**Тупикин Дмитрий Александрович. Термоэлектрический метод контроля накопленных повреждений в металле при многоцикловой усталости, на примере алюминиевого сплава : Дис. ... канд. техн. наук : 05.02.11 : Орел, 2003 170 c. РГБ ОД, 61:04-5/551-6**

ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ТУП И КИН Дмитрий Александрович

УДК 621.3.082.6:539.422.24

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ НАКОПЛЕННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В МЕТАЛЛЕ ПРИ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ, НА ПРИМЕРЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

Специальность 05.02.11 - Методы контроля и диагностика в

машиностроении

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор КОРНДОРФС.Ф.

Орел, 2003 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1 УСТАЛОСТЬ МЕТАЛЛОВ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЕЕ

ХАРАКТЕРИСТИК 10

1. [Понятие усталости и обеспечение надежности деталей при их эксплуатации 10](#bookmark2)
   1. Периоды усталостного разрушения 14
2. [Критерии оценки характеристик усталости 19](#bookmark5)
3. Методы контроля усталостных явлений 25

[Выводы по 1 главе 36](#bookmark10)

ГЛАВА 2 ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПОСОБНОСТЬ МЕТАЛЛОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УСТАЛОСТИ 37

1. Теоретический обзор физической сущности термоэлектрических свойств металлов 37
2. [Пластические деформации при усталости и их влияние на термоэлектрическую способность 42](#bookmark13)
3. [Способ контроля термоэлектрической способности 47](#bookmark16)
4. Факторы, влияющие на контроль термоэлектрической способности методом контактирующих электродов 51

[Выводы по 2 главе 61](#bookmark20)

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СПОСОБНОСТИ И ЕГО ИССЛЕДОВАНИЕ 62

1. Средство контроля термоэлектрической способности металлов 62
2. [Определение времени установления квазистационарного теплового режима при контроле 69](#bookmark21)
3. [Влияние усилия прижатия на величину термоэлектрической способности 72](#bookmark23)
4. [Влияние вариаций контактного взаимодействия на результаты контроля 78](#bookmark27)

з

1. Анализ теоретической погрешности результатов измерения

термоэлектрической способности 83

[Выводы по 3 главе 87](#bookmark30)

ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛА ОТ

УРОВНЯ НАКОПЛЕННЫХ УСТАЛОСТНЫХ

ПОВРЕЖДЕНИЙ 88

1. Постановка задачи экспериментального исследования 88
2. Методика экспериментального определения функциональной связи между уровнем накопленных усталостных повреждений и изменениями термоэлектрических свойств металла 91
3. Выбор материала исследуемого объекта 91
4. Выбор параметров образцов и способа их циклического нагружения 92
5. Стенд для циклического нагружения плоских пластин 95
6. Условия и порядок проведения эксперимента 101
7. Термоэлектрические свойства исследуемых пластин в начальном состоянии и после циклического нагружения до предельного состояния 105
8. Определение параметров зависимости циклической долговечности от амплитуды действующих напряжений и

оценка относительного уровня накопленных повреждений 108

1. Анализ зависимости изменений термоэлектрических свойств металла от уровня накопленных усталостных повреждений и определение их функциональной связи 112
2. Метод контроля относительного уровня накопленных усталостных повреждений по изменению термоэлектрической способности поверхностного слоя металла 121

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 127

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 129

ПРИЛОЖЕНИЯ 138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы.

Контроль усталости конструкционных материалов и, в частности, алюминиевых сплавов, является одной из важных современных технологических проблем, связанных в первую очередь с безопасностью эксплуатации аэрокосмической техники, а также энергетических установок, трубопроводов, транспортных и других ответственных конструкций, испытывающих при работе циклические нагрузки.

Анализ состояния материала, имеющего определенную степень усталостной деградации является сложной задачей, поскольку процесс усталости многоэтапен. В простейшем случае выделяются два этапа. Первый представляет собой процесс накопления рассеянной поврежденности в виде пластических деформаций на кристаллическом уровне: размножаются и перемещаются вакансии и дислокации, идет их объединение в сплетения, образование ячеистой дислокационной структуры. Начало второго этапа характеризуется переходом ячеистой структуры в полосы скольжения, зарождением в них микротрещин в тех местах, где плотность дислокаций наиболее высока, затем микротрещины развиваются в трещины и происходит разрушение материала. Относительная длительность первого этапа усталостного разрушения увеличивается с уменьшением амплитуды циклических напряжений, действующих в металле, в результате чего на практике, для деталей, не имеющих изначальных технологических дефектов, его длительность составляет от 60 до 90% общей долговечности. Механизмы разрушения на указанных этапах различаются, что вынуждает контролировать их различными методами.

Контроль усталости ответственных деталей, от которых непосредственно зависит безопасность эксплуатации сложных конструкций и механизмов, должен осуществляться с ее первого этапа, причем с использованием неразрушающих методов. Известные методы контроля усталости на первом её этапе либо пригодны только для ферромагнитных металлов, либо позволяют осуществлять контроль изделий только в процессе их эксплуатации.

В связи этим возникает необходимость в разработке неразрушающего метода контроля накопленных усталостных повреждений на первом этапе разрушения, позволяющего контролировать сплавы цветных металлов, причем как в процессе эксплуатации, так и при техническом обслуживании. Метод так же должен сочетать высокую локальность контроля, позволяющую выявлять очаги будущего разрушения, простоту средств контроля и их применения, с целью его использования при технической диагностике до начала трещинообразования.

Целью работы является разработка метода и средства контроля относительного уровня накопленных усталостных повреждений в металле на примере алюминиевого сплава до образования в нем микротрещин.

Основные задачи работы следующие:

* Анализ существующих неразрушающих методов контроля структурных изменений в металлах, сопровождающих начальные этапы усталости, и границ их применимости;
* Выявление взаимосвязи изменения термоэлектрических свойств с процессом накопления повреждений на начальном этапе усталости;
* Анализ факторов, влияющих на точность контроля термоэлектрических свойств металлов, и выявление возможностей снижения их влияния;
* Разработка требований к средству контроля относительного уровня накопленных усталостных повреждений по изменению термоэлектрической способности поверхностного слоя металла и экспериментальной установки обеспечивающей их выполнение;
* Разработка методики экспериментального определения функциональной связи между уровнем накопленных усталостных повреждений и изменениями термоэлектрических свойств металла на примере алюминиевого сплава при многоцикловой усталости.

Методы и средства исследования.

При выполнении работы применялись аналитические методы, методы корреляционного и регрессионного анализа, математической статистики и теории точности.

Экспериментальные исследования проводились на специально разработанных стендах с помощью универсальных электроизмерительных приборов. Обработка экспериментальных данных проводилась в программных пакетах *Microsoft Excel, Mathsoft MathCAD, Jandel Scientific Software Table Curve 3D.*

Научная новизна работы заключается в следующем:

* Установлена зависимость изменения термоэлектрической способности металлов, на примере алюминиевого сплава, от относительного уровня накопленных усталостных повреждений при циклическом нагружении;
* Установлено, что при циклическом нагружении сплава Д16Т его термоэлектрическая способность возрастает, причем наиболее сильно она изменяется при относительном уровне накопленных повреждений от 40 до 70%, а при больших и меньших значениях уровня повреждений её изменения незначительны;
* Показано, что изменение термоэлектрической способности сплава Д16Т, соответствующее его усталостному разрушению, прямо пропорционально , амплитуде действующих циклических напряжений;
* Получена расчетная зависимость позволяющая снизить погрешность определения термоэлектрической способности поверхности металла за счет учета термоэлектрических свойств электродов контрольных термопар.

Практическую ценность представляет:

* Метод контроля относительного уровня накопленных усталостных повреждений по изменению термоэлектрической способности поверхностного слоя металла;
* Экспериментальная установка для контроля термоэлектрической способности поверхностного слоя металлов и рекомендации для конструктивной разработки средства контроля, реализующего ' разработанный метод;

• Методика экспериментального определения функциональной связи между уровнем накопленных усталостных повреждений и изменениями термоэлектрических свойств металла.

Апробация работы

Материалы диссертационного исследования докладывались на научно- технических конференциях:

1. Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения - Технология - 2001. Международная дистанционная научно-техническая конференция. ОрёлГТУ, г. Орёл, 1 марта - 10 сентября,
2. г.
3. Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики. II международная научно-практическая конференция, Южно-Росссийский государственно технический университет (ИЛИ), г. Новочеркасск, 21 сентября 2001 г.
4. Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве. Региональная научно-техническая конференция, Воронежский ГТУ, г. Воронеж, 23-25 апреля 2002 г.
5. Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики. III международная научно-практическая конференция, Южно-Росссийский государственно технический университет (НПИ), г. Новочеркасск, 21 сентября 2002 г.
6. Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения - Технология - 2002. Международная дистанционная научно-техническая конференция. ОрёлГТУ, г. Орёл, 1 марта - 10 сентября,
7. г.
8. Инженерно-физические проблемы новой техники - 7-е Всероссийское научно-техническое совещание-семинар. НУК МТ МГТУ им. Н. Э. Баумана

совместно с МГУ им. М. В. Ломоносова, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и Институтом психологии РАН. Москва 20-22 мая, 2003 г.

1. Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения - Технология - 2003. Международная дистанционная научно-техническая конференция. ОрёлГТУ, г. Орёл, 1 марта - 10 сентября, 2003 г.
2. Состояние и перспективы развития термоэлектрического приборостроения. Всероссийская научно-техническая конференция.

Дагестанский ГТУ. Махачкала. 21-24 октября 2003 г.

Положения, выносимые на зашиту;

1. Метод контроля относительного уровня накопленных усталостных повреждений по изменению термоэлектрической способности

поверхностного слоя металла.

1. Эмпирические зависимости между изменениями термоэлектрической способности поверхности алюминиевого сплава Д16Т и относительным уровнем накопленных усталостных повреждений при многоцикловой усталости.
2. Модифицированный способ контроля термоэлектрической способности поверхности металлов.
3. Экспериментальная установка для контроля термоэлектрической способности поверхностного слоя металлов и рекомендации для конструктивной разработки средства контроля, реализующего разработанный метод.

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано 10 печатных работ, подано две заявки на изобретения.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа изложена на 136 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунков и 12 таблиц. Состоит из введения, 4-х глав,

включающего

заключения, списка использованных источников, наименований и приложений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными результатами работы являются следующие:

**1** .Для контроля ответственных деталей, как непосредственно в процессе эксплуатации, так и при техническом обслуживании, из всех известных неразрушающих методов контроля структурных изменений в металлах, сопровождающих начальные этапы усталости, по критериям локальности, экспрессности, простоты реализации средств контроля. и применения наиболее подходящим является термоэлектрический метод

1. Процесс накопления повреждений на начальном этапе усталости преимущественно представляет собой рост плотности дислокаций и, следовательно, оказывает влияние на термоэлектрические свойства металлов в связи с их высокой чувствительностью к дефектам кристаллической решетки. Однако точность существующих способов и устройств для контроля термоэлектрических свойств недостаточна для контроля накопленных усталостных повреждений по изменению термоэлектрической способности поверхностного слоя металла.

3.Экспериментально показано, что при циклическом нагружении сплава Д16Т его термоэлектрическая способность возрастает, причем наиболее сильно она изменяется при относительном уровне накопленных повреждений от 40 до 70%, а при больших и меньших значениях уровня повреждений её изменения незначительны. Разработан метод контроля относительного уровня накопленных усталостных повреждений по изменению термоэлектрической способности поверхностного слоя металла.

1. Установлена возможность применения термоэлектрического метода для контроля относительного уровня накопленных повреждений и прогнозирования остаточного ресурса в диапазоне от 27-40% до 70-94% полного ресурса изделий из сплава Д16Т в зависимости от значений действующих циклических напряжений.
2. Для сплава Д16Т экспериментально установлено, что изменение термоэлектрической способности, соответствующее его усталостному разрушению, монотонно возрастает с ростом амплитуды действующих циклических напряжений.
3. Аналитически и экспериментально показано, что погрешность контроля термоэлектрических свойств способом контактирующих электродов сильно зависит от погрешности определения перепада температур между электродами и значения усилия прижатия горячего электрода к контролируемой поверхности.
4. Получена расчетная зависимость позволяющая снизить погрешность определения термоэлектрической способности исследуемого материала за счет учета термоэлектрических свойств контрольных термопар,.

**8**.Экспериментально подтверждена правомочность определения усилия прижатия горячего электрода к контролируемой поверхности, обеспечивающего отсутствие её повреждений и минимальную дисперсию результатов контроля, по значениям радиуса кривизны наконечника горячего электрода, предела текучести и шероховатости контролируемого материала.

1. На основе предлагаемого способа контроля термоэлектрической способности поверхностного слоя металлов разработаны рекомендации для конструктивной реализации средства контроля и экспериментальная установка, реализующая разработанный метод.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ источников

1. ГОСТ 23207-78 «Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения»
2. Бабич В.К., Гуль Ю.П, Долженков И.Е. Деформационное старение стали. Изд-во «Металлургия», 1972,320с.
3. ГОСТ 9.710-84 Старение полимерных материалов.
4. ГОСТ 25.502 - 79 «Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость»
5. ГОСТ 25.507 — 85 «Методы испытаний на усталость при

эксплуатационных режимах нагружения»

1. Перель Л.Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник. - М.: Машиностроение, 1983. — 543 с.
2. Гусев А. С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках.— М.: Машиностроение, 1989.— 248 с.: ил.— (Б- ка расчетчика/Ред. кол.: Н. Н. Малинин (пред.) и др.).
3. Иванов М.Н. Детали машин.—М.:Высш.шк., 1991.—383 с.
4. Мозберг Р.К. Материаловедение.—М.:Высш.шк., 1991.-448 с.
5. Усталостное разрушение металлов. Коцаньда С. Пер. с польск. М.: «Металлургия», 1976. 456 с.

И. Степнов М Н, Гиацинтов Е. В. Усталость легких конструкционных сплавов. М, «Машиностроение», 1973, 320 с

1. Бастенаэр Ф., Бастьем М, Помэ Ж. Статистический анализ результатов новых усталостных испытаний // Усталость и выносливость металлов: Пер. с англ. /Под ред. Г.В. Ужика. - М.: Изд-во иностр. лит., 1963. — с. 390-406.
2. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. - Киев: Наук, думка, 1981. - 343 с.
3. Павлов П.А. Основы инженерных расчетов на усталость и длительную прочность. —Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988 — 252 с.
4. Кудрявцев П. И. Нераспространяющиеся усталостные трещины. — М.. Машиностроение, 1982.— 171 с., ил.
5. Природа усталости металлов. Иванова B.C., Терентьев В.Ф. М.,«Металлургия», 1975. — 456 с.
6. Школьник Л.М. Скорость роста трещин и живучесть металла.— М.: «Металлургия», 1973.— 216 с.
7. Мороз Л. С. Механика и физика деформаций и разрушения металлов. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 224 с.
8. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1984.-312 с.
9. Разрушение металлов. Серия «Достижения отечественного металло­ведения». Иванова В. С. М., «Металлургия», 1979. 168 с.
10. Орлов А.В., Черменский О.Н., Нестеров В.М. Испытания конструкционных материалов на контактную усталость. — М.: Машиностроение, 1980.— 110 с
11. Методика усталостных испытаний. Справочник. Школьник Л.М. М.: «Металлургия», 1978. 304 с.
12. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник/ В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский — Киев: «Наукова думка», 1987.— 1238 с.
13. Испытание материалов. Справочник. Под ред. X. Блюменауэра. Пер. с нем. 1979 г. 448 с.
14. Вейбулл В. Усталостные испытания и анализ их результатов. — М.: «Машиностроение». 1964.-376с.
15. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. — М.: Машиностроение, 1988.
16. Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металла. - М.: Машиностроение, 1982.
17. Дорофеев А. Л., Казаманов Ю. Г. Электромагнитная дефектоскопия. — 2-е изд., переработ, и доп. —М.: Машиностроение, 1980. —232 с.
18. Форрест. П. Усталость металлов. Перевод с англ, под ред. академика АН УССР С. В. Серенсена. М. «Машиностроение». 1968, 352с.
19. Горбачев Л. А., Лебедев Т. А., Маринец Т. К. В сб. «Труды Ленинградского политехнического института», № 314 Изд-во «Машиностроение», 1970, с. 128.
20. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий Справочник. В 2-х кн. Под ред. В. В. Клюева. Кн. 1 М. ^Машиностроение», 1976.
21. Братина У.— В кн.: Влияние дефектов на свойства твердых тел. Физическая акустика. Т. III. Часть А. М., «Мир», 1969, с. 263—346.
22. Ультразвуковые методы исследования дислокаций. Сборник статей. М.: «Изд. Иностранной Литературы», 1963, 376 с.
23. Дубов А.А., Матюнин В.М. Ранняя диагностика повреждений лопаток с использованием метода магнитной памяти металла //Тяжелое машиностроение, №10,2001. с.32-33.
24. Касимов Г.А. Электромагнитный контроль усталостного разрушения при испытании образцов и конструкций : Дисс. канд. техн. наук. — М.: 1976.-187с.
25. Избранные методы исследования в металловедении /Под ред. Хунгера Г. И. Пер с нем —М.: Металлургия, 1985,416 с
26. Лухвич А.А. Структурная зависимость термоэлектрических свойств и неразрушающий контроль /А.А.Лухвич, А.С.Каролик, В.И.Шарандо.- Минск: Навука і тзхніка, 1990,-192с.
27. Нестерович Ю.И. О возможности контроля поверхностной твердости изделий посредством термоЭДС. // Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. В 3 частях. Часть 2. - Н.Новгород: Верхне-Волжское отделение Академии технологических наук РФ, 2000. -С. 26.
28. Иванова B.C. Усталостное разрушение металлов. - М/.Металлургиздат, 1963.-273 с.
29. Денель А.К. Дефектоскопия металлов. — М.:«Металлургия», 1972.— 304с.
30. Минц Р.И., Кортов B.C., Александров В.Л., Крюк В.И. - ФММ, 1968, т.
31. №4, с. 681-687
32. Теория термической обработки. Учебник для вузов. Блантер М. Е. М.: Металлургия, 1984, 328 с.
33. Лухвич А.А. Влияние дефектов на электрические свойства металлов. — Мн.: Наука и техника, 1976., 104 с.
34. Вильсон А. Квантовая теория металлов. - М.: 1941.
35. Займан Дж. Электроны и фононы. - М.: Наука, 1962.
36. Mott N. F., Jones Н. Theory of the Properties of Metals and Alloys. Oxford, 1936. (Clarendon Press)
37. Nordheim L., Gorrter C.J. Physica, 2, 1935, 383.
38. Kohler M. Z. Phys., 126, 1949, 481.
39. Gold A.V., MacDonald D.K.C. Phil. Vfg., 5,1960, 765.
40. Лухвич А.А., Шарандо В.И. // Дефектоскопия, 1985, № 10, с. 60-63.
41. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Наука, 1982.
42. Лухвич А.А., Шарандо В.И., Лухвич А.С. и др. Исследование влияния структурных дефектов на физические свойства магнитных материалов и разработка метода их контроля. Отчет о НИР № 0286. 0001510. ИПФ АН БССР.-Мн., 1985.
43. G. Borelius Handbuch der Metallphysik (edited by G Masing), Vol 1, Part 2, p410,1935 Leipzig (Akademische Verlagsgesellschaft)
44. G. W. Brindley Rep Conf on Strength of Solids (Phys Soc), 1948, p. 95
45. C. Crussard Ibid., p. 119
46. M. J. Druyvesteyn and K. J. Block van Laer. Nature, 1954, 173. 591.
47. M. J. Druyvesteyn and H. Mensen Appl. Sci. Research, 1955, [B], 4 388
48. M. J. Druyvesteyn and D. J. van Ooijen Ibid, 1956, [B], 5,437. 5,437
49. D. J. van Ooiien Ibid, 1956, [B], 5,442
50. Акулов Н.С. Дислокации и пластичность. Мн., 1961. 109 с.
51. Акулов Н.С., Лухвич А.А.//Докл. АН БССР. 1969. Т. 10, № 9. С.632— 635.
52. Кунин Н.Ф., Афанасьева Л.И., Козлова С.С. Динамический эффект наведенной термосилы при различных температурах деформации. Физика металлов и материаловедения. 1961, 12, в.4 (с. 595-599).
53. Трощенко В.Т., Афонин А.И., Хамаза Л.А.—«Проблемы прочности», 1973, т.5, № **6**, с. 3-7.
54. Васинюк И.М., Хамаза Л.А.— «Проблемы прочности», 1973, т. 5, № 4, с.75—77.
55. Трощенко В.Т. Усталость и неупругость металлов. Киев, «Наукова Думка», 1972, 268 с.
56. Гордов А.Н. и др. Основы температурных измерений/ А.Н. Гордов, О.М. Жагулло, А.Г. Иванова. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 304с.: ил.
57. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи: Пер. с англ. -М.:Мир, -1983.
58. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы нестационарной теплопроводности. — М.: Высш. шк., 1978.
59. А.с. 9499453 МКИЗ G 01 N 25/32 Термоэлектрическое устройство для контроля металлов и сплавов / Лухвич А.А., Недбальский И.И., Шарандо В.И., Опубл. 07.08.82. Бюл. № 29.
60. А.с. 693201 МКИЗ G 01 N 25/30 Устройство для термоэлектрического контроля металлов и сплавов / Блинов О.М., Беленький А.М., Бердышев

В.Ф., Опубл. 25.10.79. Бюл. № 39.

1. А.с. 596869 МКИЗ G 01 N 25/30, G 01 N 25/64 Термоэлектрическое устройство для контроля металлов / Коробейников И.Н., Аржанцева Н.И., Опубл. 05.03.78. Бюл. № 9.
2. А.с. 832434 МКИЗ G 01 N 25/32 Устройство для термоэлектрического контроля металлов и сплавов / Коваль Ю.Ф., Супрунов В.П., Шатько И.И., Цейтлин А.Н., Опубл. 23.05.81. Бюл. № 19.
3. А.с. 783666 МКИЗ G 01 N 25/32 Термоэлектрическое устройство для контроля металлов и сплавов / Лухвич А.А., Шарандо В.И., Опубл. 30.11.80. Бюл.№ 44.
4. А.с. 706759 МКИЗ G 01 N 25/32 Термоэлектрическое устройство для контроля металлов / Коробейников И.Н., Хвесько В.А., Гриднев А.Т., Голяев В.И., Опубл. 30.12.79. Бюл. № 48.
5. ГОСТ Р 8.585-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования
6. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы нестационарной теплопроводности. — М.: Высш. шк., 1978.
7. Воронцов **JT.H.** Теоретическое исследование внедрения наконечников контактных устройств активного контроля в сплошное тело изделия // Известия вузов. Машиностроение. -1999. — №1.С. 35-40.
8. Кунин Н.Ф. Изменение термосилы металлов подгруппы меди под действием пластической деформации при различных температурах / Н.Ф. Кунин, И.З. Меламенд - Физика металлов и металловедение, т.И,

в.З, 423-427, 1956.

1. Карелин И.А. Афанасьева Д.И. Изменение термоЭДС меди при упругом и пластическом растяжении. Методический сборник пединститута, Челябинск, 1953, 146с.
2. Mortlock A.J. The effect of tension on the termoelectrik properties of metals/ Austral, J.Phys., 1953,6,№4.
3. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством: Учеб. для вузов / Под ред. акад. Н.С. Соломенко. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 342 с.
4. Рудзит Я.А., Плуталов В.Н. Основы метрологии, точность и надежность в приборостроении: Учеб. пособие для студентов приборостроительных специальностей вузов. - М.: Машиностроение, 1991. - 304 с.
5. Металловедение и термическая обработка стали: Справ, изд. В 3-х т./Под ред. Бернштейна M.JI., Рахштадта А.Г. - 4-е изд., прераб. и доп. Т.1. Методы испытаний и исследования. В 2-х кн. Кн 2. М., Металлургия, 1991. 462 с.
6. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Металургия, 1993, 448с.
7. Серенсен С.В., Гарф М.Э., Кузьменко В.А. Динамика машин для испытаний на усталость. М.: Машиностроение, 1967, 460 с.
8. Испытательная техника: Справочник. В 2-х кн./ Под ред. В.В.Клюева. — М.: Машиностроение, 1982 — Кн.1, 1982. —528 с., ил.
9. Ицкович Г. М. Сопротивление материалов: Учебник для учащихся машиностроит. техникумов — **6**-е изд., испр. — М.: Высш. школа, 1982.—383 с, ил.
10. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов М.: «Машиностроение». 1981.-392с.
11. Лавренчик В.Н Постановка физического эксперимента и статистическая обработка его результатов.: Учеб. пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. -272 с.
12. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб пособие для втузов. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1988.-239 с.
13. Либерман Б. Я. "Машины для испытаний подшипников качения" -М.: "Машиностроение", 1965
14. Лыков А. В. Теория теплопроводности —М.: Машиностроение, 1967.
15. Теплопроводность твердых тел: Справочник/ А.С. Охотин, Р.П. Боровикова, Т.В. Нечаева, А.С. Пушкарский; Под ред. А.С. Охотина.- М.: Энергоатомиздат, 1984.
16. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения :ГОСТ 16504-81: -М., 1981.-25 с.
17. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов /
18. С.Иванова. М.: Наука, 1992.160 с.
19. Иванова В. С., Гордиенко Л. К. — В кн.: Прочность металлов при переменных нагрузках. М., Изд-Bo АН СССР, 1963, с. 23—37.; Металлургия, металловедение, физико-химические методы исследования (Труды Института металлургии им. А. А. Байкова. Вып. 13). М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 29—38.
20. Иманкулов А.— Ученые записки Киргизского государственного университета, 1957, вып. 4, с. 109—117.
21. Марковец М. П., Баранов В. В. — В кн.: Конструктивная прочность сталей и сплавов и методы ее оценки, М., 1972, с. 83—86.
22. Беляев В. И. Исследование процесса усталости металлов. Минск, изд. Мин. высш., среднего специального и профес. образов. БССР, 1962. 112 с. с ил.
23. Беляев В. И., Лебедев Т. А.— «Труды Ленингр. политех, ин-та», 1953, №4, с. 123—137.
24. Козаков В. А., Наумов С. Л., Лубяный В. В.— В кн.: «Неразрушающий контроль ферромагнитных материалов изделий методом высших гармоник. Томск, ТЛИ, 1971, с. 145-147.
25. Козаков В. А., Наумов С. Л., Лубяный В. В.—1 "В кн.: Доклады 1-й Всесоюзной межвузовской конференции по электромагнитным методам контроля качества материалов и изделий. Ч. 2. М., 1972, с. 136—139.
26. Кунин Н.Ф., Афанасьева Л.И., Козлова С.С. Динамический эффект наведенной термосилы при различных температурах деформации. Физика металлов и материаловедения. 1961, 12, в.4 (с. 595-599).
27. Суворов Л.М. Термоэлектрический метод измерения толщины гальванических покрытий // Заводская лаборатория. - 1964. - №**8**.
28. 959-962.
29. Павлов Б.П. Термоэлектрическая неоднородность электродов термопар. — М.: Изд-во стандартов, 1979.-72 с.
30. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. - 2-е изд. перераб. и доп. - Л.: Энегоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991.-304 с.
31. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. - М.: Машиностроение, 1985. — 232с.
32. Структура и механические свойства металлов. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. М.:Изд-во Металлургия, 1970,472 с.
33. Решетов Д.Н. Надежность машин: Учеб. пособие для машиностр. спец вузов/Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев; Под ред. Д.Н. Решетова. — М.: Высш. шк., 1988. - 238 с.