

УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

УДК 621.91.10

ПУТЯТИНА ЛАРИСА ИВАНОВНА

**ЛЕЗВИЙНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ
ТВЕРДОГО СПЛАВА И СТМ**

05.03.01 – «Процессы механической обработки, станки и инструменты»

Диссертация

на соискание научной степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
Тимофеева Лариса Андреевна,
доктор технических наук,
профессор

Харьков – 2004 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1	
ОБРАЗОВАНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	
1.1. Физические особенности процесса обработки металлов резанием инструментом с особой геометрией режущей части	15
1.2. Формирование физико-механического состояния поверхностного слоя металла в процессе обработки резанием	18
1.2.1. Причины, условия возникновения и свойства специфических структур на сталях и чугунах	19
1.2.2. Наклеп и остаточные напряжения	27
1.3. Особенности механической обработки деталей из высокопрочного чугуна	34
1.4. Влияние механической обработки на работоспособность деталей машин	37
Выводы по литературному обзору и задачи исследования	46
РАЗДЕЛ 2	
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
2.1. Характеристика обрабатываемых материалов	49
2.2. Выбор инструментальных материалов	51
2.3. Оборудование и аппаратура, применяемые в экспериментальных исследованиях	54
2.4. Методика оценки физико-механических свойств по глубине поверхностного слоя металла	59
2.5. Обработка результатов измерений	64

РАЗДЕЛ 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПРИ ЛЕЗВИЙНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

3.1. Определение геометрических параметров режущего инструмента ...	66
3.2. Влияние структуры металлической матрицы на поверхностное упрочнение высокопрочного чугуна в процессе обработки.....	71
3.3. Температурно-силовые и энергетические условия упрочнения высокопрочного чугуна в процессе обработки	76
3.4. Структура и фазовый состав зоны структурных превращений на высокопрочном чугуне	81
3.5. Оптимизация параметров лезвийно-упрочняющей механической обработки высокопрочного чугуна	86
Выводы	101

РАЗДЕЛ 4

ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

4.1. Особенности износа резцов при точении чугуна	104
4.2. Характер износа твердосплавного инструмента при лезвийно-упрочняющей обработке высокопрочного чугуна	107
4.3. Особенности износа резцов из гексанита-Р.....	114
4.4. Влияние износа резца на глубину зоны структурных превращений поверхностного слоя высокопрочного чугуна	118
4.5. Стойкость резцов при лезвийно-упрочняющей обработке высокопрочного чугуна	123
4.6. Повышение стойкости твердосплавного инструмента	126
Выводы	136

РАЗДЕЛ 5

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ

5.1. Преимущества и особенности обработки поверхности алмазным выглаживанием	138
5.2. Контактное взаимодействие при алмазном выглаживании и его особенности при обработке чугуна	139
5.3. Определение оптимальных режимов алмазного выглаживания высокопрочного чугуна	144
5.4. Износ и стойкость инструмента при алмазном выглаживании высокопрочного чугуна	155
5.5. Контроль качества поверхностного слоя высокопрочного чугуна после комплексной механической обработки	161
Выводы	166
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	168
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	172
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	184

ВВЕДЕНИЕ

Повышение надежности и долговечности деталей машин – одна из важнейших задач современного машиностроения, от решения которой зависит уровень технического прогресса страны. Увеличение срока службы изделий равносильно увеличению их выпуска на тех же производственных площадях, не говоря уже о сокращении количества материалов на их изготовление, затрат на эксплуатацию, ремонт и других непроизводительных расходах. В настоящее время проблема повышения долговечности изделий решается путем создания более эффективных конструкционных материалов, а также внедрением в производство прогрессивной технологии их механической обработки и поверхностного упрочнения. К числу таких материалов относится высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ), который имеет высокий уровень эксплуатационных характеристик и с успехом применяется вместо дорогого стального проката, серого и ковкого чугунов.

За последние 20 лет возросло применение ВЧШГ в отечественном и зарубежном машиностроении и наметилась тенденция дальнейшего наращивания объемов его производства [1-13].

В мировой практике ВЧШГ применяют для литья блоков цилиндров, шатунов, поршневых колец, коленчатых и распределительных валов, зубчатых колес, маховиков и ряда других деталей [4, 5, 10, 11, 13].

Столь широкое применение ВЧШГ обусловлено уникальным сочетанием физико-механических и литейных свойств, превосходящих свойства легированных и модифицированных серых и ковких чугунов, а также многих сталей. При этом величины временного сопротивления, износостойкости и сопротивления усталости непосредственно зависят от структуры металлической основы и могут регулироваться путем термообработки [1-3].

При замене штамаповки литьем заметно снижаются энергетические затраты (например, энергозатраты в случае замены стали на ВЧШГ при изготовлении шестерен, по данным зарубежных исследований, снижаются более чем на 50 %, что составляет 250 – 1000 кВт·ч на 1 т отливок) [5].

Важнейшим преимуществом ВЧШГ как конструкционного материала является также его повышенная циклическая вязкость, т.е. способность к демпфированию или гашению вибраций, возникающих в деталях машин, благодаря чему он хорошо работает в условиях ударных нагрузок [1, 2].

Нередко на работоспособность деталей машин основное влияние оказывает качество металла не столько всего сечения, сколько поверхностного слоя. Оно создается уже на стадии изготовления деталей и часто окончательно формируется в процессе эксплуатации (работа в средах, трение, контактная усталость и др.). В результате физико-химического взаимодействия контактирующих металлов между собой или средой может возникнуть совершенно отличающееся от объемного структурно-напряженное состояние. Появилось понятие структурной приспособляемости металла, выполняющей важную роль в работе изделий, в связи с чем задача поверхностной прочности и работоспособности поверхностных слоев в целом должна решаться уже на стадии их изготовления с учетом условий эксплуатации. Поэтому многие технологические процессы даже обычной механической обработки металлов и сплавов следует рассматривать не только как способы получения тел определенной геометрической формы, но и как способы резкого изменения структуры и свойств металла [14, 15].

В результате высокого перегрева и деформации, а также возникновения в зоне обработки ювенильной поверхности (эффективный катализатор) возможна интенсификация многих физико-механических процессов, которые могут оказать влияние на формирование качества обрабатываемого металла. Несмотря на столь малую длительность этих процессов, свободная энергия

активации настолько снижается, что нельзя исключить наличия взаимодействия смазочно-охлаждающих сред или других сред с материалом детали и инструмента. Отсюда следует принципиальная возможность управления качеством и эксплуатационными характеристиками обрабатываемых деталей.

Известно, что при некоторых режимах резания закаленных сталей на их поверхности могут образовываться специфические слабо травящиеся структуры, получившие название «белых нетравящихся слоев». Причины возникновения белых слоев связаны с импульсным нагревом и охлаждением приповерхностных слоев закаленной стали при высоких удельных давлениях, т.е. аналогичны процессам, происходящим при термомеханической обработке [15, 16]. В зависимости от скорости нагрева и охлаждения стали, их интенсивности и абсолютных величин удельного давления и температуры могут появляться белые слои, под которыми чаще всего располагаются зоны вторичного отпуска. Глубина распространения каждой из этих зон зависит от скорости нагрева и охлаждения, а также от удельного давления.

На образование белых слоев может оказывать влияние также и окружающая среда, компоненты которой в условиях высоких температур и давлений в зоне резания и связанных с ними пластических деформаций и фазовых превращений металла легко диффундируют в приповерхностный слой металла, образуя новые соединения. Структуры повышенной твердости и специфических свойств могут возникать не только в процессе механической или других видов обработки сталей, но также и в отдельных случаях эксплуатации. Специфичность свойств и условия возникновения этих структур давно привлекали внимание ученых, были предметом многих исследований и дискуссий, однако их природа не совсем ясна и на сегодняшний день. Наиболее подробно и полно свойства данных структур изучены при трении, значительно меньше при механической или других видах обработки.

Актуальность темы. Требования к высокопрочному чугуна как к конструкционному материалу постоянно возрастают по мере увеличения нагрузок на детали в машинах и узлах. Поэтому на современном этапе актуальной является проблема создания эффективных методов окончательной механической обработки и поверхностного упрочнения высокопрочного чугуна с целью обеспечения необходимых эксплуатационных свойств поверхностного слоя (износостойкость, контактная жесткость, усталостная прочность и др.).

С этой целью в работе решена важная научно-техническая задача, которая состоит в разработке процесса лезвийно-упрочняющей механической обработки деталей из высокопрочного чугуна инструментом из твердого сплава (Т15К6) и ПСТМ (гексанит-Р), сущность которой в создании при резании (точении) такого теплонапряженного состояния, что обеспечивает проведение чистовой механообработки со снятием припуска и одновременным упрочнением поверхностного слоя. Использование инструмента из гексанита-Р способствует повышению эффективности обработки за счет увеличения стойкости инструмента, а также снижения шероховатости поверхности деталей.

Предложенная лезвийно-упрочняющая механическая обработка деталей из высокопрочного чугуна инструментом из твердого сплава и СТМ является ресурсосберегающей и экологически чистой, позволяющая во многих случаях заменить традиционные поверхностную термическую (закалка ТВЧ) или химико-термическую обработку чугуна (азотирование, карбонитрирование), где используются токсичные для человека среды, а также исключить малоэффективные в некоторых случаях операции абразивного шлифования.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа является продолжением научных исследований по хозяйственной тематике, посвященных усовершенствованию процессов механической обработки деталей комбайновых и автомобильных двигателей из

высокопрочного чугуна (№ ДР 01860127240). Работа выполнялась в соответствии с пунктом 17 “Новые конструкционные материалы и высокоэффективные технологии их производства” координационного плана Министерства образования и науки Украины на 1997-1999 гг., утвержденного приказом № 37 от 13.02.97 г., а также согласно проекту ДКНТ 5.43.01/033-94 и 04.04.01/033К-95.

Цель и задачи исследования. Целью работы является управление параметрами процесса лезвийно-упрочняющей обработки деталей из высокопрочного чугуна с учетом особенностей его структуры и свойств для обеспечения формирования требуемых характеристик физико-механического состояния поверхностного слоя чугуновых изделий.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- определить основные температурно-силовые закономерности процесса лезвийно-упрочняющей механической обработки деталей из высокопрочного чугуна;

- установить влияние режимов процесса лезвийно-упрочняющей механической обработки и геометрических параметров инструмента на качественные показатели упрочненного поверхностного слоя высокопрочного чугуна;

- исследовать механизм износа инструмента с учетом температурно-силовых условий лезвийно-упрочняющей механической обработки высокопрочного чугуна в различном структурном состоянии;

- исследовать влияние структуры высокопрочного чугуна на формирование поверхностного слоя при лезвийно-упрочняющей механической обработке;

- оптимизировать геометрические параметры инструмента и режимы механической обработки высокопрочного чугуна с различной структурой

металлической матрицы по характеристикам качества упрочненного поверхностного слоя и работоспособности инструмента;

- установить влияние технологических параметров процесса алмазного выглаживания на шероховатость поверхности деталей из высокопрочного чугуна и определить их оптимальные значения;

- разработать рекомендации по применению лезвийно-упрочняющего инструмента из твердого сплава и СТМ и усовершенствованию процесса механической обработки и поверхностного упрочнения деталей из высокопрочного чугуна.

Объект исследования: процесс лезвийно-упрочняющей механической обработки деталей из высокопрочного чугуна;

Предмет исследования: взаимосвязь параметров процесса лезвийно-упрочняющей механической обработки с показателями физико-механического состояния поверхностного слоя высокопрочного чугуна с учетом его свойств.

Методы исследования. Изучение основных характеристик физико-механического состояния поверхностного слоя в процессе лезвийно-упрочняющей механической обработки и алмазного выглаживания ВЧШГ осуществлялось с помощью следующих методов исследования:

- метода динамометрирования при измерении усилий в процессе лезвийно-упрочняющей обработки; при определении коэффициента трения пары «высокопрочный чугун – инструментальный материал»; при оценке изменения физико-механических свойств по глубине поверхностного слоя ВЧШГ;

- прямые методы измерения твердости по Бринеллю (ГОСТ 9012-59), по Роквеллу (ГОСТ 9013-59); микротвердости по ГОСТ 9450-76;

- метод искусственной термодпары при измерении температуры в зоне обработки;

- методы оптической и электронной микроскопии при исследовании микроструктуры чугуна, кинетики и топографии износа инструмента;
- метод рентгеноструктурного анализа при исследовании структуры и фазового состава белого слоя;
- контактный метод измерения шероховатости поверхности (метод ощупывания) на профилографе-профилометре мод. 201;
- статистические методы обработки результатов измерений, в т.ч. применение многофакторного математического планирования экспериментов с использованием компьютерной техники.

Научная новизна работы. Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов состоит в следующем:

- научно обоснована эффективность лезвийно-упрочняющей механической обработки деталей из высокопрочного чугуна, и разработан механизм управления формообразованием поверхностного слоя, заключающийся в температурно-силовом воздействии инструмента с увеличенными отрицательными передними углами на обрабатываемую деталь при скоростном тчении, которое обеспечивает чистовую обработку поверхности и вызывает в материале структурные превращения (вторичную закалку) с получением на поверхности упрочненного (белого) слоя;
- на основе результатов анализа взаимодействия высокопрочного чугуна с различными инструментальными материалами установлено, что рациональными материалами для оснащения инструмента при лезвийно-упрочняющей механической обработке является твердый сплав Т15К6 и поликристаллический сверхтвердый материал на основе нитрида бора гексанит-Р, характеризующиеся пониженным коэффициентом теплопроводности и повышенным коэффициентом внешнего трения в паре с чугуном;
- впервые изучено влияние структуры высокопрочного чугуна на поверхностное упрочнение в процессе лезвийно-упрочняющей механической

обработки: с повышением твердости чугуна возрастает энергетический потенциал самой металлической матрицы для образования на поверхности в процессе обработки качественного сплошного белого слоя. Получены зависимости качественных показателей упрочненного поверхностного слоя от свойств чугуна и технологических параметров обработки;

- определены температурно-силовые и энергетические закономерности процесса лезвийно-упрочняющей механической обработки высокопрочного чугуна с различной структурой металлической матрицы, которые обусловлены большой скоростью нагрева поверхностного слоя чугуна до температур, выше критических, а также повышенными значениями составляющих силы резания в определенном диапазоне скоростей обработки;

- выявлены топографические и кинетические закономерности износа инструмента при лезвийно-упрочняющей обработке чугуна; установлено, что преобладающим в данных температурно-силовых условиях является усталостный термомеханический износ инструмента. Полученные эмпирические зависимости стойкости резцов от твердости высокопрочного чугуна в различном структурном состоянии позволяют прогнозировать работоспособность инструмента из твердого сплава и СТМ. Экспериментально доказана эффективность повышения стойкости твердосплавного инструмента с помощью виброабразивной обработки.

Практическая ценность работы. Практическое значение полученных результатов исследований:

- разработан способ лезвийно-упрочняющей механической обработки деталей из высокопрочного чугуна инструментом из твердого сплава и СТМ, что позволило повысить эффективность технологии их чистовой механообработки и поверхностного упрочнения за счет исключения поверхностной термической или химико-термической обработки и операций абразивного шлифования;

- разработаны рекомендации по выбору рациональной марки материала и оптимальной геометрии режущего инструмента для лезвийно-упрочняющей механической обработки деталей из высокопрочного чугуна с заданными свойствами;

- полученные экспериментально-теоретические зависимости величины упрочненного слоя и шероховатости поверхности от технологических параметров обработки и структуры металлической матрицы чугуна позволяют выбирать оптимальные условия технологического процесса лезвийно-упрочняющей механической обработки и алмазного выглаживания чугунных изделий;

- разработана методика оценки физико-механических свойств по глубине поверхностного слоя металла, позволяющая производить контроль качества поверхности без осуществления трудоемкой операции измерения микротвердости поверхностного слоя чугунных образцов.

На основании результатов исследований и промышленных испытаний разработаны практические рекомендации по усовершенствованию процесса механообработки и поверхностного упрочнения деталей из высокопрочного чугуна, которые переданы для внедрения на ОАО ХМЗ «Серп и Молот»; основные научные положения работы используются в учебном процессе Украинской государственной академии железнодорожного транспорта.

Личный вклад соискателя. Основные результаты диссертационной работы получены соискателем самостоятельно: анализ состояния вопроса; выбор режимов термической обработки чугуна; обоснование выбора методик исследования; определение марки материала и геометрии режущей части инструмента; проведение экспериментальных исследований; получение зависимостей влияния свойств чугуна и технологических параметров обработки на качественные показатели поверхностного слоя; определение оптимальных

условий обработки; проведение стойкостных испытаний инструмента; практическая реализация результатов исследований.

Апробация результатов диссертации. Основные положения работы докладывались на научно-технических конференциях разного уровня: “Прогрессивные методы обработки труднообрабатываемых материалов” (Мариуполь, 1989 г.), “Достижения ученых – народному хозяйству” (Харьков, 1990 г.), “Усовершенствование процессов механической обработки и сборки в машиностроении” (Горький, 1990 г.), “Качество и надежность технологических систем механообработки” (Краматорск, 1991 г.), “Материалы и упрочняющие технологии – 91” (Курск, 1991 г.), “Повышение качества изготовления деталей машин средствами отделочно-упрочняющей обработки”, (Пенза, 1991 г.), “Автоматизация технологической подготовки механообработки деталей на станках с ЧПУ” (Санкт-Петербург, 1992 г.), “Технологические методы повышения эффективности и качества механосборочного производства” (Домбай, 1992 г.), “Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении” (Одесса, 1994 г.), “Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве” (Харьков, 2001 г.), “Транспортные коридоры: стратегия и тактика развития” (Харьков, 2001 г.), “Interpartner – 2002. Высокие технологии в машиностроении: тенденции развития “ (Алушта, 2002 г.).

Публикации. По материалам работы опубликовано 7 статей, в том числе 4 статьи в специальных изданиях из перечня ВАК Украины, 1 авторское свидетельство на изобретение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Солнцев Л.А., Зайденберг А.М., Малый А.Ф. Получение чугунов повышенной прочности. - Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьковском ун-те, 1986. – 152 с.
2. Петриченко А.М., Зайденберг А.М. Тенденции производства высокопрочных чугунов // Автомобильная промышленность. – 1988. - № 2. – С. 35-36.
3. Канторович В.И., Шерман А.Д., Вершков В.С. Современные чугуны в машиностроении – свойства и применение // Вестник машиностроения. - 1987. - № 11. – С. 35-39.
4. Тихонов А.К. Новые технологические решения и материалы в автомобилях ВАЗ // Автомобильная промышленность. – 1984. - № 1. – С. 25-27.
5. Левитан М.М., Захаров В.И., Вернер К.А. Литые шестерни главной передачи из высокопрочного чугуна // Автомобильная промышленность. – 1985. - № 5. – С. 29-31.
6. Лернер Ю.С., Таран Ю.А. и др. Технология получения высокопрочного чугуна за рубежом // Литейное производство. – 1982. - № 6. - С. 8-10.
7. Жуков А.А., Снежной Р.Л., Зволинская В.В. Производство отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом: Обзор. - М.: НИИМАШ, 1980. – С. 57-58.
8. Отливки из чугуна с шаровидным графитом /Э.В. Захарченко, Ю.Н. Левченко, В.Г. Торенко, П.А. Вареник. – Киев: Наукова думка, 1986. – 248 с.
9. Косячков В.А. Чугун с шаровидным графитом. Появление и развитие // Литейное производство. - 1996. - № 2. – С. 4-5.
10. Китайгора Н.И., Стрешнов А.В., Серапин М.И. Разработка состава чугуна для получения отливки распредвала автомобиля «Жигули» // Литейное производство. 1998. - № 12. – С. 36-37.

11. Отливки коленвалов для автомобильных двигателей из высокопрочного чугуна // *Металловедение и термическая обработка*. – 1995. - № 9. – С.14.
12. Forrest R.D. The challenger and opportunity presented to the SG iron industry by the development of austempering ductile iron // *Brit. Foundryman*. - 1988. - V. 81, № 4. - P. 168, 170-172, 174, 176-181.
13. Черепов А.А., Лебедев И.А., Черепов В.А. Изготовление маслот поршневых колец из высокопрочного чугуна // *Литейное производство*. – 1990. - № 7. – С. 11.
14. Процессы, обуславливающие универсальное явление структурной приспособляемости материалов при трении / Б.И.Костецкий, И.Г.Носовский, Л.И.Бершадский и др. // *Проблемы трения и изнашивания*. – Киев: Техніка, 1976. – С. 6-12.
15. Упрочнение стали механической обработкой / Г.В.Карпенко, Ю.И.Бабей, Э.М.Гутман. – Киев: Наукова думка, 1966. – 204 с.
16. Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – Киев: Наукова думка, 1988. – 240 с.
17. Коломиец В.В. Исследование особенностей процесса точения закаленных сталей резцами из эльбора-Р. Дис... канд. техн. наук. – Харьков, 1975. – 288 с.
18. Шишков В.Д. Современное состояние и тенденции развития материалов для режущего инструмента: Обзор. – М.: НИИМаш, 1980. – 68 с.
19. Инструмент из сверхтвердых материалов: Уч. пособие / Под ред. Н.В.Новикова.– Киев: ИСМ НАН Украины, 2002. – 524 с.
20. Маслов А.Р. Современные тенденции развития режущих инструментов: Обзор. – М.: ВНИИТЭМР, 1984. – 50 с.
21. Малышко В.Ю. Применение инструментов из сверхтвердых материалов в автомобильном производстве // *Станки и инструмент*. – 1984. - № 11. – С. 22-24.
22. Высокопроизводительные инструменты из гексанита-Р / Г.Г.Карюк, А.В.-Бочко, О.И.Мойсеенко, В.К.Сидоренко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 136 с.

23. Die Bearbeitung von Harten. Eisematerialien und Grangub mit paly kristallinen CBN – Schneidwerk – seugm. Oleboer M. – Fachberichte Bur Metallbear – beitung, 1984, V. 64, № 1-2, S. 10-16.
24. Confer H., Superabrasives aid in duality metal removal // Cutting tool Engineering. – 1987. – V. 39, № 3. - P. 41-42, 44, 143.
25. Коломиец В.В. Новые инструментальные материалы и области их применения: Учебн. пособие. – К.: УМК ВО, 1990. 64 с.
26. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов.– М.: Машиностроение, 1981. – 280 с.
27. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.
28. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
29. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – Киев: Наукова думка, 1984. – 272 с.
30. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.
31. Люболинский С.П. Технологические остаточные напряжения и управление ими при механической обработке резанием с целью повышения износостойкости высокоточных деталей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1972. – 22 с.
32. Бережницкая М.Ф. Исследование остаточных напряжений, возникающих при специальной механической обработке и их влияние на работоспособность деталей машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львов, 1978. – 24 с.
33. Рыжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое управление качеством деталей с покрытиями. - Киев: Наукова думка, 1994. – 180 с.

34. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
35. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
36. Наерман М.С., Бабей Ю.И., Наерман Я.М. Влияние упрочняющего шлифования на структуры и износостойкость конструкционных сталей // Физ.-хим. механика материалов. – 1980. - № 1. – С. 99-101.
37. Дьяченко В.С. Влияние режимов импульсной лазерной обработки на структуру и свойства быстрорежущих сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1986. - № 9. – С. 11-14.
38. Влияние лазерной обработки на изнашивание деталей в абразивно-масляной среде / В.М.Голубец, М.И.Мойса, Ю.И.Бабей, Г.В.Пляцко // Физ.-хим. механика материалов. – 1972. - № 4. – С. 114-115.
39. Действие излучения мощности лазера на металлы / С.И.Анисимов, Я.А.Имас, С.Г.Романов и др. – М.: Наука, 1970. – 272 с.
40. Криштал М.А., Захаров П.Н. О вкладе диффузионных процессов в перераспределении вещества в твердом теле под воздействием лазерного излучения // Физ. и хим. обработки материалов. – 1976. - № 4. – С. 28-38.
41. Миркин Л.И. Физические основы обработки металлов лучами лазера. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. – 384 с.
42. Аскинази В.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.
43. Выговский И.П. Способ создания специфической структуры на стальных деталях // Физ.-хим. механика материалов. – 1973. - № 5. – С. 84-86.
44. Гурей В.М. Влияние импульсного упрочнения на износостойкость серого чугуна в масляно-абразивной среде // Физ.-хим. механика материалов. – 1980. - № 6.- С. 86-89.

45. Бабей Ю.И. Механическая обработка как способ повышения долговечности конструкционных сплавов в активных средах // Физ.-хим. механика материалов. – 1975. - № 2. – С. 3-14.
46. Ящерицын П.И., Минаков А.П. Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении.– Минск: Наука и техника, 1986. – 215 с.
47. Природа высокой микротвердости поверхности, упрочненной трением / В.Г.Самсонов, В.И.Ковтун, И.И.Тимофеева и др. // Физ.-хим. механика материалов. – 1973. - № 4. – С. 26-30.
48. Любарский И.М., Палатник Л.С. Металлофизика трения. – М.: Металлургия, 1976. – 176 с.
49. Деформирование металлов взрывом / А.В.Крутин, В.Д.Соловьев, Н.И.Шертель и др. – М.: Металлургия, 1975. – 416 с.
50. Физические основы электротермического упрочнения стали / В.Н.Гриднев, Ю.Я.Мешков, С.П.Ошкадеров и др. – Киев: Наук. думка, 1973. – 355 с.
51. Кидин И.Н. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1969. – 375 с.
52. Бабей Ю.И. Влияние механической обработки и технологической наследственности на структуру приповерхностных слоев стали и ее усталостную прочность в рабочих средах: Автореф. дис. ... канд.техн.наук. – Львов, 1964. – 26 с.
53. Коган Ю.И., Савицкий К.В. О структуре и фазовых изменениях при трении металлических тел // Итоги исследований по физике (1917-1967). Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1971. – С. 304-325.
54. Райнхард Л.С., Пирсон Дж. Взрывная обработка металлов: (Пер. с англ.) – М.: Мир, 1966. – 358 с.
55. Применение ультразвука и взрыва при обработке и сборке / М.Ф.Вологин, В.В.Калашников, М.С.Нерубай, Б.Л.Штриков. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с.

56. Савицкий К.В., Коган Ю.И. О природе белых слоев // Физика металлов и металловедение. – 1963. – 15, вып. 5. – С. 664-673.
57. Миндюк А.К., Бабей Ю.И., Выговский И.П. О природе и свойствах белых слоев // Порошковая металлургия. – 1974. - № 9. – С. 81-85.
58. Нижник С.Б. Структурные изменения в стали при импульсном действии высоких температур и давлений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1964. – 11 с.
59. Кузнецов В.А., Савицкий К.В., Сухарина Н.Н. Некоторые особенности структуры белых слоев // Физика металлов и материаловедение. – 1963. – 15, вып. 1. – С. 145-147.
60. Бокштейн С.З. Диффузия и структура металлов (Успехи современного металловедения). – М.: Металлургия, 1973.
61. Криштал М.А., Жуков А.А., Кокора А.Н. Структура и свойства сплавов, обработанных излучением лазера. – М.: Металлургия, 1973.
62. Харламоа Ю.А., Будагьянц Н.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин: Уч. пособие. – Луганск: ВУГУ, 2003. – Т.2. - 480 с.
63. Технологические основы управления качеством в машиностроении / А.С.Васильев, А.М.Дальский, С.А.Клименко и др. – М: Машиностроение, 2003. – 256 с.
64. Бережницкая М.Ф., Бабей Ю.И. К методике определения остаточных макронапряжений в сплошных и полых цилиндрических стержнях // Физ.-хим. механика материалов. – 1974. - № 2. – С. 93-98.
65. О природе белых слоев, возникающих в процессе некоторых видов обработки стали / Ю.И.Бабей, Б.Ф.Рябов, В.М.Голубец, Б.Т.Дядченко, Л.А.Капарова // Физ.-хим. механика материалов. – 1973. - № 4. – С. 33-39.
66. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.

67. Милещик В.А. Обґрунтування та розробка науково-технологічних умов високопродуктивного процесу точіння зносостійких чавунів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Донецьк: ДНПУ, 2003. - 26 с.
68. Голубов Н.П. Влияние твердости и микроструктуры высокопрочного чугуна на его обрабатываемость // Станки и инструмент. – 1957. - № 7. – С. 22-23.
69. Зорев Н.Н., Артамонов А.Я. Обрабатываемость чугуна с шаровидной формой графита. – М.: Машгиз, 1954.
70. Артамонов А.Я. Исследование обрабатываемости высокопрочного чугуна. – М.: Машгиз, 1955. – 131 с.
71. Остафьев В.А. Обрабатываемость высокопрочных чугунов с шаровидным графитом // Высокопрочный чугун: Сб. докладов. – Киев, 1964. – С. 296-298.
72. Лещинер Я.А. Выбор оптимальной марки твердого сплава и геометрии режущей части резцов для точения чугуна с шаровидным графитом // Технология производства, научная организация труда и управления. – М., 1971. - Вып. 7. – С. 43-50.
73. Лещинер Я.А. Исследование влияния микроструктуры высокопрочного чугуна на его обрабатываемость резанием: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Киев, 1972. – 20 с.
74. Трент Е.М. Резание металлов. – М.: Машиностроение, 1980. – 263 с.
75. Степанов Г.И., Медведев Б.П. Особенности физико-химических процессов при резании конструкционных материалов, содержащих свободный графит // Материалы Всесоюзной научно-технической конференции «Разработка и промышленная реализация новых механических и физико-химических методов обработки». – М., 1988. – С. 149-150.
76. Харламов Ю.А., Будагьянц Н.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела: Уч. пособие. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 624 с.
77. Дьяченко П.Е. Влияние шероховатости поверхности на ее износ // Качество поверхности деталей машин. – Л.: Машгиз, 1949.

78. Кислик В.А. Износ деталей паровозов. – М.: Трансжелдориздат, 1948.
79. Драйгор Д.А. Износостойкость и усталостная прочность стали в зависимости от условий обработки и процесса трения. – Киев: Изд-во АН УССР, 1959. – 142 с.
80. Рысцова В.С. Изменение состояния поверхностного слоя шлифованных образцов в процессе износа // Качество поверхности и долговечность деталей машин. – Л.: ЛИЭИ, 1956.
81. Дьяченко П.Е., Смушкова Т.В. Износостойкость и остаточные напряжения в поверхностных слоях металлов // Изв. ОТН АН УССР. – 1954. - № 4.
82. Алексеев П.Г. Об оптимальных режимах течения и обкатывания для повышения износостойкости деталей машин // Вестник машиностроения. – 1968. - № 2. – С. 56-57.
83. Михеенко Т.А. Технологическое обеспечение качества деталей из чугуна с регламентированными параметрами упругости и износостойкости тчением композитом 10: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Брянск, 1979. – 23 с.
84. Варганов В.В. Формирование напряженно-деформированного состояния высокопрочного чугуна при поверхностном пластическом деформировании и его устойчивость при циклическом нагружении: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1991. – 16 с.
85. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
86. Дальский А.М., Базров Б.М., Васильев А.В. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве.- М.: Изд-во МАИ, 2000. – 364 с.
87. Леушин Ю.А. Исследование высокопрочного чугуна как материала распределителей ливигателей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1968. – 22 с.
88. Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н. Основы металлографии чугуна. – М.: Металлургия, 1969. – 416 с.

89. Горушкина Л.П. Структура и свойства магниевого чугуна. – Харьков: Вища школа. Изд-во при ХГУ, 1980. – 160 с.
90. Чугун: Справочное издание / Под. ред. Шермана А.Д. и Жукова А.А. – М.: Металлургия, 1991. – 576 с.
91. Неижко И.Г. Термическая обработка чугуна. – К.: Наук. думка, 1992. – 208 с.
92. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами и их применение: Справочник / В.П.Жедь, Г.В.Боровский, Я.А.Музыкант, Г.М.Ипполитов. – М.:Машиностроение, 1987. – 320 с.
93. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справочник / Н.П.Винников, А.И.Грабченко, Э.И.Гриценко и др.; Под общ. ред. акад. АН УССР Н.В.Новикова. – К.: Тэхника, 1988. – 118 с.
94. Кравченко Б.А. Силы, остаточные напряжения и трение при резании металлов. – Куйбышев: 1962. – 179 с.
95. Сборный твердосплавный инструмент / Г.Л.Хаеа, В.М.Гах, К.Г. Громаков и др.; Под общ. ред. Г.Л.Хаеа. – М.: Машиностроение, 1989.- 256 с.
96. Меси́ла Р.А. Измерение температуры и определение температурных зависимостей на задних поверхностях резцов / Труды ТПИ; серия А. – Таллин, 1971. - № 306. – С. 15-23.
97. А.с. 1492238 СССР, G 01 N 3/58. Устройство для оценки изменения физико-механических свойств материала / Л.А.Солнцев, В.И.Мощенок, Л.И.Путятина, А.В.Крупский. – Оpubл. 07.07.89. Бюл. № 25.
98. Мощенок В.И. Определение неоднородности и улучшение обрабатываемости наплавленного слоя восстановленных деталей машин: Автореф. дис. ... канд. техн.наук / Харьк. авт.-дор. ин-т. – Харьков, 1986. – 20 с.
99. Разработка и внедрение технологических способов улучшения обрабатываемости и оптимизации режимов обработки деталей из высокопрочного чугуна: Отчет о НИР (заключительный) / Харьк. авт.-дор. ин-

- т им. Комсомола України. - № ГР 01850053211; инв. № 015.53899750. – Харьков: 1987. – 69 с.
100. Лалазарова Н.А. Влияние неоднородности высокопрочного чугуна на его обрабатываемость резанием // Вестник ХГАДТУ. – 2000. - № 12-13. – С. 86-87.
101. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. школа, 1972. – 368 с.
102. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – М.: Техніка, 1975. – 168 с.
103. Тимофеева Л.А., Путятіна Л.І., Лалазарова Н.А. Особенности инновации поверхностного слоя высокопрочного чугуна в процессе механической обработки // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць.- Харків: НТУ “ХПІ”, 2002. – Вип. 1(5). – С. 377-381.
104. Голубец В.М., Дядченко Б.Т., Бабей Ю.И. Влияние белого слоя на стойкость стали 40Х против абразивного изнашивания // Физ.- хим. механика материалов. – 1972. - № 3. – С. 102-104.
105. Путятіна Л.І. Формування поверхневого шару виробів з високоміцного чавуну у процесі комплексної механічної обробки // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип.49. – С. 90-93.
106. Даниелян А.М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов. – М.: Машгиз, 1964.
107. Резников Н.И. Учение о резании металлов. – М.: Машгиз, 1947.
108. Исаев А.И. Влияние износа резца на процесс образования поверхностного слоя // Чистовая обработка конструкционных металлов: Сб. научн. трудов. – М.: Машгиз, 1951. – Кн. 44.
109. Качер В.А. Тонкое точение закаленного чугуна. – М.: Машгиз, 1963. – 130 с.
110. Путятіна Л.І., Тимофеева Л.А., Лалазарова Н.О. Дослідження працездатності інструмента при зміцнювальній механічній обробці

- високоміцного чавуну // Вісник НТУ “ХПІ”: Зб. наук. праць. Тематич. випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2002. - № 19. – С. 81-84.
111. Обрабатываемость резанием и налипание металла при токарной обработке чугуна с шаровидным графитом / Jamada Hajime, Tanaka Takio // Umono, Imono, J.Jap. Foundrymen’s Soc. – 1984. - 56, № 6. – P. 351-355.
112. Влияние перлита на обрабатываемость чугуна с шаровидным графитом/ Nakaе Nileo, Kieosuke Hitoshi // Umono, Imono. J. Jap. Foundrymen’s Soc. – 1982. - 54, № 6. – P. 377-383.
113. Башков В.М., Кацев П.Г. Испытания режущего инструмента на стойкость. – М.: Машиностроение, 1985. – 136 с.
114. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.
115. Хаеt Л.Г., Гах В.М., Черномаз В.Н. Формирование поверхностного слоя при отделочно-упрочняющей обработке твердых сплавов // Сверхтвердые материалы, 1984. №6. С.43-49.
116. Хаеt Л.Г., Гах В.М., Левин В.И. Упрочнение твердосплавного режущего инструмента поверхностным деформированием. М.: НИИМаш, 1981. 54 с.
117. Гах В.М. Повышение режущих свойств твердосплавного инструмента путем виброабразивной обработки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / РИСХМ. – Ростов-на-Дону, 1990. – 24 с.
118. Лалазарова Н.А., Хаеt Л.Г., Жохова В.В. Повышение надежности режущего инструмента для обработки высокопрочного чугуна // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем: Сб. статей. – Краматорск: ДГМА. – 1996. – Вып. 6. – С. 205-210.
119. Уманский В.Б., Маняк Л.К. Новые способы упрочнения деталей машин: Справ. пособие. – Донецк: Донбасс, 1990. – 144 с.

120. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / Л.А. Хворостухин, С.В. Шишкин, И.П.Ковалев, Р.А. Ишмаков. – М.: Машиностроение, 1988. – 144 с.
121. Торбило В.М. Алмазное выглаживание. - М.: Машиностроение, 1972. – 104 с.
122. Одинцов Л.Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
123. Хворостухин Л.А., Ишмаков Р.А. Особенности обработки выглаживанием легированных и высокопрочных чугунов // Вестник машиностроения. – 1989. - № 8. – С. 38-40.
124. Путятин Л.И. Определение оптимальных режимов алмазного выглаживания высокопрочного чугуна // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – Вып. 61. – С. 175-179.
125. Грановский Э.Г. Исследование износостойкости алмазных инструментов для выглаживания // Алмазы. – 1969. - № 1.
126. О структурных изменениях поликристаллов синтетического алмаза при нагреве / Л.С.Палатник, Л.И.Гладких, М.Я.Фукс и др. // Синтетические алмазы. – 1976. – Вып. 4. – С. 3-7.
127. Воронин Г.А., Мальнев В.И., Невструев Г.Ф. Влияние включений на прочность синтетических алмазов при высоких температурах // Сверхтвердые материалы. – 1984. - № 2. – С 33-37.
128. Исхакова Г.А., Гилета В.П. Особенности износа выглаживателей из синтетических алмазов при ультразвуковой упрочняющей обработке // Сверхтвердые материалы. – 1986. - № 2. – С. 29-32.