

Министерство образования Республики Беларусь  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (УО «ПГУ»)

УДК 621.9

№ госрегистрации 20082897

Инв.№

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор УО «ПГУ»

по научной работе

\_\_\_\_\_ Д.О. Глухов

«\_\_»\_\_\_\_\_ 2010г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
«РАЗРАБОТАТЬ ТЕХНОЛОГИЮ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ  
ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ  
ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ»

*задание 01.25, этапы: 01.02, 01.04, 02.01, 02.04, 02.07, 02.10, 03.02, 03.04*

*(Г/Б №1328)*

Начальник НИСа

\_\_\_\_\_

А.В. Кулеш

Зав.кафедрой,

канд.техн.наук, доцент

\_\_\_\_\_

С.Э.Завистовский

Научный руководитель НИР,

канд.техн.наук, доцент

\_\_\_\_\_

С.Э.Завистовский

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

Л.В. Дмитриченко

Новополоцк

2010

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ведущий научный сотрудник,

руководитель темы,

зав. каф. ТиМП, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ С.Э. Завистовский

(введение, реферат, заключение, раздел 1, 10,11)

Научный сотрудник,

ответственный исполнитель,

ст. препод. каф. ТиМП, м.т.н. \_\_\_\_\_ А.С. Кириенко

(раздел 1-11)

Нормоконтролер \_\_\_\_\_

Л.В. Дмитриченко

## РЕФЕРАТ

Отчет 77 с., 7 рисунков, 4 таблицы, 9 формул, 111 источников.

КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ, ДЕФОРМАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ЗНАКОПЕРЕМЕННЫЕ НАГРУЗКИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, СПЕЦИАЛЬНАЯ ОСНАСТКА

Объектом исследований является технологическое оборудование и оснастка для пневмодинамического упрочнения галтелей коленчатых валов дизельных двигателей Д-240 и Д-260, восстановленных методами нанесения газотермических покрытий, а так же технологический процесс пневмодинамического упрочнения галтелей коленчатых валов дизельных двигателей Д-240 и Д-260, учитывающего структурно-фазовый состав и упруго-механическое состояние напыленных слоев и позволяющего повысить усталостную прочность композиционной системы «покрытие – деталь», достичь высоких показателей работоспособности отремонтированных автотракторных деталей.

Цель работы - разработка и внедрение в ремонтное производство ОАО «Витебский мотороремонтный завод» технологического процесса и оборудования для пневмодинамического упрочнения галтелей коленчатых валов дизельных двигателей Д-240 и Д-260, позволяющего использовать в качестве рабочего материала стальной шар, для повышения максимального удельного давления раскатки на 26 ...32%, что, в свою очередь, повлечет за собой увеличение глубины наклепанного слоя на 30...38%. Это обеспечит увеличение предела прочности коленчатых валов дизельных двигателей при

изгибе в 1,7 ... 2,0 раза, снижение коэффициента сменности коленвалов в 2,0 раза и повышение их долговечности в 2,0 раза.

Исследованы особенности деформаций функциональных поверхностей деталей автотракторной техники в результате действия рабочих знакопеременных нагрузок. Износ рабочих поверхностей под действием знакопеременных нагрузок происходит вследствие среза, отрыва или усталостного разрушения.

В результате аналитической оценки технологических методов повышения ресурса коленчатых валов, предложена технологическая схема ремонта коленчатого вала, включающей следующие стадии: разборочно-моечные и дефектовочные операции, предварительная подготовка рабочих поверхностей методом шлифования, устранение дефектов коренных и шатунных шеек методом активированной электродуговой металлизации, чистовая обработка шлифованием и упрочнение галтелей методом финишной пневмодинамической обработки.

По результатам проведенных исследований и испытаний разработан комплект ТД 01221.00026 на технологический процесс пневмодинамического упрочнения галтелей коленчатых валов двигателя Д-240 и Д-260 с литерой «О1», «А» и комплект КД 01225.1328.00.000 на специальную оснастку для пневмодинамического упрочнения коленчатых валов ДВС с литерой «О1», «А».

## СОДЕРЖАНИЕ

	С.
Обозначения и сокращения.....	7
Введение.....	10
1. Назначение и область применения технологического оборудования и технологии пневмодинамического упрочнения коленчатых валов ДВС.....	11
2. Техническая характеристика технологического оборудования для пневмодинамического упрочнения коленчатых валов ДВС.....	17
3. Описание и обоснование выбранной конструкции специальной оснастки для пневмодинамического упрочнения коленчатых валов ДВС.....	18
4. Расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции специальной оснастки для пневмодинамического упрочнения коленчатых валов ДВС.....	22
5. Описание организации работ с применением специальной оснастки для пневмодинамического упрочнения коленчатых валов ДВС	28
6. Разработка комплекта ТД для пневмодинамического упрочнения галтелей коленчатых валов двигателя Д-240.....	33
6.1 Общие положения комплекта ТД на технологический процесс пневмодинамического упрочнения галтелей коленчатых валов двигателя Д-240.....	34
6.1 Требования безопасности труда.....	34
6.1.1 Общие требования безопасности.....	34
6.1.2 Требования безопасности перед началом работы.....	36
6.1.3 Требования безопасности во время работы.....	37
6.1.4 Требования безопасности в аварийных ситуациях.....	38

6.1.5	Требования безопасности по окончании работу.....	38
6.2	Технологический процесс пневмодинамического упрочнения галтелей коленчатых валов двигателя Д-240.....	39
7	Корректировка комплекта ТД по результатам упрочнения экспериментальной партии элементов коленчатых валов.....	42
8	Разработка методики приемочных испытаний упрочненных коленчатых валов.....	43
8.1	Вводная часть методики приемочных испытаний.....	43
8.2	Программа приемочных испытаний.....	44
8.3	Условия проведения приемочных испытаний.....	45
8.4	Порядок проведения приемочных испытаний.....	46
8.4.1	Подготовка материала.....	46
8.4.2	Подготовка коленчатых валов под пневмодинамическое упрочнение.....	46
8.4.3	Пневмодинамическая обработка коленчатых валов.....	47
8.4.4	Проверка коленчатых валов.....	48
8.4.5	Приемочные испытания галтелей коленвала на твердость....	48
8.4.6	Приемочные испытания на сопротивление усталости.....	49
8.4.7	Приемочные испытания кинетики усталостной трещины.....	51
8.5	Материально техническое обеспечение.....	52
8.6	Отчетность.....	54
9	Корректировка комплекта ТД по результатам приемочных испытаний.....	55
10	Ожидаемые технико-экономические показатели.....	56
11	Уровень стандартизации и унификации.....	58
	Заключение.....	60
	Список использованных источников.....	67

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Молодык Н. В., Зенкин А. С. Восстановление деталей машин. Москва: Машиностроение, 1989.
2. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. Москва: Машиностроение, 1987.
3. Пик В. А. Восстановление шеек коленчатых валов электродуговой металлизацией // Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин. Новополоцк: НПИ. 1993, стр. 70.
4. Ильюшенко А. Ф., Кремко В. В., Савченков Н. А. Восстановление коленчатых валов двигателей // Разработка и применение технологии, оборудования и материалов для газотермических процессов нанесения защитных покрытий. Минск. 1990, стр. 46.
5. Буров И. С., Голубев В. В., Тихонович Я. З. Восстановление шеек коленчатых валов автомобилей и компрессоров газоплазменным напылением // Газотермическое напыление в промышленности. С.-Петербург. 1993, стр.122.
6. Какуевицкий В. А. Применение газотермических покрытий при изготовлении и ремонте машин. Київ: Техніка. 1989.
7. Тракторные дизели / Под общ. ред. Б.А.Взорова – М.: Машиностроение, 1981,- 535 с, ил.
8. Авторское свидетельство СССР N 1597257, кл. В 23 Р 6/00, 1990.
9. Патент РФ № 2006705, кл. F16C33/04, 1994.
10. Хасуй А. Техника напыления. Пер. с японского. М., «Машиностроение», 1975.
11. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др. – Мн.: Беларуская навука, 1998. – 583 с.

12. Бартеньев С.С., Федыко Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 215 с., ил.
13. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машиностроение. 1963. - 252 с.
14. Маталин А.А. Технология машиностроения. Л., Машиностроение, 1985, 496 с.
15. Кобаско Н.И., Николин Б.И., Драчинская А.Г. и др. Повышение ресурса работы деталей машин и инструмента созданием в них высоких сжимающих напряжений. Известия ВУЗов. Сер. Машиностроение, 1987, №10, с. 153-157
16. Г. Е. Петушков. Упрочнение галтелей коленчатых валов, Ж - Машиностроитель, № 12, 1965.
17. Machinery (L). Fillet-Rolling on Diesel. Engine Crankshaff. N 2516 стр. 276-278, 1961.
18. Муханов И. И. Импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом. — М.: Машиностроение, 1978.
19. Гилета В.П., Панченко К.Л., Огородников Ю.Ф. Опыт промышленного внедрения импульсной упрочняюще-чистовой обработки ультразвуковым инструментом // Новые разработки в области ультразвуковой техники и технологии и опыт их применения в машиностроении. — М., 1989. — С. 113-114.
20. Овсиенко А.Н., Савлина А.В., Сеницин М.В. Комплексная технология повышения долговечности высоконагруженных деталей турбин.//Автоматизация и современные технологии, 2006.- № 4.
21. Теория и практика газопламенного напыления / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, Е.Д. Манойло и др. - Мн.: Навука і тэхніка, 1993. - 295 с.



22. Бартеньев С.С., Федько Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1990. - 215с.
23. Ющенко К.А., Астахов Е.А., Клименко В.С., Борсов Ю.С. Детонационное напыление упрочняющих покрытий и пути его развития. В кн.: Новые процессы и оборудование для газотермического и вакуумного покрытия. - Киев, 1990, с. 26 - 32.
24. В.С. Клубникин Газотермическое напыление: особенности развития // В. сб. Газотермическое напыление в промышленности, ГТНП - 91. - Л.: Полиплазма, 1991, - с. 6 - 7.
25. Ю.С.Борисов, Ю.Н.Тюрин, Б.Г. Губенко Плазменно-детонационное формирование упрочняющих покрытий // В. сб. Газотермическое напыление в промышленности, ГТНП - 91. - Л.: Полиплазма, 1991, - с. 21.
26. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий: М: Машиностроение, 1991. - 192 с.
27. Порошковая металлургия и напыление. В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К.Дружинин и др. М.: Метллургия, 1987. 792с.
28. Конструирование и расчет двигателей внутреннего сгорания / Под общ. ред. Н.Х.Дьяченко - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989. - 382 с, ил.
29. Автомобильные и тракторные двигатели. Ч.П. Конструкция и расчет двигателей / Под. ред. И.М.Лекина - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1986 - 280 с, ил.
30. Москаленко А.Н, Исследование напряженно-деформированного состояния коленчатых валов. - Дис. ... канд.тех.наук. -Минск, 1980. - 235 с.

31. Несущая способность и расчета деталей машин на прочность/ Под ред. С,В,Серенсена - 3-е изд., перераб. и доп. - М«: Машиностроение, 1985. - 488 с, ил.
32. Токарев Б.И., Кудряшова Л.П. Исследование эксплуатационных изломов коленчатых валов двигателя А-4І. - В кн.: Труды Алтайского политехнического института, 1985, вып. 50, с. П2-П6.
33. Стативкин Г.П., Янчеленко В.А. Усталостные поломки коленчатых валов дизелей и борьба с ними. - В кн. Труды ЦНИДИ, 1980, вып. 60, с. 37-43.
34. Кудрявцев П.И., Морозова Т.И. Развитие усталостных трещин в сталях в связи с поверхностным наклепом. - В кн.: Исследования по упрочнению деталей машин. М.: Машиностроение, 1992, 328 с, ил.
35. Жук Е.И. Исследование усталостной прочности коленчатых валов тепловозного дизеля ПД1М - Двигателестроение, 1980, № 11 - С. 23 - 26.
36. Кареев Р.В. Технологическое обеспечение надежности коленчатых валов судовых дизелей,- В кн.: Технологическое обеспечение повышения качества и долговечности деталей машин. Тула, 1978, - с. 60-62.
37. Кравчук С.П., Зимбицкий В.А., Лазарь И.В., Фрадин В.Е. Технологическое обеспечение надежности коленчатых валов - В кн.: Пути повышения качества и надежности машин: Тез. докл. Респ. конф., Минск, 1990, с.31.
38. Кравчук С.П., Бирюков М.П., Поверенная Б.Я., Зимбицкий В.А. Технологические пути повышения ресурса работы коленчатых валов - В кн.: Надежность проектируемых машин, Киев, 1984 - с. 17-18.
39. Бирюков М.П., Москаленко А.Н., Зимбицкий В.А., Поверенная Б.Я. К вопросу об усталостной прочности коленчатых валов - В кн.: Современные метода ускоренных стендовых и полигонных испытаний

тракторов и сельхозмашин на надежность и долговечность: Тез. докл. Респуб. конф., Минск, 1984 - с. 28 - 30.

40. Шрамченко С.В., Белкин Н.Я., Рулев В.И. Поверхностное упрочнение крупных коленчатых валов. - Вестник машиностроения, 1992, №1, с. 49.

41. Кригер В.Е. Влияние некоторых конструктивных факторов на запас выносливости в галтелях коленчатых валов. - В кн.: Труды НАМИ, 1988, Л 171 - с. 22-23.

42. Казанчян Т.А. Исследование выносливости стальных коленчатых валов автомобильных двигателей. - Труды НАМИ, 1987, № 3 - с. 16-21.

43. Кравчук С.П., Зимбицкий В.А., Ивандиков М.П., Кукареко В.А. Повышение усталостной прочности коленчатых валов закалкой шеек - Автомобильный транспорт, 1988, № 8 - с.35.

44. Хассельгрубер Х. и др. К определению напряжений в коленчатых валах. - В кн.: Конструкция и прочность коленчатого вала. - М.: Машгиз, 1983, - 108 с., ил.

45. Вахтель В.Ю. Учет перекрытия шеек при расчете коленчатого вала на прочность. - Тракторы и сельхозмашины, 1983, №11, с. 11 - 12.

46. Янчеленко В.А. Концентрация напряжений в галтелях коленчатых валов при изгибе. - В кн.: Труды ЦНИДИ, 1983, вып. 63, с. 77-79.

47. Янчеленко В.А., Стативкин Г.П. Исследования усталостной прочности и концентрации напряжений в галтелях коленчатого вала. - Тракторы и сельхозмашины, 1994, № 7, с. 9-11.

48. Коэффициенты концентрации напряжений. / Под общ. ред. Р.Петерсона - М.: Мир, 1987 - 302 с, ил.

49. Лейкин А.С. Расчетная методика оценки концентрации напряжений в галтелях коленчатых валов. - Вестник машиностроения, 1983, № 7, с.9-13.

50. Раскин В.И., Семенов Г.И. Концентрация напряжений в галтелях коленчатых валов при изгибе. - Автомоб. пром-ность, 1986, № 1, с. 32-35.
51. Лейкин А.С., Раскин В.И. Исследование концентрации напряжений и оценка пределов выносливости в галтелях коленчатых валов ЯМЗ. - В кн.: Труды МВМИ, 1982, вып. 12, с. 27-30.
52. Термическая обработка в машиностроении / Под ред. Лахтина Ю.М., Рахштадта А.Г. - М.: Машиностроение, 1980, - 784 с, ил.
53. Прочность коленчатых; валов тракторных двигателей / ГарфМ.Э. и др. - Изд-во АН УССР, 1985, - 200 с, ил.
54. Степнов М.Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний - М.Машиностроение, 1982 - 232 с., ил.
55. Кудрявцев И.В. и др. Усталостная прочность коленчатых валов в зависимости от глубины поднутрения при пластическом выдавливании галтелей – Вестник машиностроения, 1989, № 8 - с.19 - 21.
56. Кравчук С.П., Зимбицкий В.А., Сидоренко С.В., Шепель С.Р. Стендовые испытания деталей кривошипно-шатунной группы - В кн.: Методы и средства стендовых испытаний узлов и агрегатов тракторов: Тез. докл. Всесоюзн. конф. Челябинск, 1989 - с.16 - 17.
57. Кудрявцев П.И. Задержка развития трещин усталости: в результате применения поверхностного наклепа. – Вестник машиностр., 1982, № 1- с. 57 - 60.
58. Кудрявцев И.В. О причинах вызывающих остановку развития усталостной трещины - Зав. лаб. 1985, № 7 с. 854 - 859.
59. Шепеляковский К.З., Постников Ю.Я., Долецкий В.А., Русов К.Д. Повышение выносливости коленчатых валов поверхностной закалкой при глубинном нагреве. - Вестник машиностроения, 1985, № 4 – с. 70.
60. Школьник Л.М. и др. Пути повышения эффективности поверхностного упрочнения тепловозных коленчатых валов - Вестник машиностроения, 1992, № 1, - с. 47 - 48.

61. Проскуряков Ю.Г., Меньшаков В.М. Деформирование поверхностных неровностей при накатке роликом или шариком - Изв. вузов машиностр., 1982, № 8, с. 187-198.

62. Баранова Н.Б. Коленчатые валы тракторных двигателей повышенной надежности и долговечности. - М.: НИИНАвтосельхозмаш, 1985. - 56 с., ил.

63. Кудрявцев И.В., Рымынова Е.В. Метод упрочнения ступенчатых валов с малыми галтелями. - В кн.: Конструктивная прочность сталей и сплавов и методы ее оценки. М.; МДНТП, 1982, - с. 63 - 64.

64. Зайцев Г.З., Бургсдорф И.И. Остаточные напряжения - критерий выбора режимов упрочнения поверхностным деформированием. - Тракторы и сельхозмашины, 1988, № 1 - с.28 - 30.

65. Жук Е.И. Повышение срока службы подшипников скольжения тепловозных дизелей на базе усовершенствования конструкции коленчатого вала. - Вестник машиноотр., 1988, № 7 -с. 21-23.

66. Повышение надежности и долговечности коленчатых валов транспортных дизелей / Стеценко Е.Г. и др. / - М.: Транспорт, 1995. - 138 с, ил.

67. Балтер М.А. Влияние структуры стали на ее усталостную прочность после ВДЦ - В кн.; Исследования по упрочнению деталей машин. М.: Машиностр., 1992 - 328 с, ил.

68. Кудрявцев И.В. Поверхностный наклеп для повышения прочности и долговечности деталей машин. - М.: Машиностр., 1989, - 100 с, ил.

69. Кудрявцев И.В., Рымынова Е.В. Повышение твердости и усталостной прочности в результате наклепа для сталей с различными структурами. - В кн.: Труды ЦНИИТМАШ, 1991, № 18 - С. 4 - 10.

70. Булыгин Ю.С., Ройфберг Е.М., Таранта В.А. Состояние и перспективы повышения усталостной прочности коленчатых валов двигателей тракторов и сельскохозяйственных машин – М.: ЦНИИТЭИТракторсельмаш, 1984 - с. 3 - 38.
71. Чернышов Г.Д. и др. Повышение надежности дизелей ЯМЗ и автомобилей КраЗ – М.: Машиностроение, 1984 - 288 с., ил.
72. Шепеляковский К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве - М.: Машиностроение, - 288 с., ил.
73. Головин Г.Ф. Остаточные напряжения, прочность и деформации при поверхностной закалке токами высокой частоты - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд - ние, 1983, - 144 с., ил.
74. Демичев А.Д. Поверхностная закалка индукционным способом - Д.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989 - 80 с., ил.
75. Головин Г.Ф., Зимин Н.В. Технология термической обработки металлов с применением индукционного нагрева - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989 - 120 с., ил.
76. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. - М.; Машиностроение, 1988 - 196 с., ил.
77. Карпенко Г.В. Влияние среды на прочность и долговечность металлов - Киев. Наукова думка, 1986 - 123 с., ил.
78. Механика разрушения. Быстрое разрушение, остановка трещин / Под ред. А.Ю.Ишлинского, Г.Г.Черного - М.: Мир, 1991 - 254 с., ил.
79. Черняк К.И. Механические свойства стали в области малых пластических деформаций - Киев» Из-во АН УССР, 1982, -103 с., ил.
80. Серенсен С.В. и др. Валы и оси. Конструирование и расчет, - Изд. 2-е, перераб. и доп. М.:. Машиностроение, 1990, 319 с., ил.
81. Малинина Е.И. Образование трещин при термической обработке стальных изделий - Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1995 - 176 с., ил.

82. Браун У., Сроули Дж. Испытания высокопрочных металлических материалов на вязкость разрушения при плоской деформации. - М.: Мир, 1982 - 246 с., ил.
83. Вейбулл В. Усталостные испытания и анализ их результатов. - М.: Машиностроение, 1984 - 275 с., ил.
84. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы, Изд. 2-е перераб. и доп. М.; Металлургия, 1991 - 496 с., ил.
85. Ван-дер-Варден Б.Л. Математическая статистика – М.: Из-во иностр. лит-ры, 1980 - 434 с., ил.
86. Ларионов В.В., Махутов Н.А. Определение пороговых значений коэффициента интенсивности напряжений при циклических нагрузках - Зав. лаб., 1988, № 6 - с. 739 -742.
87. Даунис М.А. Закономерности малоциклового деформирования и разрушения с учетом внутренней и внешней нестационарности. - Автореф. дис. докт. техн. наук - М., 1980 -50 с, ил.
88. Микляев П.Г., Нешпор Г.С., Кудряшов В.Г. Кинетика разрушения - М.: Металлургия, 1989 - 278 с., ил.
89. Школьник Л.М. Скорость роста трещин и живучесть металла - М.: Металлургия, 1983 - 315 с., ил.
90. Крафт И., Ирвин Г. О влиянии скорости распространения трещины - В кн.; Прикладные вопросы вязкости разрушения - М.: Мир, 1988 – 552 с., ил.
91. Браун У., Сроули Дж. Испытания высокопрочных металлических материалов на вязкость разрушения при плоской деформации. - М.: Мир, 1982 - 246 с., ил.
92. Композиционные материалы. Т. 5. Разрушение и усталость / Под ред. Л. Браутмана - М.: Мир, 1988 - 484 с., ил.
93. Разрушение Т. 2. Математические основы теории разрушения / Под ред. Г. Либовица - М.: Мир, 1985 - 764 с., ил.

94. Финкель В.М. Физические основы торможения разрушения – М.: Металлургия, 1987 – 360 с., ил.
95. Трощенко В.Т. Усталость и неупругость металлов – Киев, Наукова думка, 1981 – 268 с., ил.
96. Школьник Л.М. Скорость роста трещин и живучесть металла – М.: Металлургия, 1983 – 315 с., ил.
97. Степанов А.В. Основы практической прочности кристаллов – М.: Наука, 1984 – 132 с., ил.
98. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов – М.: Металлургия, 1985 – 456 с., ил.
99. Усталость и вязкость разрушения металлов. / - М. Наука, 1984 – 262 с., ил.
100. Механика разрушения. Разрушение конструкций. / Под общ. ред. А.Ю. Ишлинского и Г.Г.Черного – М. Мир, 1980 – 256 с., ил.
101. Касаткин Б.С. Структура и микромеханизм хрупкого разрушения стали – Киев, Техника, 1984 – 254 с., ил.
102. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упруго-пластического разрушения. – М.: Наука, 1984 – 416 с., ил.
103. Иванова В.С. Разрушение металлов. – М.: Металлургия, 1989 – 168 с., ил.
104. Трощенко В.Т. Прочность металла при переменных нагрузках – Киев, Наукова думка, 1988 – 174 с., ил.
105. Микляев П.Г., Нешпор Г.С., Кудряшов В.Г. Кинетика разрушения – М.: Металлургия, 1979 – 278 с., ил.
106. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения – М.: Наука, 1984 – 640 с., ил.
107. Разрушение Т.2. Математические основы теории разрушения / Под ред. Г. Либовица – М.: Мир, 1985 – 764 с., ил.



108. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердости тел – М.: Металлургия, 1981 – 764 с., ил.

109. Коцаньда С. Усталостное разрушение металлов – М.: Металлургия, 1976 – 456 с., ил.

110. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / Под ред. С.В. Серенсена – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 452 с., ил.

111. Композиционные материалы. Т.5. Разрушение и усталость / Под ред. Л. Браутмана – М.: Мир, 1978 – 484 с., ил.