

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	2
1. Цели и задачи лабораторного практикума	3
1.1 Цель практикума	3
1.2 Задачи, решаемые в ходе выполнения практикума	3
2. Материальная база практикума. Оборудование	3
2.1 Система нагрева образцов.....	3
2.2 Испытательная разрывная машина EU-40	5
2.3 Измерительная система	7
3. Правила техники безопасности	10
4. Лабораторная работа № 1-ДФ «Определение характеристик термодеструкции материалов теплозащиты»	12
4.1 Методика экспериментального определения характеристик термической деструкции материалов.....	12
4.1.1 Описание объекта исследования	12
4.1.2 Порядок проведения испытания и методика измерений	13
4.1.3 Методика обработки результатов испытаний.....	14
4.2 Форма отчетности по лабораторной работе	16
4.3 Контрольные вопросы к зачету.....	16
5. Лабораторная работа № 2-ДФ «Определение термопрочностных характеристик материалов»	17
5.1 Методика проведения работы	17
5.2 Порядок проведения испытаний.....	20
5.3 Методика обработки результатов испытаний	20
5.4 Форма отчетности по лабораторной работе	21
5.5 Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе.....	22
6. Список литературы	23

ВВЕДЕНИЕ

Теплозащита конструкций ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) является одним из важнейших компонентов общего цикла проектирования двигателя. Ввиду отсутствия возможности использования классических способов защиты конструкции проточным охлаждением, как например, в ЖРД, для решения данной проблемы зачастую прибегают к индивидуальному подходу в техническом исполнении тепловой защиты того или иного элемента конструкции. При этом вопросы конструкторского, технологического и материаловедческого плана находятся в тесной взаимосвязи друг с другом. Экспериментальная отработка двигателей при натурных испытаниях ограничена дороговизной, зачастую техническими трудностями, в том числе и проблемами дефектоскопии по итогам испытаний. Ввиду сложности механизма взаимодействия продуктов сгорания с композитными материалами стойкость последних можно определить только в экспериментах на модельных образцах, в условиях наиболее приближенных к реальным.

Организация таких модельных экспериментов имеет определенную специфику. Так, например, характеристики деструкции материалов должны проводиться с учетом теплового нагружения, а также силовых нагрузок и других факторов.

Предлагаемый лабораторный практикум имеет своей целью ознакомление студентов с возможностями и особенностями организации модельных экспериментов по исследованию свойств и характеристик различных материалов, используемых для теплозащиты конструкции РДТТ.

Практикум проводится на материальной базе отделения ЭМ1. НИИЭМ и лаборатории Ц-6 в Дмитровском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана с учетом опыта испытаний, проводимых по заказам предприятий отрасли.

[Оглавление](#)

1. Цели и задачи лабораторного практикума

1.1 Цель практикума – ознакомление с лабораторными методами исследования характеристик деструкции и термостойкости материалов конструкций РДТТ.

1.2 Задачи, решаемые в ходе выполнения практикума:

- ознакомление с оборудованием испытательного стенда;
- изучение методики проведения испытаний;
- проведение опытов и обработка результатов измерений;
- представление результатов исследования и формулировка выводов.

2. Материальная база практикума. Оборудование

Лабораторный практикум по исследованию деструкции материалов конструкций РДТТ проводится на опытной установке-стенде СТПИ-2 для высокотемпературных тепловых и прочностных испытаний материалов, созданной в отделе ЭМ 1.4 НИИЭМ ДФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Общий вид стенда представлен на рис. 1. Стенд СТПИ-2 состоит из 2-х основных частей: системы нагрева испытуемых образцов и разрывной испытательной машины.

2.1 Система нагрева образцов

Система нагрева образцов (рис. 1) включает пульт управления с блоком преобразователя напряжения 1 ПН-ТТ 630, блок нагревательных элементов 2, установленный на координатном столе машины, и систему охлаждения.



Рисунок 1. Общий вид испытательного стенда: 1 – преобразователь напряжения; 2 – система нагрева; 3 – разрывная машина; 4 – пульт управления.

[Оглавление](#)

Пульт управления состоит из трехфазного тиристорного преобразователя напряжения с блоком управления, содержащим регулирующее устройство, элементы управления и сигнализации. Преобразователь напряжения предназначен для питания трехфазным током активных, активно-индуктивных, индуктивных нагрузок, допускающих фазовое регулирование напряжения, а также для работы в режиме «включено-выключено» (см. таблицу 1). Основной нагрузкой преобразователя является блок галогенных ламп накаливания ГЛН-2000, подключаемых к преобразователю напряжения ПН-ТТ непосредственно.

Принцип действия ПН-ТТ основан на способности тиристоры изменять значения тока и напряжения нагрузки в зависимости от момента подачи импульсов управления при питании их переменным синусоидальным напряжением. Кроме того, тиристоры могут работать в режиме переключаемого контакта, т.е. включаться (с плавным стартом) при подаче импульсов и выключаться при снятии импульсов с управляющих электродов.

Таблица 1. Технические данные преобразователя напряжения

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток, А	630
Номинальное напряжение питающей сети ис.ном, В	380
Номинальное выходное напряжение, В	340
Номинальная выходная частота, Гц	50
Диапазон регулирования выходного напряжения от номинального значения при ис.ном, %	5...110
Коэффициент полезного действия, %, не менее	98
Напряжение управления, В.	0..+10, 0..+5
Ток управления, мА	
Частота включений в режиме «включено-выключено», вкл/час, не более Гу	360

Блок нагревательных элементов состоит из секции источников излучения. Источниками излучения служат галогенные лампы КГ 220-2000-3, которые крепятся на охлаждаемых токопроводах. Токопроводы вместе с отражателем установлены через текстолитовую пластину на координатном столе. Координатный стол с помощью специального устройства закреплен на стойках разрывной машины и имеет возможность перемещаться по вертикали. При помощи координатного стола регулируется расстояние между испытываемым образцом и нагревательным элементом по горизонтали.

Охлаждение преобразователей – водяное. Токопроводы и отражатель охлаждаются технической водой с номинальным расходом до 2 кг/с и давлением 0,5 МПа, поступающей к коллектору и далее по шлангам к трактам охлаждения соответствующих

[Оглавление](#)

узлов. Для визуального контроля потока охлаждающей воды из каждого узла установлен сливной бак.

Электропитание к лампам подводится кабелями к клеммнику и далее к шпилькам токоподводов.

Принципиальная схема системы охлаждения представлена на рис. 2.

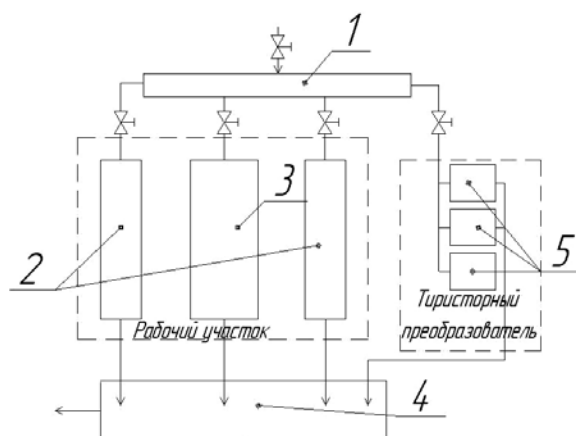


Рисунок 2. Гидравлическая схема охлаждения элементов системы нагрева

- 1 - входной коллектор; 2 - токоподводы; 3 – отражатель;
4 – сливной бак; 5 – водоохлаждаемые тиристоры

2.2 Испытательная разрывная машина EU-40

Универсальная машина для испытания на прочность типа EU 40 служит для испытания материалов, в частности, для испытания образцов различных материалов на прочность при растяжении, сжатии и изгибе. Её основные технические данные приведены в таблице 2

Таблица 2. Технические данные разрывной машины EU-40

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение питающей сети $U_{с.ном}$, В	380
Диапазон изменения нагрузок	0-400 кН
Максимальный рабочий ход поршня	250 мм
Скорость изменения испытательной нагрузки или перемещения поперечин	0,1-9,9 дел/с

Пространство для испытания растяжением и сжатием оформлено с таким расчетом, чтобы возможно было подвергнуть испытанию и конструкционные элементы. Машина состоит из собственно разрывной машины 3 (рис. 1) и системы измерения и управления, размещаемой в отдельном шкафу 4, с помощью которой задается требуемый уровень растягивающей нагрузки.

[Оглавление](#)

Универсальная машина для испытания на прочность оснащена индуктивным измерительным трансформатором для измерения давления рабочей жидкости. Измеряемые давления изменяются аналогично испытательным нагрузкам. Электронная система для регулировки нагрузки или перемещения позволяет проводить индивидуальное регулирование нагрузки и перемещения поперечины, поддержание постоянства нагрузки, а также линейное повышение или уменьшение нагрузки или перемещения в заданных интервалах времени.

Испытательная машина состоит из нижней части со встроенным гидроприводом; подвески с нижней и верхней поперечинами, неподвижно связанными через колонки; средней поперечины, переставляемой через винты стоек; устройств для измерения и передачи перемещения и зажимных приспособлений.

К рабочему цилиндру подключены напорный трубопровод, импульсный трубопровод и трубопровод для отвода утечек масла, соединенные со встроенным в нижней части гидравлическим приводом и индуктивным датчиком давления.

В процессе испытания образцов материалов на растяжение, сжатие и изгиб среднюю поперечину с помощью ходовых винтов станины можно вертикально передвигать, изменяя размеры зоны растяжения и сжатия. Для передвижения поперечины на ходовых винтах в отверстиях поперечины установлены винтовые втулки. Воспринимаемые поперечиной усилия передаются ходовым винтам станины.

Принцип действия машины заключается в следующем. Растягивающие усилия во встроенном образце создаются между верхней и средней поперечинами. Для передачи растягивающих усилий образцу применяются соответствующие форме образца зажимные детали. По отношению к средней поперечине, расположенной стационарно в исходном положении, верхняя поперечина приподнимается гидравлически через колонки и нижнюю поперечину, на которой находится рабочий поршень, вследствие чего возникает растягивающее усилие в образце.

Гидравлический привод работает в следующем образом. Работаящему насосу высокого давления через трубопровод подается гидравлическое масло из резервного маслобака. Насос высокого давления нагнетает масло в трубопровод, соединенный с рабочим цилиндром испытательной машины. Вследствие этого приподнимается рабочий поршень. Если он при этом движении он встречает сопротивление, например, если установлен образец, то при дальнейшей подаче гидравлического масла увеличивается гидравлическое давление в рабочем цилиндре до разрыва образца или до достижения конечного значения установленного усилия.

В байпасе напорного трубопровода расположены клапан максимального давления, распределительный золотник и спускной клапан, которые в случае соответствующей настройки

[Оглавление](#)

работают в виде перепускных устройств и обеспечивают подаваемому гидравлическим приводом маслу возможность возвращения в резервный маслобак.

В нижней части испытательной машины встроена система отключения в конце хода. Она состоит из концевого кнопочного выключателя и фиксируемого упора.

2.3 Измерительная система

Система измерения параметров испытаний включает в себя первичные измерительные преобразователи и штатные регистрирующие приборы, показания которых выводятся через блоки согласования на ЭВМ для обработки результатов испытаний.

Управление процессом испытания осуществляется с пульта управления 4 (см. рис. 1).

Пульт управления предназначен для управления процессом и регистрации результатов испытания образцов на прочность и содержит:

- самопишущее устройство;
- индикатор усилия;
- панель управления;
- панель с коммутационными аппаратами и предохранителями;
- кассету электропитания;
- кассету регулирования усилий;
- кассету измерения (К);
- кассету измерения (D);
- кассету усилителя.

Индикатор усилия предназначен для аналоговой индикации на круговой шкале значения применяемого машиной усилия в виде угла поворота стрелки. В корпусе шкафа закреплен диск шкалы индикатора, через проёмы в котором видны цифры, находящиеся на расположенном за ним поворотном цифровом диске. В зависимости от выбора диапазона измерения усилия цифровой диск автоматически приводится в такое положение, когда появляются соответствующие данному диапазону цифры, вследствие чего исключается возможность ошибок отсчёта. На диске шкалы также расположена стрелка индикатора максимального значения.

Панель управления содержит 4 комплекта элементов управления:

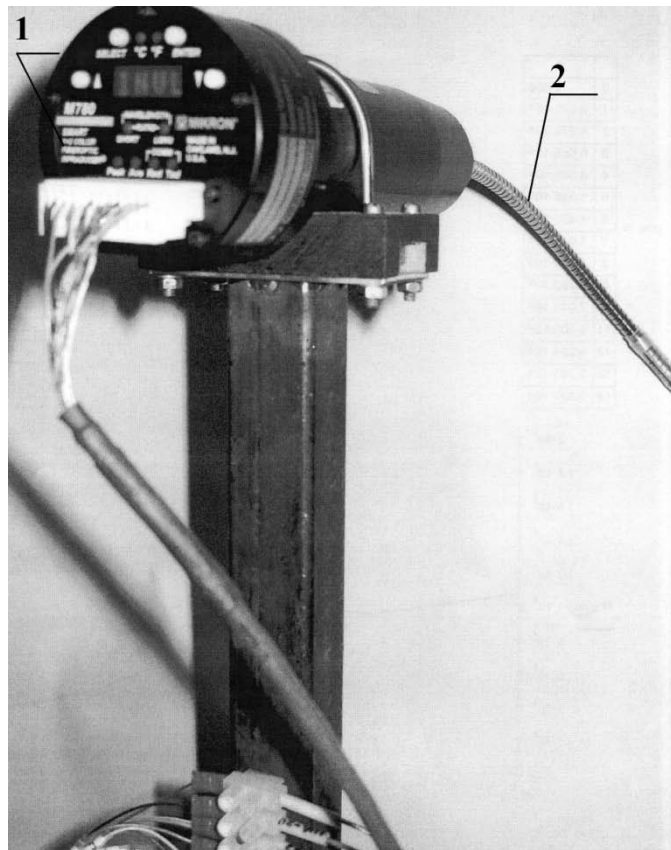
- переключатели диапазона измерения;
- регулятор управления усилием нагружения испытуемого образца с многопозиционными переключателями режимов работы;

[Оглавление](#)

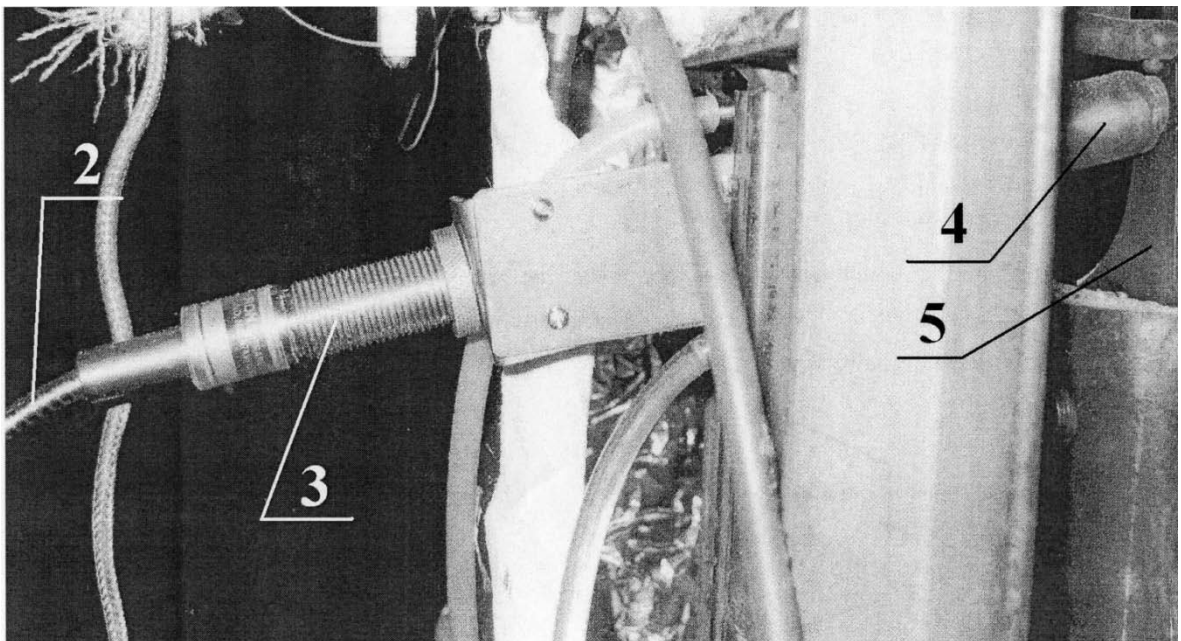
- регулятор процесса нагрузки, включая скорость изменения усилия и перемещения;
- органы включения и отключения приводов.

Для измерения температуры испытуемых образцов используются микротермопарные датчики, а также двухволновой бесконтактный автономный инфракрасный пирометр «Infraducer» типа M780 фирмы Mikron производства США (рис. 3).

Преимущества двухволновой пирометрии заключаются в том, что показания температуры двухволновых пирометров представляют собой соотношение количества энергии на двух длинах волн в инфракрасном диапазоне, а не производную от абсолютного значения интенсивности ИК излучения на



а)



б)

Рисунок 3

а) Общий вид пирометра М780; б) Установка объектива пирометра на разрывной машине

1 – пирометр; 2 – волоконно-оптический кабель; 3 – объектив;

4 – охлаждающий коллектор; 5 – образец материала

[Оглавление](#)

одной длине волны, как у обычных яркостных пирометров. Таким образом, точность двухволнового пирометра не зависит от:

- изменения коэффициента излучения серых тел;
- наличия пыли и других загрязняющих веществ в зоне обзора;
- колебаний диаметра области измерения (обеспечивая точные показания даже при нахождении в зоне обзора лишь 5% области измерения);
- степени загрязнения смотровых окон;
- вибрации объекта контроля в пределах зоны обзора.

Основные характеристики пирометра М780:

- измеряемая температура образцов – 750...2000 °С;
- погрешность – $\pm 0,5\%$ от полной шкалы;
- повторяемость – 0,1% от полной шкалы;
- температурное разрешение 1 °С;
- фокусное расстояние – от 380 мм до бесконечности;
- режимы измерения температуры – текущая температура, средняя температура (усреднение максимально по 100 замерам), максимальная температура с функцией автоматического возврата в исходное состояние;
- температура окружающего воздуха – рабочая: от 0 до 50°С: с кожухом с системой охлаждения: до 200°С, хранения: от – 40° до 80 °С.

Конструкционной особенностью пирометра М780 является то, что объектив (поз. 3 рис. 3) подключается к нему волоконно-оптическим кабелем (поз. 2 рис. 3). Благодаря этому объектив и пирометр устанавливаются в различных местах, что является важнейшим преимуществом при проведении измерений в сложных эксплуатационных и климатическим условиях. Для предотвращения чувствительного элемента пирометра от перегрева предусмотрен охлаждающий коллектор (поз. 4 рис. 3).

3. Правила техники безопасности

1. К работе с электрооборудованием допускаются лица, прошедшие обучение по технике безопасности и проверку знаний комиссией с составлением акта и выдачи на руки удостоверения.
2. К самостоятельной работе на стенде допускаются лица, имеющие группу по электробезопасности не ниже IV.
3. Лица, имеющие группу ниже IV, допускаются к работе с электрооборудованием при полном или частичном снятии напряжения под наблюдением ответственного лица, с

[Оглавление](#)

обязательным выполнением мер безопасности по работе на электроустановках напряжением выше 1000В в помещениях с повышенной опасностью.

4. Подготовку к эксперименту производить при полном снятии напряжения.

5. При работе с источником, дающим сильное излучение, должны приниматься меры, исключающие ожоги глаз и лица. Работать только в защитных очках.

6. Во избежание накопления в рабочем помещении вредных газов (озона, окислов азота) систематически проветривать помещение.

7. Источники излучения большой мощности (свыше 20 кВт) должны иметь охлаждаемый металлический кожух и находиться от окружающих предметов и оборудования на безопасном расстоянии.

8. В случае необходимости работы с открытым источником лучистой энергии, последний должен ограждаться защитным экраном.

9. Газонаполненные источники излучения со стеклянными и кварцевыми баллонами высокого и сверхвысокого давления вторично зажигать только после полного их охлаждения.

10. Не допускается работа на установке одного сотрудника.

11. До начала работы персонал должен быть проинструктирован (ознакомлен с источниками опасности, защитными средствами и правилами безопасной работы).

12. Проведение работ с источниками лучистой энергии без предварительного инструктажа и росписи исполнителем в журнале учета запрещается.

13. Профилактический осмотр электрооборудования производить при полном снятии напряжения и вывешивании запрещающего плаката "Не включать. Работают люди" и разрешающего "Работать здесь" на ручках автоматов и рубильников.

14. При работе разрывной машины должны быть установлены все необходимые защитные кожухи и ограждения.

15. Запрещается касаться движущихся частей разрывной машины во время ее работы.

16. Студенты допускаются на стенд только в сопровождении механика и преподавателя.

4. Лабораторная работа № 1-ДФ «Определение характеристик термодеструкции материалов теплозащиты»

Одним из наиболее распространенных способов теплозащиты элементов конструкций РДТТ является использование эффекта абляции материалов. Абляция это свойство термической деструкции материалов, которая обусловлена явлениями различной физической и химической природы: плавлением, сублимацией, кипением, пиролизом и т.п. под воздействием значительных тепловых потоков.

Деструкция материала характеризуется поглощением значительной доли падающего на него теплового потока, расходом его на протекающие при этом теплофизические процессы и на газификацию вещества материала, а также сопровождается выдувом образовавшихся газов в основной поток продуктов сгорания. Этим достигается эффект блокирования тепловых потоков от проникновения их в несущие элементы конструкции РДТТ. Аблирующие материалы – абляторы – собирательный образ широкой номенклатуры материалов теплозащиты РДТТ.

Абляция вещества может осуществляться либо в тонком приповерхностном слое материала – внешний унос, либо в тонком слое фронта деструкции (пиролиза), распространяющимся в процессе работы двигателя вглубь материала теплозащиты – внутренний унос. Последний случай – наиболее сложный с точки зрения расчета термомеханического состояния конструкции. Теоретическая проработка вопроса чрезвычайно сложна, поэтому на практике чаще всего прибегают к экспериментальному способу определения характеристик деструкции того или иного используемого материала теплозащиты.

Важнейшими характеристиками деструкции являются скорость уноса массы вещества исходного материала и коксовое число, которые в совокупности характеризуют скорость движения фронта пиролиза и поле температур в конструкции. Исследованию этих характеристик посвящена данная лабораторная работа.

4.1 Методика экспериментального определения характеристик термической деструкции материалов

4.1.1 Описание объекта исследования

Деструкция материала обусловлена поверхностным радиационным нагревом образца на установке СТПИ-2, обеспечивающей уровни удельных тепловых потоков от 0,5 до 3 МВт/м² со скоростью нагрева до 50°С/с. Длительность испытаний – до 100 с.

Марки материалов для испытаний задаются из имеющихся в наличии образцов теплозащитных материалов РДТТ типа стекло-и углепластиков: П5-7, П5-13 с основными свойствами в нормальных условиях, приведёнными в таблице 3.

[Оглавление](#)

Таблица 3. Теплозащитные свойства ТЗМ

Материал	Плотность, ρ	Коэффициент теплопроводимости, λ	Теплоемкость, c_p
	кг/м ³	Вт/(м К)	кДж/(кгК)
Стеклопластик П-5-7	1800	0,605	1,26
Углепластик П-5-13	1450	1,42	1,048

Перед проведением эксперимента преподаватель уточняет марку материала. Форма образца – кубическая с характерным размером ребра $\div 10$ мм.

Размеры образцов задаются из условия обеспечения перепада температур по толщине образца не более 20% от температуры в центре образца.

Исследуемыми характеристиками в работе являются относительная потеря массы χ и коксовое число материала тепловой защиты K , которые определяются соответственно по зависимостям:

$$\chi = (m_0 - m) / (m_0 - m_{\min}) = f(T, dT/dt), \quad K = m_{\min} / m_0.$$

где: m_0 – исходная масса образца материала;

m – текущая масса образца в ходе испытаний;

m_{\min} – масса образца при полной деструкции связующего.

При испытаниях определяются значения следующих величин:

- температуры в центре образца и перепада температур между наружной поверхностью и центром образца материала в зависимости от толщины стенки образца;

- массы образца до и после испытания;

- времени выдержки образца материала в установке после остановки нагревания, до прекращения газовой выделений и стабилизации массы при обдувке инертным газом;

- времени выдержки образца материала в установке после прекращения нагрева и его охлаждения до температуры 300°С при обдувке инертным газом;

- мощности, потребляемой нагревателем и регулируемой в зависимости от необходимой температуры нагрева образца.

4.1.2 Порядок проведения испытания и методика измерений

1. Производится замер массы образца на лабораторных весах до испытания весовым способом, а также его геометрических размеров.

[Оглавление](#)

2. Устанавливается испытуемый образец на стенд.

3. Проводится испытание на номинальной мощности нагревателя при стабильной скорости нагрева. Измерение мощности осуществляется стандартными приборами (вольтметрами и амперметрами).

4. Производится регистрация следующих измеряемых параметров с выводом показаний приборов на ЭВМ и с формированием файлов результатов испытания в формате *.txt:

- температура образца в центре по времени с интервалом от 0,1с до 1с, измеряется вольфрам-рениевой термопарой ВР5/ВР20, (диаметр спая $d = 0,4$ мм) с погрешностью $\pm 2,5\%$;

- температура нагреваемой поверхности образца измеряется двухволновым бесконтактным инфракрасным пирометром М780 с погрешностью $\pm 0,5\%$;

- длительность испытаний контролируется электронным секундомером.

5. Производится останов процесса нагрева образца и выдержка образца до прекращения газовой выделения или его охлаждения до 300°C при обдуве инертным газом.

6. Производится замер геометрии образца и его массы после испытания.

7. Производится обработка результатов испытания.

4.1.3 Методика обработки результатов испытаний

Относительную потерю массы - χ и коксовое число - K материалов тепловой защиты в зависимости от температуры T и скорости нагрева материалов dT/dt следует определять по вышеприведенным зависимостям.

Значения m_o , m соответствуют массе образца материала до и после испытания при времени t для заданной мощности нагревателя N ; m_{min} – минимально возможная масса этого же образца после испытания при той же мощности и времени выдержки, которое соответствует прекращению выделения из материала летучих продуктов термической деструкции и определяется экспериментально.

Время полной деструкции связующего компонента определяется по термограмме нагрева как характерная точка равенства температур на поверхности t_1 и в центре образца t_2 (см. рисунок 1).

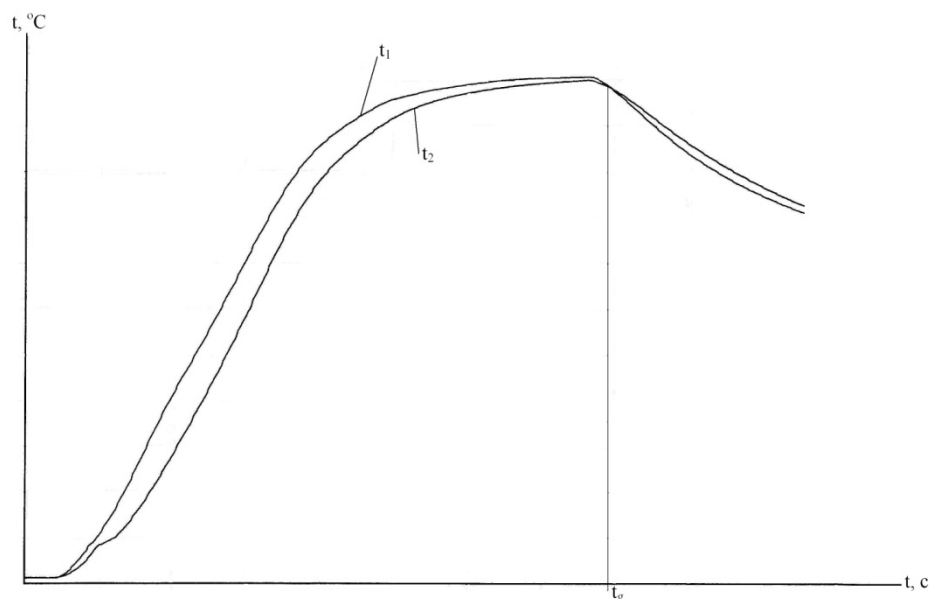


Рисунок 4. Характерная термограмма нагрева образца

Типовой файл результатов замеров приведен в таблице 4, результаты обработки – в таблице 5.

В таблице 4 приведены результаты измерения температур с помощью термопар, а искомые характеристики термодеструкции в таблице 5.

Таблица 4. Типичный файл результатов для построения термограмм

t, время	t ₁ °C	t ₂ °C
0,0	12,1	12,8
0,1	12,1	12,8
.....
1,5	12,0	12,8
.....
4,0	65,2	44,0
.....
20,1	961,2	887,2
.....

Таблица 5. Результаты испытаний

№ испытания	m ₀	m	m _{min}	χ	K
	кг	кг	кг		
1	12,6	5,04	5,04	1	0,4
2					

[Оглавление](#)

4.2 Форма отчетности по лабораторной работе

По результатам проведенного испытания оформляется отчет по установленной на кафедре Э-1 форме. К отчету прилагаются термограммы нагрева испытуемого образца, а также рассчитанные значения относительного уноса массы χ и коксового числа K . По представленному отчету проводится зачет по лабораторной работе.

4.3 Контрольные вопросы к зачету

- 1) Какова цель данной работы?
- 2) Каким образом моделируются условия термического нагрева материала теплозащиты в данной лабораторной работе?
- 3) Какова природа потери массы испытуемого материала?
- 4) Каков физический смысл коксового числа?
- 5) Каким образом измеряется температура образца?
- 6) В чем заключаются преимущества измерения температуры методом инфракрасной пирометрии?
- 7) Каким образом определяется время полной деструкции?

5. Лабораторная работа № 2-ДФ «Определение термопрочностных характеристик материалов»

Термопрочность материалов является специфическим вопросам обеспечения работоспособности конструкции ракетных двигателей. На всех этапах работы двигателя, включая запуск, маршевый режим и останов, действие чрезвычайно высокоинтенсивных тепловых потоков наряду с высокой скоростью их приложения приводит к сложным термонапряженным состояниям материалов конструкции. Расчет таких состояний представляет собой сложную задачу и требует достаточно полных сведений о прочностных свойствах и характеристиках используемых материалов. Данная проблема особенно актуальна для ракетных двигателей твердого топлива. Применяемые в их конструкциях материалы настолько индивидуальны как по составу (рецептуре), так и по структуре и технологии получения, что применять в расчетах некоторые классические универсальные характеристики не представляется возможным. Специфика таких материалов и интенсивность процессов существенно сказываются и на методике проводимых испытаний на прочность, которая в классической постановке достаточно полно и строго регламентирована соответствующими ГОСТами. В случае испытаний большинства материалов, работающих в условиях РДТТ, эти нормативы оказываются недостаточными и требуют дополнительных рекомендаций как по методическим вопросам, так и по технике измерений.

В данной лабораторной работе исследуются прочностные свойства неметаллических материалов конструкций РДТТ в специфических условиях программируемого нагрева и силового нагружения материалов.

5.1 Методика проведения работы

Исследуемые характеристики – диаграмма напряженно-деформированного состояния ($\sigma - \epsilon$). Параметры состояния: температура образца. Образцы испытываются на одноосное силовое растяжение при одностороннем радиационном нагреве поверхности образца.

Типовой режим нагрева и нагружения образца материала представлен на рис. 5.

Скорость нагрева выдерживается на уровне $^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Скорость нагружения $\frac{dP}{dx} = 1 \text{ кН} / \text{с}$,

скорость деформации $\Delta \ell = 2,5 \dots 5 \text{ мм/мин}$. Уровень удельных тепловых потоков составляет: $0,5 \dots 3 \text{ МВт/м}^2$. Длительность одного цикла испытаний – до 15 мин. Допустимая погрешность воспроизведения нагрузки $\pm 5\%$, допустимое отклонение измеряемой температуры от заданной величины $\pm 5\%$.

[Оглавление](#)

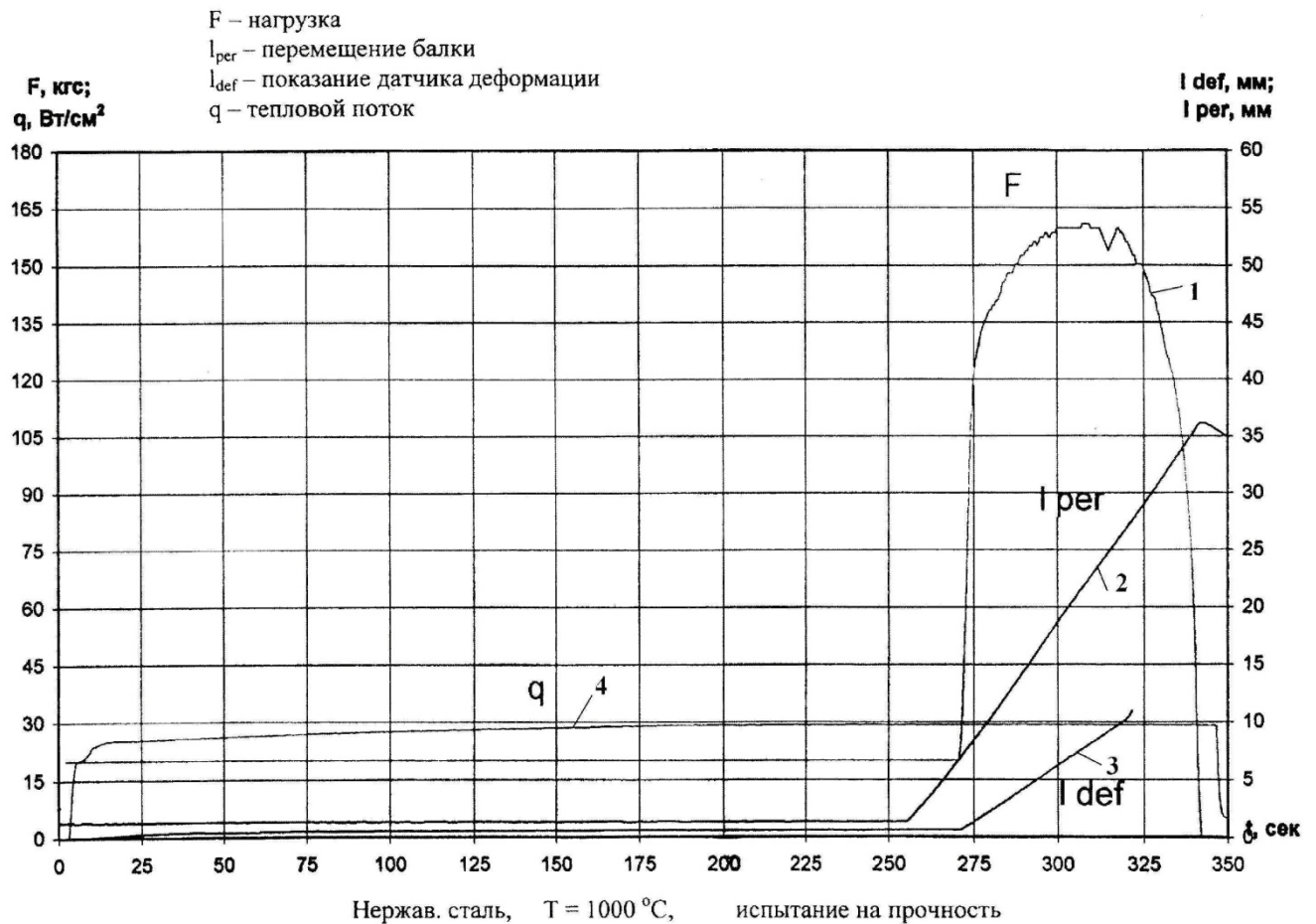


Рисунок 5.

Осциллограмма нагрева и нагружения образца

1 – сила; 2 – перемещение балки разрывной машины;

3 – деформация образца; 4 – тепловой поток q

Марки материалов для испытания задаются из имеющихся в наличии образцов материалов конструкций РДТТ типа жаропрочных сталей. Размеры образцов выполняются на основании ГОСТ 11262-80, ОСТ1 90044-72, РТМ 1.2.011-80. Типовые размеры образца представлены на рис. 6, причем рабочая часть образца $l_{\text{раб}}$ составляет не менее 100 мм.

Перед проведением эксперимента преподаватель уточняет марку материала. Непосредственно в процессе испытания измеряются:

- усилие нагружения $P, \text{ Н}$ с помощью датчика усилия;
- температура образца на рабочем участке (5 точек) $t, \text{ }^\circ\text{C}$ с помощью вольфрам-рениевых термопар ВР5/ВР20, заделанных в облучаемую поверхность образца и оппозитную ей наружную поверхность;
- удельный тепловой поток q с помощью датчика теплового потока DA ФОА О 13;

[Оглавление](#)

- температура образца в точке максимального значения t_{max}^k , °С с помощью дистанционного прибора двухволнового бесконтактного инфракрасного пирометра М780 (компании MIKRON);
- деформация образца Δl (удлинение), с помощью тензометрического датчика продольных деформаций специальной конструкции;
- время текущего испытания τ_t , сек. с помощью электронного секундомера с интервалом 0,1 с.

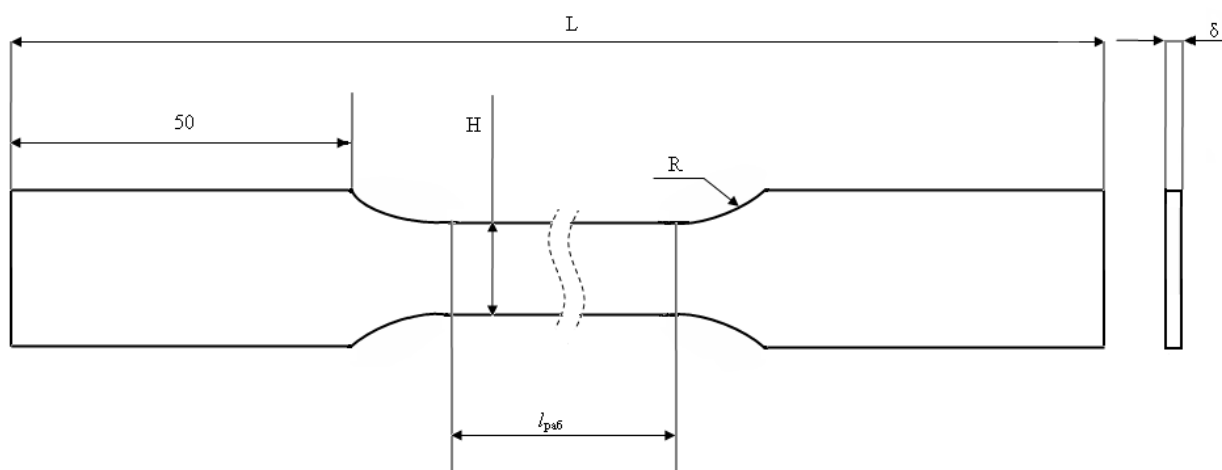


Рисунок 6. Форма и размеры образца для испытания

5.2 Порядок проведения испытаний

- Производится обмер образца, включая поперечное сечение;
- испытуемый образец устанавливается в приспособление на разрывной машине;
- включаются приборы системы измерения: датчик теплового потока, датчик деформаций, пирометр, ЭВМ;
- включается система управления контроля и регулирования силового нагружения и нагрева образца;
- осуществляется нагрев и нагружение образца в соответствии с заданной программой проведения испытания до разрушения;
- разрушающую нагрузку фиксировать;
- производится обработка результатов испытания.

Проведению испытания предшествует, как правило, отработка режимов нагружения и режимов нагрева на модельном образце на предмет работоспособности всех систем испытательного стенда и оценки согласования элементов системы измерения параметров.

5.3 Методика обработки результатов испытаний

Напряжения в образце определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{S},$$

где P, H – текущая нагрузка, действующая на образец;

$S, м^2$ – площадь поперечного сечения образца (вычисляется по результатам обмеров по формуле: $S = H \cdot \delta$), H, δ – ширина и толщина рабочей части образца.

Продольная деформация образца определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_{раб}},$$

где $\Delta l, м$ – удлинение базы измерений на рабочей части образца;

$l_{раб}, м$ – длина базы измерений рабочей части образца.

Типовая осциллограмма нагружения образца приведена на рис. 5.

Полученные результаты сводятся в таблицу 6 и строится зависимость $\tau = f(\varepsilon)$, приведенная на рис. 7.

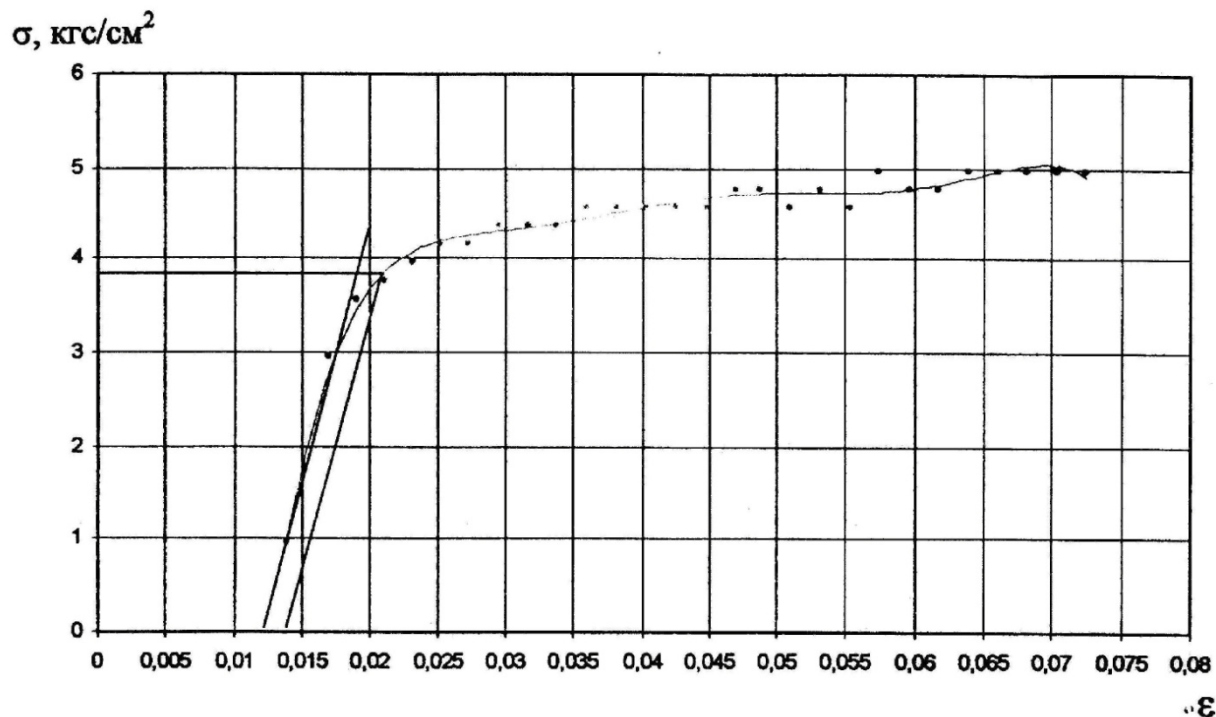


Рисунок 7. Типовая диаграмма напряженного состояния

Таблица 6. Результаты эксперимента на примере холодных испытаний при $T = 293\text{K}$.

Величин а	Размерност ь	№ замера									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	кгс	3750	3800	...	...	...	...	...	...	...	...
P	кН	36,7 9	37,2 8	...	...	...	...	...	...	...	...
σ	МПа	920	932	...	...	...	...	...	...	...	...
ϵ	—	0,35 0	0,42 8	...	...	...	...	...	...	...	...

5.4 Форма отчетности по лабораторной работе

По результатам проведения испытания оформляется отчет по установленной на кафедре Э-1 форме. По представленному отчету проводится зачет по лабораторной работе.

[Оглавление](#)

5.5 Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе

1. Какова цель данной работы?
2. Каким образом моделируются условия нагрева образца испытуемого материала в данной работе?
3. В чем состоит специфика испытания на термopрочность материалов РДТТ?
4. Какая характеристика материала исследуется?
5. Какова цель отработки режимов испытания?
6. Каким образом определяются значения напряжений в образце?
7. Каким образом определяются значения относительной деформации образца?

6. Список литературы

1. Шишков А.А., Папин С.Д., Румянцев Б.В. "Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива": Справочник М.: Машиностроение, 1989. - 240 с.
2. Липанов А.М., Алиев А.В. Проектирование ракетных двигателей твердого топлива.- М.: Машиностроение, 1995. - 400 с.
3. Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. "Теплопрочность конструкций ракетного двигателя твердого топлива". - М.: Машиностроение, 1985. - 200 с.