

Министерство образования и науки Российской Федерации



СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Сибирский государственный
индустриальный университет



Научно-образовательный
центр «МашиноСтроение»

Новокузнецкий филиал-институт
Кемеровского государственного университета

Кыргызский государственный технический университет
им. И. Раззакова

Кузбасский научный центр Сибирского отделения Международной
Академии Наук Высшей школы

Институт промышленного проектирования угольных предприятий

ISSN 2307-342X

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ МАШИН:

**Материалы Второй Международной
заочной научно-практической конференции**

Новокузнецк, 2014

УДК 621.01 : 531.8
ББК 34.41
С56

С56 Современные проблемы теории машин: Материалы II международной заочной научно-практической конференции / НОЦ «МС». – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2014. – 183 с.

Представлены Материалы II международной заочной научно-практической конференции «Современные проблемы теории машин». Научно-практическая конференция посвящена обмену опытом и новыми научными достижениями в области исследования и проектирования машин и механизмов различного назначения. Направления работы конференции: 1) Фундаментальные исследования в области машиностроения; 2) Наука и образование в области машиностроения; 3) Теория механизмов и машин; 4) Современная методология проектирования машин и механизмов; 5) Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры; 6) Механика деформируемого твердого тела.

Материалы могут быть полезными для научных и инженерно-технических работников, докторантов, аспирантов и студентов машиностроительного профиля.

Редакционная коллегия:

Дворников Л.Т. – главный редактор,
Жуков И.А. – заместитель главного редактора,
Андреева Я.А. – ответственный секретарь.

Полные тексты статей доступны на сайте <http://elibrary.ru>.

Сборник трудов имеет статус периодического издания (Современные проблемы теории машин. – 2014. – №2), включен в следующие базы данных цитирования: РИНЦ, Ulrich's International Periodicals Directory; проходит регистрацию в Index Copernicus, Google Scholar, Scopus.

ISSN 2307-342X

© Авторы, 2014
© СибГИУ, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Жуков И.А., Молчанов В.В., Андреева Я.А. К проблеме учёта и встраивания сложных форм бойков ударных систем	6
Федосеева М.А. Уравновешенность современных судовых двигателей	10
Андреева Я.А., Пономарева А.В. Уравновешенная двухсателлитная планетарная передача	12
Гараников В.В. Экспериментальное исследование стали 9Х2 при циклическом изменении напряжений.....	15
Степанов А.В. О реализации и повышении эффективности поиска целочисленных решений универсальной структурной системы профессора Л.Т. Дворникова	18
Бородин А.В., Иванова Ю.А. Шаровый подпятник буксы грузового вагона ..	31
Куклин С.А. Контактные задачи при качении.....	33
Зеньков С.А., Товмасын Э.С. Математическая модель для определения параметров оборудования высокочастотного действия при проектировании ковшей экскаваторов	41
Максимова Е.Н. Особенности строения и кинематического исследования механизмов перекачивающихся рычагов.....	45
Козелков О.А. Модели оценивания характеристик машиностроительного производства в условиях технологических инноваций	50
Манжосов В.К., Петрова Т.Е. Зоны существования и бифуркации кривошипно-коромыслового механизма.....	53
Попугаев М.Г. К вопросу о классификации трехзвенных механизмов	56
Бурдейная В.М. Системы с направлением режущего инструмента при обработке отверстий малого диаметра	59
Денисенко А.Ф., Назаров Н.С. Влияние условий контакта на теплопроводность плоских соединений металлорежущих станков.....	61
Карнаухов И.С., Радионова И.Н., Шемяков А.С. Применение функционально-стоимостного анализа при лезвийной обработке технологического процесса	65
Давыдов А.П., Левин В.Д., Стрыгин С.В., Цуцков М.В. Вибродвижитель поступательного движения	68
Саруев Л.А., Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Цыганкова М.В. Повышение эффективности разрушения горных пород применением безбойковой гидроимпульсной системы.....	73
Давыдов А.П., Ермошин Д.М., Стрыгин С.В. Разработка привода на базе поршневой и двухроторной машин	79
Фидровская Н.Н., Краснокутская Т.Б. Проблемы крановых колес	88

Масягин В.Б. Применение кромочной модели детали при размерном анализе осесимметричных конструкций	90
Павлюк А.С., Шенкнехт Ю.И. Повышение устойчивости движения шарнирно соединенных машин в условиях агропромышленного комплекса.....	97
Аксютин В.А., Зонов В.Н., Петренко Ю.В., Лаппи Ф.Э. Проектирование асинхронных электродвигателей малой мощности с составными магнитопроводами	107
Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Исследование двухкатушечной синхронной электромагнитной машины с инерционным реверсом бойка	109
Шапошников И.-И.Д. Продольный удар. Бурение скважин, влияние стыков става штанг	111
Зонов В.Н, Петренко Ю.В., Аксютин В.А., Лаппи Ф.Э. Торцевой асинхронный электродвигатель для мотор-колес подвижных транспортных средств	122
Скотников А.А., Аксютин В.А., Зонов В.Н., Лаппи Ф.Э., Петренко Ю.В. Энергия в линейном электромагнитном двигателе ударного действия.....	124
Петров Н.И. Полиномиальное решение линеаризированных задач осесимметричного состояния в теории малых упругопластических деформаций	126
Скотников А.А., Аксютин В.А., Зонов В.Н., Лаппи Ф.Э., Петренко Ю.В., Хуан А.П. Исследование перегрева электромагнитного двигателя на динамику его работы	128
Афанасенков М.А. Комплексный подход к поэтапной разработке условий и методов формирования рабочих слоев на поверхности режущего инструмента.....	130
Ткачева Т.А. Новый прецизионный метод исследования изменчивости динамики измерительных механизмов приборов	133
Надеждин И.В. Определение мгновенного КПД шестизвенных кривошипно-ползунных механизмов III класса	135
Волкова М.Ю., Егорычева Е.В. Влияние качества обработки поверхности деталей на продление срока службы промышленных изделий	138
Рахматов Р.И. Тенденции развития систем обработки отработавших газов для дизельного двигателя.....	141
Крахмалев О.Н., Петрешин Д.И. Определение оптимальных областей рабочего пространства манипуляционных роботов соответствующих минимуму их инерционных параметров	146
Белоусова Е.В., Некалин З.Е., Лагуткин М.Г. Особенности расчета и проектирования цилиндрических обечаек с кольцами жесткости	150

Мартынов В.Г. Математическое моделирование как прогрессивный метод исследования технологических процессов	152
Наумкин Н.И., Купряшкин В.Ф., Фирстов А.Ф., Уланов А.С. Практическое обучение студентов технических вузов инновационной деятельности в научных школах	154
Цхай Э.Б., Клопотов А.А., Волокитин Г.Г. Применение сплавов с эффектами памяти формы для усиления затяжки резьбового соединения	157
Галевко В.В. Расчетный способ определения конструктивных решений по снижению звукового излучения от наружных поверхностей ненагруженных деталей ДВС	162
Цвигун В.Н., Куклин С.А., Козлов Н.В. Установки для изучения износо- и трещиностойкости материалов на миниобразцах	171
Петров Н.И. О потере устойчивости толстостенной трубы из идеального упругопластического материала под действием внутреннего давления	178

УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИЗНОСО- И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА МИНИОБРАЗЦАХ

Цвигун В.Н., Куклин С.А., Козлов Н.В.

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк

Трещиностойкость и износостойкость – очень важные и сложные свойства материалов, но исследования по их оценке, качественной и количественной, часто связаны с изучением монокристаллов, тонких образцов, покрытий, поверхностных обработок, коррозионной тематики (тем более, что у вершины усталостной трещины быстро формируются слои гидроксильных групп), необходимостью послойной вырезки образцов из больших изделий, типа рельс и т.д.

Миниобразцы, размером $25 \times 6 \times 3$ мм мы приняли в соответствии с геометрией британского стандарта на трёхточечный изгиб с одной боковой трещиной длиной от 1,2 до 3 мм. Такие образцы легко и быстро готовить, испытывать и изучать методами оптической и растровой микроскопии (РЭМ).

Дополнительно, становится возможным исследование фрактографических особенностей поверхностей разрушения двух половинок одного излома, когда они установлены рядом в камере РЭМ, а также прямое изучение растрескивания, текстур в зоне вытяжки (перед разрушением) прямо в камере РЭМ.

На рисунке 1 изображен общий вид микропульсатора Ц75 для испытания образцов, схема крепления, и нагружения образца. Микропульсатор Ц75 (создан в 1975 году) состоит из основания (размером 300×380 мм), на котором установлен двигатель постоянного тока; (400 Вт, 24 В), на валу двигателя закреплён фланец диаметром 40 мм, по которому может плавно перемещаться и фиксироваться пластина кривошипа 3, имеющая четыре прорези под болты М5 (перемещением кривошипа устанавливается размах нагрузки, прикладываемой к образцу). На кривошипе установлен подшипниковый узел 4, нагружающий рычаг 5 (на нем размещён тензодатчик 13) поворачивается вокруг подшипникового узла 6. Через упор 7 рычаг связан с образцом 8. Образец установлен в захвате 9 таким образом, что выполняется схема трёхточечного изгиба (расстояние между опорами 24 мм). Нагрузка на образец создаётся нажимным винтом 10 при повороте держателя образца вокруг оси 11. В точке 12 на основании 1 установлен штатив микроскопа Цейсс с проекционной насадкой МНП-1 с экраном диаметром 150 мм (увеличение до 150 раз). Измерение длины трещины выполняется линейкой – по экрану, отсчётом от реперных линий, нанесённых на образце через 0,2 мм. Линии наносятся алмазной иглой от профилографа, когда образец установлен для разметки горизонтально (запрессовка прессиком на пластилин).

Микропульсатор Ц75 работает следующим образом. В паз держателя 9 устанавливаем образец 8, и фиксируем симметрично относительно

цилиндрической опоры 14, и поджимаем механизмом статического нагружения 10 на необходимую величину нагрузки. При включении двигателя 2 сначала на частоте 3 Гц точно устанавливаем размах нагрузки и затем увеличиваем частоту до 30 Гц. Число циклов подсчитывается счётчиком СЭД-2.

Надрез на образце предварительно создаётся с помощью электролобзика. Установленная на нём молибденовая проволока диаметром 0,1 мм и длиной 150 мм (абразивом служит алмазная паста) за несколько минут создаёт идеальный надрез глубиной 0,8 мм и радиусом 0,05 мм. Образец перед испытанием промывается от алмазной пасты в ультразвуковой ванне.

Периодически измеряя длину усталостной трещины, зная размах ΔP , строится график зависимости длина трещины – число циклов, далее вычисляем уравнение Пэриса.

Когда вершина усталостной трещины достигает последней реперной линии (зона долома будет 3 мм), образец устанавливают на стенд для окончательного разрушения с записью диаграммы раскрытия трещины - усилие. На боковую грань образца, вблизи надреза, устанавливаем скобу с тензодатчиками для регистрации раскрытия и выполняется плавное нагружение образца с записью сигналов на двухкоординатный самописец.

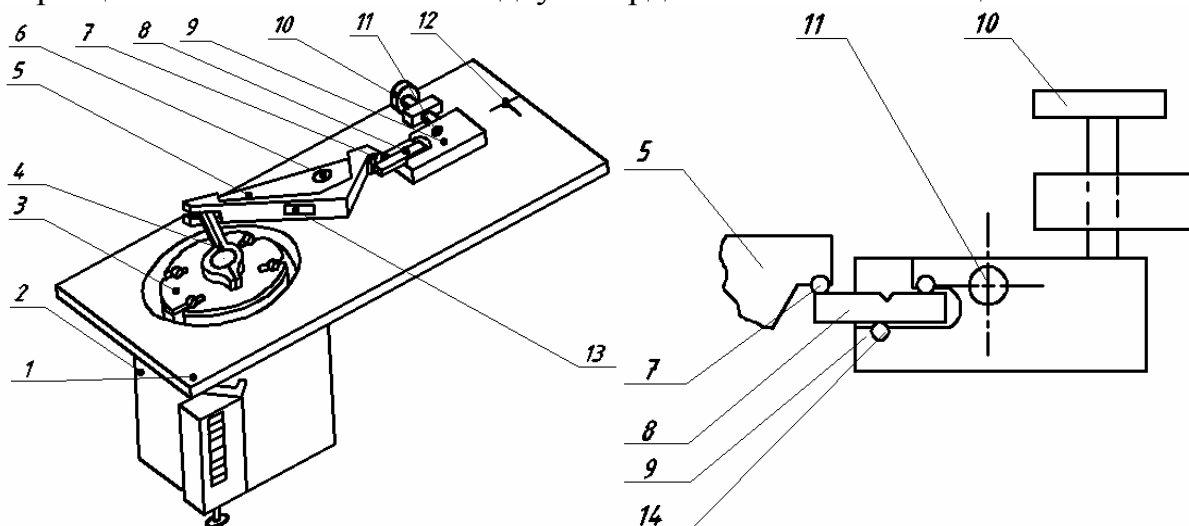


Рисунок 1 – Микропульсатор Ц75:

1 – основание; 2 – двигатель; 3 – пластина кривошипа; 4 – подшипниковый узел; 5 – нагружающий рычаг; 6 – подшипниковый узел; 7 – упор; 8 – образец; 9 – захват; 10 – нажимной винт; 11 – ось; 12 – штатив микроскопа; 13 – тензодатчик; 14 – цилиндрическая опора

Можно также разрушать образец и статическим нагружением на пульсаторе Ц75 (винтом 10), значения K_c при этом определяются менее точно, но, наблюдая в микроскоп, хорошо видно образование ступеньки в вершине трещины и полос скольжения из углов этой ступеньки, сначала небольшого количества микротрещин, а потом сотен, которые при разрушении веером вскрываются внутри 120-градусного треугольника, образованного полосами скольжения. После разрушения эти трещины, в основном, уже не видны, т.к. быстро прошли реверсивные упруго-пластические сдвиги и развороты микрообъемов.

На микропульсаторе Ц75 было проведено в 1977 году исследование по прямому наблюдению механики образования усталостных бороздок и проверка известных моделей Смита-Лэйерда, Риппан, Томкинса, Ноймана, Виртмана, Херцберга, Якоби и других. Что мы видели на прозрачных образцах из ПММА, ПК и эпоксидной смолы, а также сталях 0,2-1,2% углерода и других материалах? Это реверсивные сдвиги, развороты в полосах скольжения, деформации в микрообъёмах и их исчерпание, далее вскрытие трещин, их соединение в цепочки.

Очень важны роли «насосов реверсивной накачки» деформаций в усах из вершины трещины и трёхмерных остаточных напряжений растяжения после захлопывания трещины, что теоретические работы пока не описывают. При небольших увеличениях это можно видеть снаружи и внутри прозрачного образца. На пульсаторе Ц75 можно в деталях напрямую рассмотреть ранее непонятную фрактографию: как перегрузки, траковые следы, ветвление и взаимодействие трещин - всё это хорошо поддаётся изучению.

Для изучения влияния небольших перегрузок на образование характерных усталостных бороздок (рисунок 2а), нагрузили образец по специальной программе (рисунок 2б). Прямое наблюдение образования бороздок с помощью стереомикроскопа (сбоку) выявило, что при очень низких циклических напряжениях усталостные бороздки выглядят как непрерывная череда мелких волн (рисунок 2в), поскольку у вершины трещины идет затупление трещины в момент старта трещины (рисунок 2в, точка С) и соседняя и новая бороздка соединяются без квазискола. При больших напряжениях этот радиус разрыва становится больше и появляется прямой участок квазискола (рисунок 2г) по трещине – лоцману (т.л.); трещина квазискола может начаться как в вершине зоны вытяжки, так и немного в стороне, на одном из усов деформации.

На склоне бороздки всегда есть вторичные трещины (рисунок 2г, д), которые образуются в момент затупления трещины перед ее рывком по трещине – лоцману. Это происходит на левом склоне пилы напряжений, чуть выше точки (С). Трещина – лоцман растет до тех пор, пока идет наращивание напряжений цикла, а при переходе через максимальное значение трещина – лоцман начинает закрываться.

При очень высоких напряжениях гладкие участки трещины могут быть длинными (как у эпоксидной смолы 0,5-0,8 мм), т.е. длина квазискола определяется пластической деформацией цикла. Нельзя забывать и то, что материал у вершины усталостной трещины охрупчен циклическим изгибом на определенный угол (например стальная пластина при угле изгиба 90° выдерживает 2 изгиба, при угле 10° – 60 изгибов до разрушения).

На микропульсаторе Ц75 удобно изучать стабильный рост усталостных трещин на очень хрупких материалах, как мартенсит стали, HRC 64 или на пластинах эпоксидной смолы толщиной 1-4 мм. На больших образцах это сделать почти невозможно. Причём в поляризованном свете хорошо видно взаимодействие вершины трещины с встречающимися дефектами и включениями. На рисунке 3 показано образование трёхмерной усталостной трещины из-за образования поперечной трещины (её длина 0,06 мм), которая

образовалась от включения и искажила рост плоских усталостных бороздок (шаг бороздок 0,016 мм).

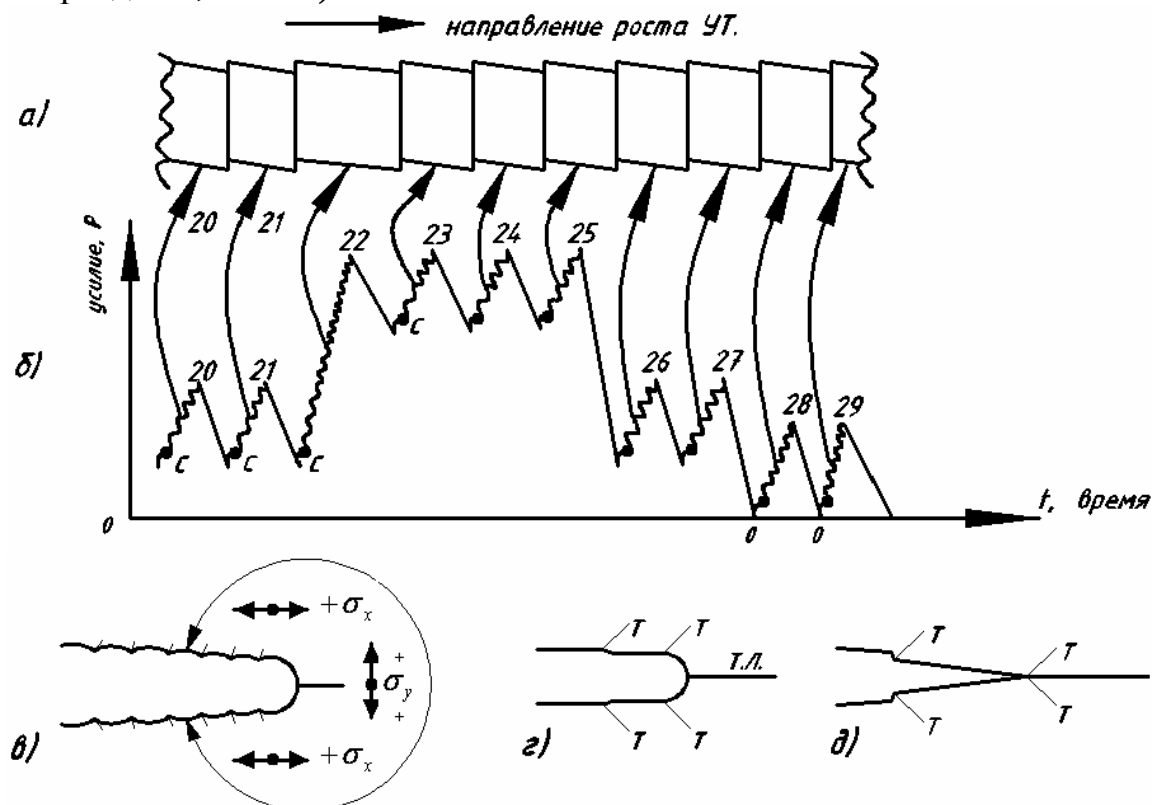


Рисунок 2 – Длина усталостных бороздок (а) в зависимости от величины циклических напряжений (б). Длина усталостной бороздки пропорциональна величине левого ската цикла нагружения; б) график циклическое усилие – время. Трещина растет только на участках : $C \div 20$, $C \div 21$, $C \div 22$ и т.д. Вид усталостных бороздок при низких (в), средних (г) и высоких (д) напряжениях. (образец – материал ПММА)

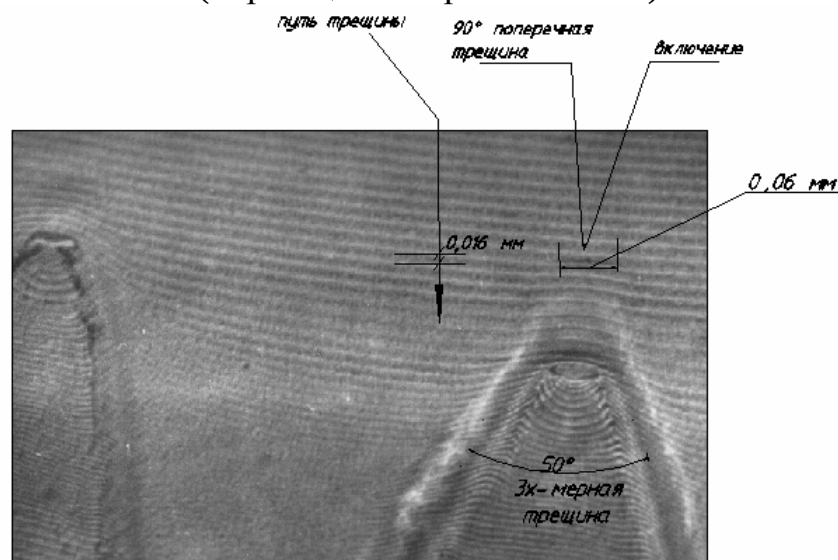


Рисунок 3 – Образование трёхмерной усталостной трещины при встрече с включением, которое зародило 90 – градусную трещину длиной 0,06 мм, которая привела к увеличению площади усталостной трещины; усталостные бороздки (материал ПММА) образуют сложный узор, углом расширения 50 градусов

Для малоциклового усталостного нагружения миниобразцов, с ранее наведённой на пульсаторе Ц75 усталостной трещиной был изготовлен пульсатор Ц82 (рисунок 4), размером 110×80×30 мм, максимальное усилие 200 кг, частота нагружения 2Гц, этот пульсатор можно устанавливать в 2-х положениях (когда трещина изучается на образцах 25×6×3 мм в фас и в профиль):

а) на рентгеновском дифрактометре (измерения макро, микронапряжений в зоне вытяжки, текстур деформации, так на дюралевых образцах текстурные рефлексy хорошо видны в электронографе ЭР-100)

б) в камере РЭМ, когда образец можно нагружать и разгружать при наблюдении и останавливаться в любой точке цикла, что на пульсаторе Ц75 невозможно.

Пульсатор Ц82 состоит из двигателя постоянного тока 1 (27 в, 2 а), червячного редуктора 2, рычага 3, винтового механизма статического нагружения 4, нагружающего элемента 5, образца 6, держателя образца 7.

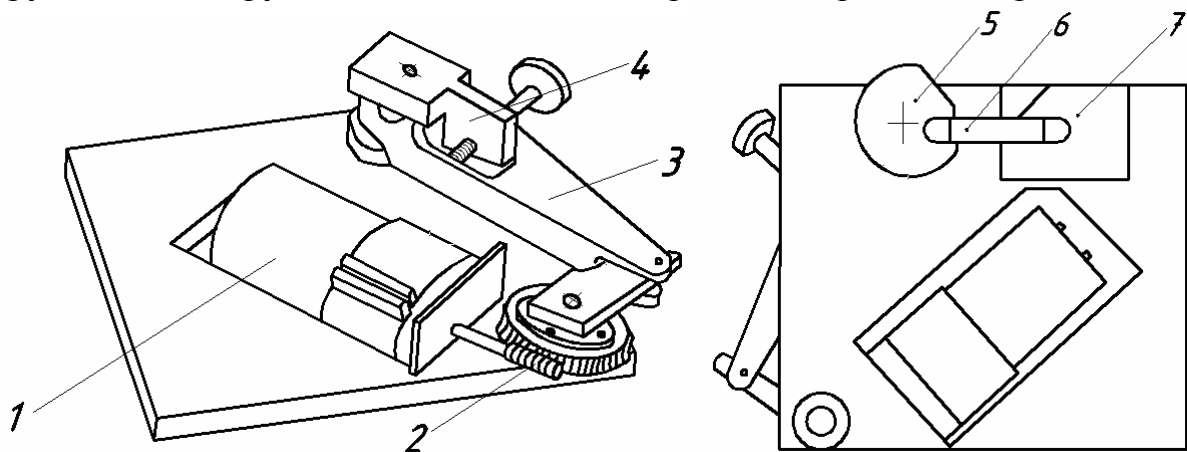


Рисунок 4 – Микропульсатор Ц82 для изучения усталостных трещин в камере РЭМ и методами рентгеновских микропучков:

1 – двигатель постоянного тока; 2 – червячный редуктор; 3 – рычаг; 4 – винтовой механизм статического нагружения; 5 – нагружающий элемент; 6 – образец; 7 – держатель

Образцы после испытания на трещиностойкость можно испытывать на износ (истиранием) на специально созданной машине Ц83 (рисунок 5). Она создана после длительного поиска разных вариантов (17 схем) испытаний, позволяет быстро, легко и с высокой точностью 5÷10% (от 20 до 10 измерений), оценивать материалы разной твёрдости (менее 45HRC), в том числе и тонкие покрытия (от 10 мкм), сверхтвёрдые гальванические и полученные методами импульсной, плазмы (оксидов гафния, циркония, ...).

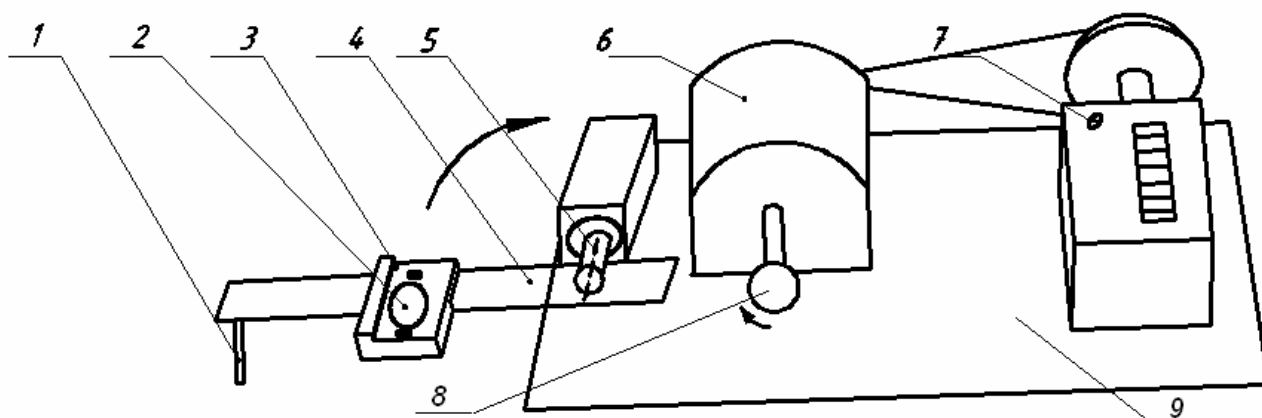


Рисунок 5 – Машина Ц83 для испытания миниобразцов на истирание: 1 – устройство для размещения грузов; 2 – образец; 3 – устройство для горизонтального и вертикального перемещения образца; 4 – рычаг; 5 – плунжерная пара; 6 – привод постоянного тока; 8 – вращающийся стальной закаленный шарик; 9 – основание

Машина на износ состоит из основания 9 (размером 210×340 мм), на котором установлены: привод постоянного тока 6 (12в, 3а, 2 об/с) с плавным регулированием числа оборотов, вращающий стальной закалённый шарик 8 (диаметром 14 мм), устройство для вертикального и горизонтального перемещения образца 3, устройство для размещения грузов 1, счётчик числа оборотов электродвигателя 7 и микроскоп МБС-9. Узел 5 поворота рычага 4 выполнен как плунжерная пара, позволяющая точно опускать образец на вращающийся шарик и через 500 оборотов шара переводить образец в левое положение (поворот на 180 градусов), чтобы надвинуть микроскоп на образец, и измерить лунку износа. Обычно для одного образца делаем четыре измерения через 500 оборотов шара. По зависимости (рисунок 6) можно сравнить износостойкость двух материалов.

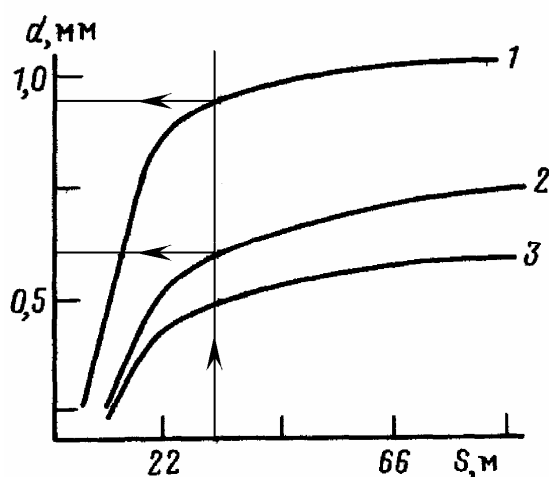


Рисунок 6 – Зависимость диаметра вытираемой на образце лунки от пути трения вращающегося шарика: 1 – нетермообработанная поверхность Ti, 2 – после легирования алюминием, 3 – после легирования никелем

Образцы из титанового сплава ВТ-20 поверхностно легировали (слой до 80мкм) гетерогенной импульсной плазмой. К образцу под постоянной нагрузкой 0,8Н прикладывали вращающийся со скоростью 2 об/с шарик из закалённой стали ШХ-15, который истирал на нём лунку. При такой схеме испытаний постоянно увеличивается площадь контакта шарика с образцом и меняется удельное давление на изнашиваемую поверхность. Исходя из рис.6 , заключаем: материал № 2 лучше чем №1 в: $D_1^2/D_2^2 = 0,9^2/0,6^2 = 2,25$ раза кроме того, по току, потребляемому двигателем, можно оценивать коэффициент трения пары шар – плоскость, а также изучать влияние смазок, ингибиторов коррозии и т.д. Рядом с лункой износа на образце образуется небольшое количество микростружки и округлых оксидов, по анализу которых можно изучать условия сдирания оксидных плёнок с поверхности износа.

По прямым наблюдениям механизмов роста усталостных трещин отметим следующее:

1. Расхождение берегов трещины у её вершины можно использовать как датчик деформации, ΔK , K , т.е. на коротких трещинах, когда линейная механика разрушения даёт ошибки, можно считать угол $\Delta\alpha$ – раскрытия усталостной трещины пропорциональным ΔK , и мерять его по катету, например, на расстоянии 1 мм от вершины трещины (с поправкой на ступеньку, если она есть).

2. Две прямые, проведенные по берегам усталостной трещины, в сторону вершины дадут угол α и точку вращения материала (шарнир), внутри этого шарнира идут деформации предразрушения и объединения трещин, но когда образуется ступенька, точка вращения передвигается вглубь материала!

3. Разрушения материала вблизи вершины усталостной трещины идёт по своим механизмам (слабо напоминаям то, что видно на макрообразцах), это: сложные процессы локального перегрева, вспучивания, кислотной коррозии, разрыхления, увеличения пор, трещин и тут же разгрузка плющит этот микрообъём, создаёт остаточные растягивающие напряжения и, вновь, нагрузка цикла усталости растягивает очень ограниченный пластически передеформированный микрообъём, который с пяти сторон зажат упруго-деформированным объёмом.

Научное периодическое издание

Современные проблемы теории машин:

**Материалы второй международной заочной
научно-практической конференции**

Верстка и корректура: Жуков И.А.
Разметка и обработка форматов: Андреева Я.А.

Подписано в печать 09.06.14г.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 10,84. Уч.-изд. л. 11,61. Тираж 300 экз. Заказ №496.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ