Белорусский государственный технологический университет” (УО БГТУ)

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
И. Г. Довгялло

Научный консультант кандидат технических наук, доцент
С. Е. Бельский, заведующий
кафедрой деталей машин и ПТУ
УО “Белорусский государственный
технологический университет”

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
А.А. Шипко, заведующий отделом
Института механики и надежности
машин НАН Беларуси;

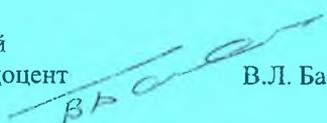
кандидат технических наук, доцент
Симанович В.А., доцент кафедры
лесных машин и технологии
лесозаготовок УО “Белорусский
государственный технологический
университет”

Оппонирующая организация Республиканское унитарное
предприятие “Минский
автомобильный завод”

Защита диссертации состоится “ _____ ” 2003 г.
в _____ часов на заседании специализированного совета Д 01.15.01
Института механики и надежности машин НАН Беларуси по адресу:
220072, г. Минск, ул. Академическая, 12, тел./факс: (017)284-29-10

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
механики и надежности машин НАН Беларуси.

Автореферат разослан “ _____ ” 2003 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент
 В.Л. Басинюк

© Учреждение образования “Белорусский государственный
технологический университет”, 2003

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Проблема повышения надежности лесных машин, в т.ч. лесотранспортных, для Республики Беларусь является актуальной прежде всего потому, что преимущественное большинство такой техники в республике серийно не выпускается и обновление парка таких машин в современных условиях связано с большими дополнительными затратами. Существующие лесовозные машины на базе МАЗ являются модификацией семейства машин, серийно выпускаемых в республике для другого функционального назначения и во многом не отвечающих требованиям, предъявляемым к машинам, предназначенным для эксплуатации в лесу и перевозки лесных грузов.

В связи с этим исследования, связанные с адаптацией подобных машин к специальным условиям эксплуатации, характеризующим спецификой грузов, особыми дорожными условиями и связанными с ними режимами работы, являются актуальными.

Большим резервом повышения надежности машин является улучшение эксплуатационных свойств материалов деталей, отвечающих требованиям конкретных условий работы. Опытom эксплуатации и результатами многочисленных исследований доказано, что в силу особенностей распределения напряжений в деталях в большинстве случаев определяющими являются свойства их поверхностных слоев. Одним из путей повышения качества поверхностей деталей является применение методов химико-термической обработки, которые позволяют влиять на широкий спектр эксплуатационных свойств материалов, оставаясь наиболее простыми и относительно дешевыми.

Однако, учитывая особые условия эксплуатации лесных машин, известные методы не всегда дают возможность в достаточной мере достигнуть желаемых результатов. В связи с этим актуальной является задача разработки новых и усовершенствование существующих методов химико-термической обработки применительно к конкретным условиям, позволяющим получить положительные результаты.

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Диссертация является самостоятельной частью исследований, проводимых в соответствии с научным направлением кафедры деталей машин и ПТУ БГТУ, координационными планами важнейших научно-исследовательских работ в области естественных, технических и общественных наук по Республике Беларусь на 1991–1999 гг., Республиканскими научно-техническими программами "Машиностроение" (задание 06.08), "Номотех» (задание 128) на 1991–1995 гг., "Металлургия" (задание 03.06) на 1999–2000 гг. и договорами о совместных исследованиях с рядом организаций и предприятий: ОАО "Плещеницлес" и ОАО "Бобруйский ремонтно-механический завод".

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является увеличение долговечности наиболее ответственных деталей



1620 ар

трансмиссии лесовозных автомобилей-тягачей путем разработки и применения эффективного способа их поверхностного упрочнения.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

проанализировать условия работы и причины отказов наиболее ответственных деталей трансмиссии лесовозных машин;

изучить возможные пути повышения эксплуатационных характеристик рассматриваемых деталей и определить методы достижения поставленной цели;

исследовать возможность использования энергии высокочастотных механических колебаний для интенсификации процессов поверхностного упрочнения;

разработать экспериментальное оборудование для исследования влияния высокочастотных механических колебаний на процессы диффузионного упрочнения материалов в жидких насыщающих средах;

исследовать влияние параметров высокочастотных механических колебаний на структуру и свойства поверхностного слоя упрочняемых металлов;

исследовать возможность эффективного упрочнения труднодоступных поверхностей геометрически сложных форм;

исследовать физическую природу влияния энергии механических колебаний на процессы, происходящие в насыщающей среде, и упрочнение труднодоступных поверхностей;

разработать эффективный способ поверхностного упрочнения деталей трансмиссии с целью повышения их износо-, и коррозионной стойкости, а также циклической прочности.

Объект и предмет исследования. Объектом и предметом исследования явились детали трансмиссии лесовозного автомобиля-тягача МАЗ и метод их поверхностного упрочнения химико-термической обработкой с использованием энергии высокочастотных механических колебаний с целью повышения их долговечности, износостойкости, коррозионной стойкости и эксплуатационной надежности автомобиля в целом.

Методология и методы проведенного исследования. Применяемая автором методология повышения надежности лесовозных машин предусматривает анализ условий эксплуатации и их влияние на долговечность отдельных деталей, разработку и применение метода их поверхностного упрочнения с целью повышения надежности по критериям усталостной прочности, износо- и коррозионной стойкости и проверку полученных результатов путем опытно-промышленных испытаний наиболее повреждаемых деталей трансмиссии лесовозного автомобиля-тягача МАЗ.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Проведена оценка влияния условий эксплуатации лесовозного автомобиля-тягача МАЗ на характер нагружения и долговечность ряда деталей трансмиссии, показана целесообразность их дополнительного поверхностного упрочнения.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования возможности использования высокочастотных механических колебаний для интенсификации и усовершенствования процессов поверхностного упрочнения деталей химико-термической обработкой.

Впервые в сопоставимых условиях проведены комплексные исследования влияния амплитудно-частотных параметров знакопеременных механических колебаний, используемых при упрочнении, на различные стадии процесса, структуру и свойства поверхностных слоев ряда конструкционных сталей.

Впервые показана возможность упрочнения труднодоступных поверхностей геометрически сложных деталей модифицированным методом и получены положительные результаты.

Впервые установлена физическая сущность влияния высокочастотных механических колебаний на процессы, происходящие в расплавах солей, используемых при упрочнении, характеристики поверхностных слоев и упрочнение труднодоступных поверхностей деталей. Исследован характер разрушения контрольных и упрочненных предлагаемым методом поверхностных слоев конкретных деталей трансмиссии лесовоза при эксплуатации в условиях лесных дорог.

Научная значимость полученных результатов состоит в том, что они существенно дополняют имеющиеся возможности в области использования высокочастотных механических колебаний в различных процессах, расширяют области химико-термической обработки в жидких средах, углубляют понимание физической сущности механизмов и явлений, происходящих при упрочнении, позволяют усовершенствовать методы управления последними.

На основании проведенных исследований предложен новый эффективный метод поверхностного упрочнения деталей машин с использованием энергии высокочастотных механических колебаний, позволяющий существенно увеличивать их долговечность и использовать в ряде случаев более дешевые конструкционные материалы.

Практическая значимость полученных результатов. Разработанное экспериментальное оборудование и методики расчета его основных деталей могут быть использованы для дальнейших исследований по применению знакопеременных высокочастотных механических колебаний в различных процессах химико-термической обработки и для создания соответствующего промышленного оборудования. Анализ условий работы и причин потери работоспособности деталей трансмиссии лесовозного автомобиля-тягача МАЗ, полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований по использованию энергии высокочастотных механических колебаний в технологических процессах химико-термической обработки позволили предложить новый эффективный метод их поверхностного упрочнения с целью повышения эксплуатационной надежности последнего.

Опытно-промышленная апробация технологического процесса и испытания упрочненных деталей проведены на базе лаборатории кафедры

ДМ и ПТУ БГТУ, ОАП "Бобруйский ремонтно-механический завод" и ОАО "Плещеницлес" Республики Беларусь. Внедрение результатов работы в период с 1998 по 2002 гг. позволило получить экономический эффект в сумме 13872 тыс.руб.(в ценах на 2002 г.) с долевым участием автора 9710 тыс.руб.

Результаты данной работы могут быть использованы в других областях общего и специального машиностроения, на ремонтных предприятиях, где актуальными являются вопросы повышения циклической прочности, износо- и коррозионной стойкости, упрочнения труднодоступных участков поверхностей деталей машин.

В частности, предлагаемый метод упрочнения может быть успешно применен для ряда прецизионных деталей в качестве финишного, а также для деталей пар трения и подверженных коррозии в атмосферных условиях, режущих инструментов (сверл, протяжек и т.д.), деталей, имеющих внутренние поверхности, труднодоступные для упрочнения другими методами (отверстия глухие и сквозные с большим отношением длины к диаметру, глубокие впадины, резкие переходы и т.д.).

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Разработанный комплекс оригинального экспериментального оборудования с приборным обеспечением для исследования и реализации нового метода поверхностного упрочнения с использованием высокочастотных механических колебаний с различными параметрами; результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния температурно-временных и амплитудно-частотных параметров процесса упрочнения на структуру и свойства поверхностных слоев конструкционных сталей; предложенный механизм влияния колебаний на физико-химические процессы в расплавах солей; обеспечение возможности упрочнения труднодоступных поверхностей деталей; результаты исследований влияния параметров процесса на комплекс эксплуатационных характеристик упрочняемых поверхностей и опытно-промышленных испытаний деталей трансмиссии лесовозного автомобиля-тягача МАЗ-509А.

Личный вклад соискателя. Соискателем проведены основные теоретические и экспериментальные исследования по изучению влияния условий эксплуатации лесовозного автомобиля-тягача МАЗ на нагруженность и долговечность деталей трансмиссии. Обоснован предложенный метод повышения эксплуатационной надежности автомобиля путем поверхностного упрочнения деталей трансмиссии с использованием энергии высокочастотных механических колебаний.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния высокочастотных механических колебаний на структуру, свойства поверхностных слоев и эксплуатационную надежность деталей трансмиссии, что позволило разработать новый эффективный метод повышения их долговечности и эксплуатационной надежности машины в целом.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы докладывались на: 6-й Всесоюзной конференции по ультразвуковым методам интенсификации технологических процессов (г.

Москва, 1987 г.), Международной конференции “Ультразвук в технологии машиностроения-91” (г.Архангельск, 1991 г.), Международной конференции “Износ машин” (г.Брянск, 1993 г.), Международной конференции “Колебания и волны в экологии, технологических процессах и диагностике” (г. Минск, 1993 г.), 3-й Республиканской НТК “Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин” (г. Новополоцк, 1997 г.) Международной НТК “Современные направления развития производственных технологий и робототехника” (г. Могилев, 1999 г.).

Опубликованность результатов. По результатам исследований опубликовано 17 статей, 10 тезисов докладов, 1 авторское свидетельство.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5-ти глав, заключения, списка использованных источников из 158 наименований и 4 приложений. Работа изложена на 152 страницах, включая 44 иллюстрации и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит общую характеристику состояния исследований и краткое обоснование актуальности темы диссертации.

В первой главе приведен обзор литературы, посвященный анализу влияния условий эксплуатации на динамическую нагруженность и надежность автотранспортных машин лесного комплекса, а также основных причин выхода из строя деталей их трансмиссии. Показано, что эксплуатационные свойства и долговечность лимитирующих деталей определяются качеством поверхностного слоя.

На основе анализа основных известных методов поверхностного упрочнения стальных изделий сделан вывод о целесообразности использования для обработки ряда деталей трансмиссии низкотемпературной карбонитрации в расплаве азотсодержащих солей. Дополнительное применение энергии механических колебаний обеспечивает существенную интенсификацию такого процесса. Однако до настоящего времени отсутствовала информация о влиянии параметров обработки на физическую сущность процессов в расплаве, кинетику диффузии азота, качество упрочненного слоя и его эксплуатационные характеристики, что не позволяло оптимизировать технологию поверхностного упрочнения быстроизнашивающихся деталей лесных машин.

На основании анализа современного состояния вопроса сформулированы цель и задачи работы.

Во второй главе приведены сведения о созданном испытательном оборудовании и приборном обеспечении, описаны методики проведения экспериментальных исследований, дана информация о расчетах и конструировании элементов механических колебательных систем и применяемых материалах.

Для исследований разработан и создан оригинальный экспериментальный комплекс (рис.1), позволяющий проводить

поверхностное упрочнение образцов и деталей при различных температурно-временных режимах по трем схемам: без использования энергии колебаний, т.е. в обычных условиях (I схема); с возбуждением высокочастотных механических колебаний в расплаве (II схема) и с возбуждением колебаний непосредственно в упрочняемом элементе (III схема).

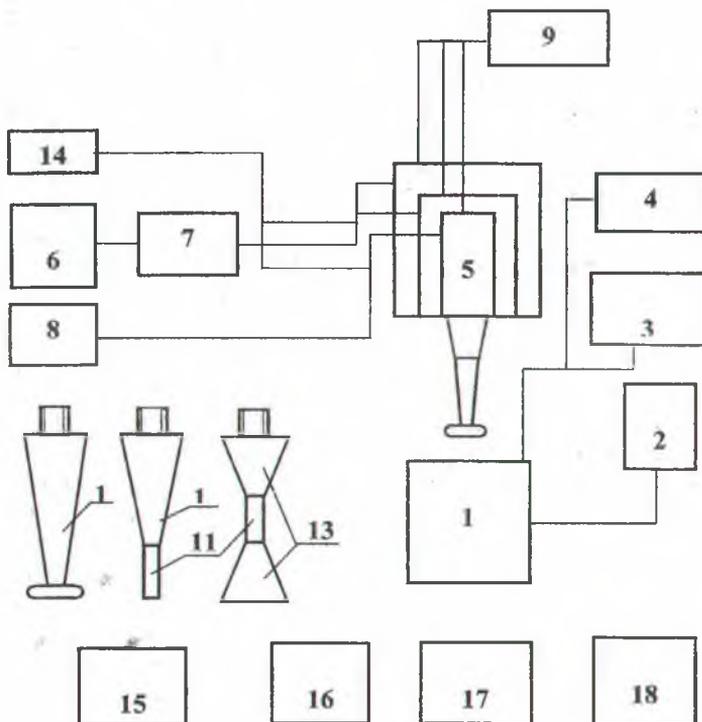


Рис.1. Блок-схема комплекса для исследования влияния амплитудно-частотных параметров механических колебаний и температурно-временных характеристик на диффузионные процессы при поверхностном упрочнении: 1 – печь-ванна; 2 – регулятор напряжения; 3 – потенциометр; 4 – милливольтметр; 5 – магнитострикционный преобразователь; 6 – генератор сигналов; 7 – усилитель; 8 – ультразвуковой генератор; 9 – блок питания обмоток подмагничивания; 10,12 – волноводы; 11 – образец; 13 – согласующие элементы; 14 – частотомер; 15,16,18 – ванны обезжиривания, промывки и нейтрализации соответственно; 17 – электропечь

При упрочнении, проводимом по II и III схемам, предусмотрена возможность создания механических колебаний с различными частотами (3, 10 и 18 кГц) и амплитудами колебаний. Проведены детальные исследования

влияния температурно-временных режимов процесса и амплитудно-частотных параметров механических колебаний на результаты упрочнения.

При проведении исследований по II схеме для возбуждения в расплаве колебаний различной частоты и интенсивности были рассчитаны и изготовлены волноводы грибового типа с преобразованием направления колебаний, условно разделяемые на три части: первая представляет собой конический стержень, вторая (центральная часть) – цилиндр и третья – коническую оболочку переменной толщины. Для определения резонансных размеров составного волновода при заданной частоте находились уравнения изгибных колебаний конической оболочки переменной толщины в случае, когда угол полураствора конуса $\frac{2\pi}{3} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ и направления возбуждения

колебаний совпадают с осью оболочки. Для экспериментальной проверки правильности расчета было изготовлено несколько волноводов, размеры которых определены по разработанной методике из условия настройки на различную частоту колебаний.

При осуществлении упрочнения по III схеме для возбуждения колебаний непосредственно в образце последний изготавливался по условию обеспечения резонансных размеров для частоты 18 кГц, а для частоты 3 кГц с ним жестко соединялись дополнительные согласующие элементы катеноидальной формы. Образцы представляли собой волноводы трубчатого сечения, состоящие из трех цилиндрических и гиперболической ступеней.

При исследованиях по II и III схемам обработка проводилась с частотой колебаний 3 и 18 кГц при одинаковой интенсивности колебаний, что достигалось заданием соответствующих амплитуд для резонансных частот, определяемых расчетом. В качестве приближенной оценки интенсивности колебаний I на различной частоте использовано выражение для плоской синусоидальной волны:

$$I = \frac{(2\pi f A)^2 \rho c}{2},$$

где f – частота колебаний;

A – амплитуда смещения излучающей поверхности;

ρ – плотность расплава;

c – скорость звука в расплаве.

Процесс упрочнения включал в себя последовательно выполняемые операции: обезжиривание деталей в растворе 20–25 г/л Na_2CO_3 , 40–45 г/л Na_3PO_4 при температуре 353–363°K в течение 10–15 минут; струйную промывку их в воде при температуре 333–353°K в течение 10–15 минут; сушку и предварительный подогрев до 573°K; выдержку в насыщающем расплаве при исследуемых температурно-временных режимах и амплитудно-частотных параметрах механических колебаний (в зависимости от задач исследований и используемой схемы); охлаждение в воде или на воздухе; промывку в ванне нейтрализации и в чистой воде с последующей сушкой на

воздухе. Температура расплава изменялась в пределах 823–843°К. Время упрочнения образцов в расплаве составляло от 5–10 минут до 5 часов.

Обработке подвергались образцы из сталей 45, 40Х, 30ХГС, 65Г, 38ХМЮА, прошедшие предварительное улучшение.

Выбор сталей для исследований определялся, в основном, их широким использованием в различных отраслях машиностроения, в т.ч. автотракторном, для изготовления деталей и элементов конструкций, работающих в условиях умеренных вибрационных нагрузок и возможной перспективой замены ими, при условии соответствующего упрочнения, других более дорогостоящих и дефицитных материалов.

Изучение микроструктуры осуществлялось на металлографическом микроскопе ММР-2. Глубина диффузионного слоя определялась по распределению микротвердости, определенной на приборе ПМТ-3М по толщине образца, а также послойным анализом материала на содержание азота по методу Кельдаля. Уровень микронапряжений определялся на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.

Для исследования износостойкости использовалась специально разработанная экспериментальная установка, обеспечивающая моделирование достаточно широкого диапазона скоростей, давлений и температур при возвратно-поступательном движении трущихся поверхностей с целью создания условий для развития механизмов износа, характерных для эксплуатации деталей трансмиссии автомобиля. Изношенные поверхности изучались на сканирующем электронном микроскопе.

Для оценки влияния технологических параметров процесса поверхностного упрочнения на характеристики циклической прочности исследуемых моделей проводились усталостные испытания в широком диапазоне частот по методикам и на оборудовании, разработанным в БГТУ.

Третья глава содержит результаты экспериментальных исследований влияния технологических параметров карбонитрирования с использованием энергии механических колебаний на характеристики, структуру и эксплуатационные свойства упрочненного слоя.

Поскольку толщина и твердость поверхностного слоя в значительной степени определяют эксплуатационные качества обработанных поверхностей, проведено изучение кинетики роста слоев и их свойств в зависимости от схемы процесса, его температурно-временных параметров, частоты и интенсивности применяемых колебаний.

Проведение упрочнения по II схеме обеспечило повышение твердости во всем исследованном временном диапазоне (рис.2). Величина прироста твердости зависит как от схемы ввода колебаний, так и от их частоты. Применение колебаний, особенно при вводе их в расплав, снижает негативное влияние превышения оптимального времени процесса насыщения. Твердость исследуемых сталей с использованием колебаний возрастает примерно в равной степени, однако частота 18 кГц оказывается более эффективной по сравнению с 3 кГц.

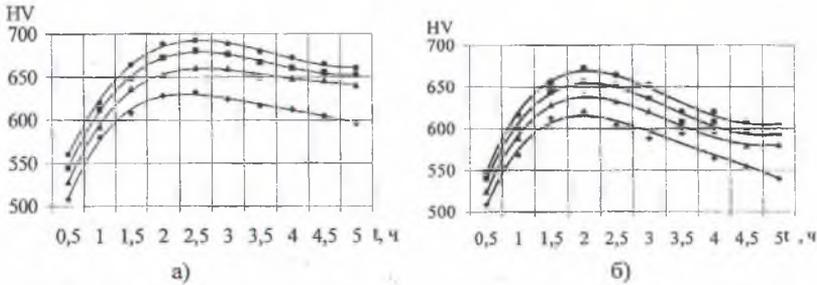


Рис.2. Влияние времени, схемы упрочнения и частоты колебаний на поверхностную твердость стали 40X (а) и стали 30XГТ (б) при температуре обработки 843° К: ● - с вводом колебаний в образец (18 кГц); ■ - с вводом колебаний в расплав (18 кГц); ▲ - с вводом в расплав (3 кГц); ◆ - без использования колебаний

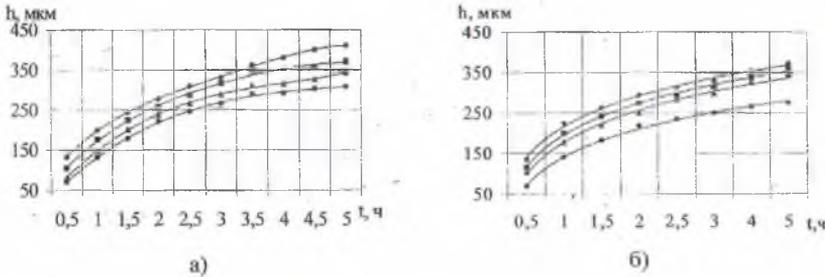


Рис. 3. Влияние времени упрочнения, частоты колебаний и схемы обработки при температуре 843°К на толщину диффузионного слоя стали 45 (а) и стали 40X (б): ● - обработка по схеме I; ■ - по II схеме (18 кГц); ▲ - по II схеме (3 кГц); ◆ - по III схеме (18 кГц)

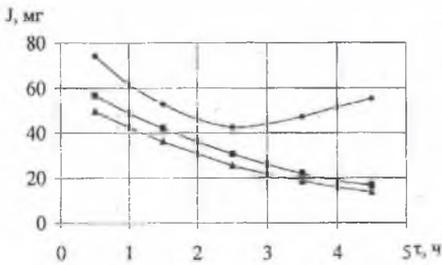


Рис. 4. Зависимость величины износа образцов из стали 40X от времени, упрочненных: ◆ - без колебаний; ■, ▲ - с использованием колебаний 3 и 18 кГц соответственно

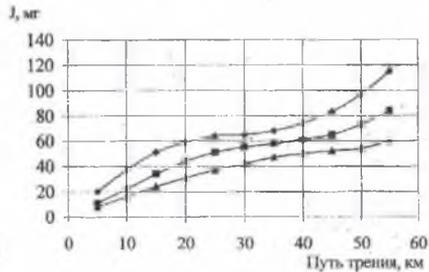


Рис. 5. Потеря массы при износных испытаниях образцов из стали 40X, упрочненных: ◆ - в обычных условиях; ■ - с частотой 3 кГц; ▲ - с частотой 18 кГц.

Применение колебаний как по II, так и по III схеме способствовало повышению толщины упрочненного слоя на всех исследуемых сталях (рис.3), причем максимальный эффект достигается при использовании частоты 18 кГц. На основании выполненных исследований установлены оптимальные параметры процесса упрочнения исследуемых сталей.

Анализ условий эксплуатации деталей лесных машин, работающих в условиях интенсивного изнашивания, показал, что многие из них имеют труднодоступные поверхности, упрочнение которых обычно применяемыми методами затруднено.

Моделирование таких поверхностей реализовано на серии образцов с глухими и сквозными отверстиями различных диаметров. Установлено, что применение колебаний позволяет получить упрочненные слои даже в глухих отверстиях диаметром 4–5 мм и глубиной до 80 мм, что существенно расширяет возможную номенклатуру обрабатываемых деталей.

Анализ микроструктур показал, что поверхностные слои исследуемых сталей, подвергнутых упрочнению по всем рассматриваемым схемам, состоят из двух зон. На поверхности образуется тонкий белый нетравящийся слой, содержащий нитрокарбиды $Fe_3(N,C)$. Под ним находится основной диффузионный слой, представляющий собой твердый раствор азота в феррите. Использование знакопеременных колебаний обеспечило повышение, наряду с общей толщиной, микротвердости диффузионного слоя и плотности нитрокарбидного слоя, что создает предпосылки для обеспечения повышенной износостойкости в условиях статических и динамических нагрузок.

Рекомендованные в работе режимы диффузионного насыщения обеспечили существенное повышение усталостной долговечности, что объясняется благоприятными микроструктурой и уровнем напряженного состояния поверхностного слоя.

Проведение износных испытаний по режимам, моделирующим условия работы тяжелонагруженных деталей лесных машин, и построение кинетических кривых износа (рис.4, 5) в сочетании с электронно-микроскопическими исследованиями позволили выявить преобладающие механизмы разрушения поверхности при использовании различных схем упрочнения. Показано, что рекомендуемые в работе режимы упрочнения обеспечивают наименее агрессивный, преимущественно окислительно-абразивный характер изнашивания, что существенно повышает эксплуатационную надежность упрочняемых деталей.

Проведение низкотемпературного карбонитрирования приводит к весьма незначительному повышению шероховатости и приросту линейных размеров моделей, что с учетом отсутствия поводок деталей позволяет рекомендовать данный процесс упрочнения в качестве финишного при изготовлении и ремонте деталей машин. Отмечена хорошая защита упрочненных поверхностей от коррозии в различных средах, что позволяет использовать данный процесс для упрочнения деталей открытых передач, характерных для лесных машин.

Создан новый состав [28] для восстановления изношенных деталей изделий, обеспечивающий за счет прироста размеров возобновление работоспособности ряда прецизионных деталей.

В четвертой главе проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния энергии механических колебаний на химический состав расплава, используемого для упрочнения и его насыщающей способности. С этой целью проанализированы современные представления о химизме процессов в расплаве исследуемых азотсодержащих солей, дополнительно исследовано влияние колебаний на кинетику химических реакций и интенсивность образования диффундирующих элементов (азота и углерода) и получено косвенное подтверждение этому путем исследования распределения азота в диффузионных слоях.

Рассмотрено влияние параметров колебаний на процессы кавитации в расплаве. На основании теоретического анализа и проведенных экспериментов показано, что при использовании колебаний с частотой 18 кГц резонансные пузырьки имеют значительно меньшие размеры по сравнению с использованием 3 кГц и захлопываются внутри расплава, что способствует активному перемешиванию расплава и контакту новых его порций с кислородом у поверхности. Соответственно увеличивается содержание активного азота и углерода в расплаве, а следовательно, и концентрация диффундирующих элементов у поверхности упрочняемых деталей. Во многом благодаря этому интенсифицируется диффузия легирующих элементов, а следовательно, увеличиваются глубина и твердость слоя, что и показали исследования, приведенные в главе 3.

На основании анализа микропотоков в расплаве и механизма кавитации с захлопыванием пузырьков и образованием направленных потоков расплава (микроструек) предложена теоретическая модель, описывающая процесс упрочнения труднодоступных участков поверхностей деталей.

Для объяснения механизма воздействия знакопеременных колебаний на образование и свойства упрочненного слоя рассмотрено влияние амплитудно-частотных параметров и схемы введения колебаний на распределение азота и углерода в поверхностных слоях и диффузионные процессы в стали. Кривые распределения содержания азота по глубине поверхностного слоя, построенные для исследуемых сталей, хорошо коррелируют с результатами распределения микротвердости.

Для теоретической оценки содержания азота по глубине упрочняемого слоя в заданные моменты времени была использована модель, описывающая диффузию из постоянного источника в полубесконечное тело. За основу было взято уравнение Фика для одномерной объемной диффузии в изотропном материале. Сопоставление рассчитанных коэффициентов диффузии при различных амплитудно-частотных параметрах процесса выявило хорошую корреляцию их с результатами экспериментального определения содержания азота и углерода в поверхностном слое образцов.

В пятой главе описана практическая реализация процесса поверхностного упрочнения ответственных деталей трансмиссии (валов) лесовозного автомобиля.

С использованием результатов исследований данной работы определены технологические параметры процесса упрочнения конкретных деталей трансмиссии, изготовленных из различных сталей, найдены основные характеристики упрочненного слоя, обеспечивающие необходимый ресурс деталей при пробеге 140 тыс.км.

После эксплуатации автомобилей-лесовозов МАЗ, имеющих детали трансмиссии, обработанные по рекомендуемой технологии и контрольные (без обработки), проведен анализ состояния деталей, изучены механизмы их износа и разрушения.

Предложенная технология обеспечивает снижение вероятности аварийного выхода деталей из строя и изменяет механизм протекания изнашивания на менее интенсивный, что с учетом полученной оптимальной толщины и твердости поверхностного слоя гарантирует повышение межремонтного периода ряда узлов трансмиссии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам теоретических и экспериментальных исследований получены следующие основные результаты:

1. На основе анализа условий работы лесовозных автомобилей и основных причин выхода их из строя показано существенное отличие условий их работы в сравнении с аналогичными машинами другого функционального назначения, что вызывает ускоренную потерю работоспособности ответственных деталей трансмиссии. Обоснована целесообразность применения для этих деталей упрочнения методами химико-термической обработки в расплавах, активированных высокочастотными колебаниями [4,8,11,27].

2. Разработаны методика расчета и конструкции колебательных систем; создан комплекс экспериментального оборудования для исследования и реализации нового технологического процесса поверхностного упрочнения – карбонитрирования с наложением высокочастотных колебаний, позволяющего осуществлять техпроцесс по трем схемам с различными амплитудно-частотными параметрами [21,23].

3. Впервые исследовано влияние параметров высокочастотных механических колебаний на структуру и свойства упрочненного карбонитрированием поверхностного слоя образцов из различных марок сталей. Установлено, что механические колебания способствуют повышению толщины в 1,3–1,4 раза и поверхностной твердости упрочненных слоев всех исследованных сталей на 20–40 HV в зависимости от содержания в них легирующих элементов. Установлен механизм влияния колебаний на физико-химические процессы в расплавах. Показано, что использование высокочастотных механических колебаний приводит к увеличению содержания активного азота в насыщающей среде, способствуя интенсификации процесса диффузии и увеличению срока службы ванны [6,13,14,15,18].

4. Впервые установлена возможность эффективного диффузионного насыщения труднодоступных поверхностей деталей, раскрыты механизм и физические основы влияния механических колебаний на процесс упрочнения, что существенно расширяет номенклатуру упрочняемых изделий [2,3,7,12].

5. В результате проведенных исследований установлены зависимости эксплуатационных характеристик упрочненных слоев рабочих поверхностей от технологических параметров процесса упрочнения. С учетом полученных результатов предложены технологические параметры обработки деталей, позволяющие существенно повысить их износостойкость (в 1,5–1,9 раза), а также усталостную долговечность и коррозионную стойкость. Применение разработанного процесса упрочнения существенно изменяет характер разрушения поверхностных слоев рабочих поверхностей, обеспечивая преобладание наименее интенсивных видов износа [1,4,8,10,11,16].

Разработан состав насыщающей среды, позволяющий за счет прироста размеров восстанавливать работоспособность ряда точных деталей (шпонок, клапанов, цилиндров и др.) [28].

6. Результаты работы опробованы на Бобруйском ремонтно-механическом заводе и в ОАО "Плещеницлес". Проведено упрочнение опытных валов трансмиссии лесовозного автомобиля, выполнены их эксплуатационные испытания. Показано, что реализация разработанного процесса упрочнения обеспечивает значительный прирост эксплуатационного ресурса упрочненных деталей за счет снижения их износа в 1,5–1,9 раза и существенного снижения усталостных повреждений. Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 13 872 тыс.рублей (приложение 1).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в научных и научно-технических журналах

1. 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, Мн. – №2. – С.124–127.

Статьи и доклады в сборниках научных трудов и материалов научно-технических конференций

2. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние высокочастотных механических колебаний на процесс упрочнения труднодоступных поверхностей деталей тракторов и автомобилей // *Сб. «Технология и оборудование заготовок и переработки древесины»*. – Мн., выш. школа, 1991. – С.13-15.

3. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Интенсификация процесса упрочнения сложных поверхностей при карбонитрации // Всесоюзная НТК ЦПВНТОМ. – М., 1991. – С. 58-59.
4. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Использование низкотемпературной карбонитрации для повышения долговечности деталей машин и технологической оснастки // Сб.трудов высшей школы Республики Куба. – Гавана, 1991. – С. 75-78.
5. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Повышение износостойкости при динамическом нагружении конструкционных сталей после жидкостного азотирования, интенсифицированного ультразвуком // Международная конф. «Износ машин». – Брянск, 1993. – С. 41-42.
6. Сурус А.И., Урбанек Ж.М., Ольшевская А.И. Влияние частоты механических колебаний на содержание компонентов в расплаве азотсодержащих солей и диффузию азота в сталь при ХТО // Труды БГТУ. Вып. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – Мн., 1994. – С. 158-161.
7. Сурус А.И. О физической сущности влияния высокочастотных колебаний на упрочнение труднодоступных поверхностей деталей машин // Труды БГТУ. Вып.5. Лесная и д/о промышленность. – Мн., 1997. – С. 109-111.
8. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Исследование износостойкости тяжелонагруженных деталей лесных машин, упрочненных низкотемпературной карбонитрацией // Труды БГТУ. Вып.5. Лесная и д/о промышленность. – Мн., 1997. – С. 63-66.
9. Довгялло И.Г., Сурус А.И. Влияние механических колебаний на процессы в расплаве азотсодержащих солей и диффузию азота в стали // III респ.НТК «Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин». – Новополоцк, 1997. – С. 101-103.
10. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние механических колебаний при жидкостном азотировании на кинетику и характер износа сложнонагруженных деталей машин // III респ.НТК «Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин». – Новополоцк, 1997. – С. 73-74.
11. Сурус А.И., Пыжик А.И., Боровский П.В. Повышение усталостной долговечности деталей лесных машин путем поверхностного упрочнения // Труды БГТУ. Вып.6. Лесная и д/о промышленность. – Мн., 1998. – С. 141-145.
12. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние механических колебаний на процесс упрочнения труднодоступных поверхностей деталей машин // Международная НТК «Современные направления развития производственных технологий и робототехника». – Могилев, 1999. – С.112-114.
13. Довгялло И.Г., Сурус А.И., Бельский С.Е. Влияние механических колебаний при низкотемпературном азотировании на характеристики упрочненного слоя // Труды БГТУ. Вып.7. Лесная и д/о промышленность. – Мн., 1999. – С. 153-158.

14. Довгялло И.Г., Каледин Б.А., Сурус А.И. Оптимизация температурно-временных параметров процесса диффузионного насыщения сталей 45, 65Г и 40Х // Труды БГТУ. Вып.8. Лесная и д/о промышленность. – Мн., 2000. – С.203-207.
15. Довгялло И.Г., Каледин Б.А., Сурус А.И. Влияние механических колебаний на качество диффузионного слоя при низкотемпературной карбонитрации // Труды БГТУ. Вып.8. Лесная и д/о промышленность. – Мн., 2000. – С.207-213.
16. Сурус А.И., Бельский С.Е., Дулевич А.Ф. Влияние параметров низкотемпературной карбонитрации на кинетику износа упрочненных поверхностей // Современные методы проектирования машин. Сб. трудов I Международной научно-практической конференции. – Мн., 2002. – С. 414-416.
17. Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние параметров процесса диффузионного упрочнения на шероховатость поверхности обрабатываемых деталей и стабильность их размеров // Труды БГТУ. Вып.10. Лесная и д/о промышленность. – Мн., 2002. – С.204-207.

Тезисы докладов

18. Пальчевский Б.Н., Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние ультразвука на интенсификацию химических реакций в расплаве азотсодержащих солей и повышение качества упрочненного слоя стали 38ХМЮА при жидкостном азотировании // VI-я Всесоюзн. конф. по УЗ-методам интенсификации техн. процессов: Тез. докл. – М., 1987. – С. 18.
19. Бельский С.Е., Вишневский В.Б., Сурус А.И. Повышение долговечности сложнонагруженных деталей машин методом поверхностного упрочнения с использованием энергии мощного ультразвука // НТК «Повышение технического уровня надежности и долговечности машин»: Тез. докл. – Мн., 1990. – С. 37.
20. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние ультразвука на упрочнение методом низкотемпературной карбонитрации труднодоступных поверхностей деталей машин // XXIX научная конф.: Тез. докл. – Улан-Удэ, 1990. – С. 53.
21. Довгялло И.Г., Долбин Н.А., Сурус А.И. Расчет волновода с преобразователем направления колебаний // НТК БТИ.: Тез. докл. – Мн., 1990. – С. 110.
22. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Разработка технологического процесса поверхностного упрочнения труднодоступных поверхностей деталей машин на базе использования энергии мощного ультразвука // НТК БТИ.: Тез. докл. – Мн., 1990. – С. 115.
23. Вишневский В.Б., Бельский С.Е., Сурус А.И. Создание испытательного комплекса для исследования влияния частоты механических колебаний на диффузионные процессы при поверхностном упрочнении // НТК БТИ.: Тез. докл. – Мн., 1990. – С. 119.

24. Довгялло И.Г., Дулевич А.Ф., Сурус А.И. Разработка технологического процесса насыщения азотом сложных поверхностей деталей машин и технологической оснастки // НТК «Современные техн. процессы восстановления изделий»: Тез. докл. – Новополоцк, 1991. – С. 67.
25. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние ультразвука на процесс упрочнения труднодоступных поверхностей деталей машин // Международн. конф. «Ультразвук в технологии машиностроения-91»: Тез. докл. – Архангельск, 1991. – С. 151.
26. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние ультразвука на процесс диффузионного упрочнения рабочих поверхностей деталей машин // НТК «Комплексные методы повышения надежности и долговечности деталей технологического оборудования»: Тез. докл. – Пенза, 1992. – С. 4-5.
27. Довгялло И.Г., Сурус А.И., Кувшинов Г.И., Бельский С.Е. Теоретические предпосылки к использованию знакопеременных напряжений широкого диапазона частот в технологических процессах поверхностного упрочнения стальных деталей // Международная конф. «Колебания и волны в экологии, технологических процессах и диагностике»: Тез. докл. – Мн., 1993. – С. 53

Патенты на изобретения и свидетельства на полезные модели

28. Состав для термического восстановления изношенных стальных изделий: А.с. 1696574 СССР, С 23 С 8/48 / И.Г.Довгялло, В.Б.Вишневский, С.Е.Бельский, А.И.Сурус; БТИ. – № 4764821; Опубл.07.12.1991, Бюл. № 45// ВНИИГПЭ. – М., 1991.

РЭЗІЮМЭ

Сурус Анатолій Іванавіч

ПАВЫШЭННЕ ЭФЕКТЫЎНАСЦІ ўЗМАЦНЕННЯ ДЭТАЛЯЎ ТРАНСМІСІІ ЛЕСАВОЗНЫХ МАШЫН КАРБАНІТРАВАННЕМ У РАСПЛАВАХ, АКТЫВІЗАВАННЫХ ВЫСОКАЧАСТОТНЫМІ ВАГАННЯМІ

Ключавыя словы: ваганні, даўгавечнасць, зносаўстойлівасць, лесавозныя машыны, тэхналогія ўзмацнення, частата.

Мэтай працы з'яўляецца павышэнне эфектыўнасці паверхневага ўзмацнення дэталей трансмісіі лесавозных машын на аснове выкарыстання высокачастотных механічных ваганняў у працэсе карбанітравання ў расплавах. Распрацаваны комплекс абсталявання і методыка для даследавання ўплыву параметраў механічных ваганняў на характарыстыкі і эксплуатацыйныя ўласцівасці ўзмацаваных паверхняў.

Навуковая навізна працы заключаецца ў атрыманні новых даных аб уплыве ампліудна-частотных параметраў механічных ваганняў на фізіка-хімічныя працэсы ў насычальных расплавах, на структуру і ўласцівасці ўзмоцненага слоя. Упершыню прапанаваны і апрабаваны механізм ўзмацнення цяжкадаступных паверхняў вырабаў у расплаве з выкарыстаннем ваганняў. Распрацаваны і эксперыментальна апрабаваны састаў насычальнага асяроддзя, які забяспечвае магчымасць аднаўлення працаздольнасці і адначасова ўзмацненне шэрагу дакладных дэталей.

Практычная значнасць працы заключаецца ў павелічэнні тэрміну службы дэталей трансмісіі аўтамабіляў-лесавозаў за кошт павелічэння зносаўстойлівасці і стомленаснай даўгавечнасці.

Вынікі працы апрабаваны ў рэальных умовах эксплуатацыі лесавозных аўтамабіляў МАЗ на прадпрыемствах канцэрна "Беллесбумпрам".

РЕЗЮМЕ

Сурус Анатолий Иванович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИИ ЛЕСОВОЗНЫХ МАШИН КАРБОНИТРИРОВАНИЕМ В РАСПЛАВАХ, АКТИВИРОВАННЫХ ВЫСОКАЧАСТОТНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Ключевые слова: колебания, долговечность, износостойкость, лесовозные машины, технология упрочнения, частота,

Целью работы является повышение эффективности поверхностного упрочнения деталей трансмиссии лесовозных машин на основе использования высокочастотных механических колебаний в процессе карбонитрирования в расплавах. Разработаны комплекс оборудования и методики для исследования влияния параметров механических колебаний на характеристики и эксплуатационные свойства упрочняемых поверхностей.

Научная новизна заключается в получении новых данных о влиянии амплитудно-частотных параметров механических колебаний на физико-химические процессы в насыщающих расплавах, структуру и свойства упрочненного слоя. Впервые предложен и апробирован механизм упрочнения труднодоступных поверхностей изделий в расплаве с использованием колебаний. Разработан и экспериментально апробирован состав насыщающей среды, обеспечивающий возможность восстановления работоспособности и одновременно упрочнения ряда точных деталей.

Практическая значимость работы заключается в увеличении срока службы деталей трансмиссии автомобилей-лесовозов за счет повышения износостойкости и усталостной долговечности.

Результаты работы апробированы в реальных условиях эксплуатации лесовозных автомобилей МАЗ на предприятиях концерна "Беллесбумпром".

SUMMARY

Surus Anatoly Ivanovich

INCREASE of the EFFICIENCY of HARDENING of the PARTS of TRANSMISSION at TIMBER CARRIERS by MEANS of CARBONITRIDING in MELTS ACTIVATED by HIGH-FREQUENCY VIBRATIONS

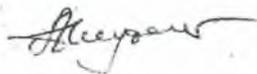
Key words: vibrations, longevity, wear resistance, timber carriers, technology of hardening, frequency.

The purpose of the work is the increase of the efficiency of surface hardening of the parts of transmission at timber carriers on the basis of application of high-frequency mechanical vibrations in the process of carbonitriding in melts. An equipment system and methods for investigating the effect of parameters of mechanical vibrations on maintenance characteristics of the hardened surfaces have been developed.

The scientific novelty is in obtaining new data on the effect of amplitude-frequency parameters of mechanical vibrations on the physical and chemical processes in saturating melts, on the structure and properties of the hardened layer. It is the first time that a mechanism for hardening of unapproachable surfaces of articles in melt with application of vibrations has been offered and tested. The composition of saturating medium which allows to recover serviceability and to harden a number of accurate parts has been developed and tested.

The practical value of the work resides in the increase of the life expectancy of parts of transmission at timber carriers due to higher wear resistance and fatigue longevity.

The results of the work have been tested in the conditions of maintenance of MAZ timber carriers at the plants of the "Bellesumprom" corporation.



СУРУС Анатолий Иванович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИИ
ЛЕСОВОЗНЫХ МАШИН КАРБОНИТРИРОВАНИЕМ В РАСПЛАВАХ,
АКТИВИРОВАННЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ**

Подписано в печать 20.11.2003. Формат 60x48 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр.-отт. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2.

Тираж 80 экз. Заказ № 478

Учреждение образования

“Белорусский государственный технологический университет”.

220050, Минск, Свердлова, 13а. Лицензия ЛВ №276 от 15.04.03.

Отпечатано на ротапринтере учреждения образования

“Белорусский государственный технологический университет”.

220050, Минск, Свердлова, 13.