**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа ядерных технологий

Направление – Ядерные физика и технологии

Отделение ядерно-топливного цикла

Отчет по лабораторной работе №1

по дисциплине

«Теория каскадов для разделения двухкомпонентных изотопных смесей»

**Проверка материала ротора на растяжение и разрыв**

Исполнитель:

Студент, гр. 0А8Д \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Кузьменко А.С.

подпись дата

Проверил:

Профессор ОЯТЦ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Орлов А.А.

подпись дата

Томск – 2021

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ЦЕЛЬ РАБОТЫ 3](#_Toc89553016)

[1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ 3](#_Toc89553017)

[1.1. Назначение разрывной машины Р5 3](#_Toc89553018)

[1.2. Классификация машин Р5 3](#_Toc89553019)

[1.3. Основные характеристики машин Р5 4](#_Toc89553020)

[1.4. Подготовка к проведению испытания 8](#_Toc89553021)

[1.5. Метод отбора образцов 9](#_Toc89553022)

[1.6. Проведение испытаний и обработка результатов 12](#_Toc89553023)

[2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ 14](#_Toc89553024)

[3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ 14](#_Toc89553025)

[ВЫВОДЫ 16](#_Toc89553026)

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучение назначения, классификации, основных характеристик разрывных машин типа Р5, методики изготовления плоских и цилиндрических металлических образцов, методики испытания этих образцов на разрыв при различных температурах. Определение основных характеристик испытываемых образцов (временное сопротивление, конечная расчетная длина, относительное удлинение).

**1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

**1.1. Назначение разрывной машины Р5**

Разрывная машина типа Р5 предназначена для статических испытаний на растяжение черных и цветных металлов и изделий с номинальным диаметром или наименьшим размером в поперечном сечении 3,0 мм и более для определения при температуре 20ºС следующих характеристик механических свойств:

* предела текучести физического;
* модуля упругости;
* предела текучести условного;
* предела прочности (временного сопротивления);
* равномерного относительного удлинения;
* относительного удлинения после разрыва;

-относительного сужения поперечного сечения после

разрыва.

**1.2. Классификация машин Р5**

Машины типа Р5 по виду деформации, сообщаемой образцу в процессе испытания, подразделяют на:

разрывные (растяжение);

универсальные (растяжение, сжатие, изгиб).

По способу силовозбуждения (виду привода) машины типа Р5 могут являться как электромеханическими, так и электрогидравлическими.

По типу силоизмерительного устройства машины типа Р5 подразделяют на: машины с маятниковым (рычажно-маятниковым) силоизмерителем; машины с торсионным силоизмерителем; машины с электрическим (тензорезисторным, вибрационно-частотным и др.) силоизмерителем.

По виду испытываемых материалов машины типа Р5 подразделяют на машины:

для испытания образцов металлов;

для испытания строительных материалов;

для испытания полимерных материалов;

для испытания текстильных материалов (материалов легкой промышленности).

Возможность проведения испытаний нескольких видов материалов на одной модели указывают в ТУ на выпуск машин.

Компоновочные схемы и составные части машин должны соответствовать принципам блочно-модульного конструирования (модульного формирования техники).

**1.3. Основные характеристики машин Р5**

1) Ряды наибольших предельных нагрузок и группы машин, с указанием классификационных признаков указаны в таблицах 1а и 1б.

2) Значения наибольших предельных нагрузок и диапазонов нагружения машин выбираются из ряда 1,0·10n; 2,0·10n; 2,5·10n; 3,0·10n; 5,0·10n кН, где n целое положительное или отрицательное число, или 0.

3) Пределы допускаемой погрешности измерения нагрузки при прямом ходе (в процентах от измеряемой нагрузки) и разделение на группы по этому параметру приведены в таблице 2.

Таблица 1а

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды машин | Способ силовозбуждения (вид привода) | | Тип силоизмерительного устройства | | | Вид испытываемого материала | |
| Электроме-ханический | Электрогид-равлический | Маятнико-вый | Торсионный | Электрои-ческий | Металлы | Материалы легкой про-мышленности |
| Разрывные  Универсаль-ные | +  +  –  +  +  +  +  – | –  –  +  –  –  –  –  + | +  –  –  +  –  +  –  – | –  –  +  –  –  –  –  – | –  +  –  –  +  –  +  + | +  +  +  –  –  –  +  + | –  –  –  +  –  –  –  – |

Примечание. Знак «+» означает наличие у машины классификационного признака.

Таблица 1б

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Виды машин | Наибольшая предельная нагрузка, кН | Группы машин по пределу допустимой погрешности измерения нагрузки (усилий) |
| Разрывные  Универсальные | 0, 5; 1,0; 5; 10; 20; 50  0,5; 5; 10; 20; 50  100; 200; 500; 1000  0,05; 0,5; 1,0; 2,5; 3,5  0,5; 5; 50; 100  0,01; 0,05; 0,5; 5; 10; 20; 50; 100  100  500 | 0 – У; 1 – У  0 – У; 1 – У  0 – У; 1 – У  1 – У  0 – У; 1 – У  0 – У; 1 – У  0 – У; 1 – У   1. – У; 1 – У |

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Группа машин | 0 – У | 1 – У | 2 – У | 3 – У |
| Предел допускаемой погрешности измерения нагрузки (усилий) при прямом ходе, % от измеряемой нагрузки | ±0,5 | ±1,0 | ±2,0 | ±3,0 |

4) Пределы допускаемой погрешности измерения деформации (удлинения) и разделение машин на группы по этому параметру приведены в таблице 3.

Таблица 3

|  |  |
| --- | --- |
| Группа машин по точности измерения деформации (удлинения) образца | Предел допускаемой погрешности измерения деформации (удлинения), % от верхнего предела диапазона измерителя |
| 1 – Д  2 – Д  3 – Д  5 – Д | ±1,0  ±2,0  ±3,0  ±5,0 |

5) Значения масштабов записи деформации (удлинения) образца и перемещения активного захвата выбирают из ряда: 2000:1; 1000:1; 500:1; 100:1; 50:1; 20:1; 10:1; 5:1; 1:1; 1:2; 1:5; 1:10.

6) Предел допускаемой погрешности измерения и записи деформации в машинах, оснащенных электрическими измерителями деформации, не должен превышать ±2,0% от верхнего предела диапазона измерителя деформации.

7) Предел допускаемой погрешности записи перемещения активного захвата не должен превышать ±3,0% измеряемого значения величины при длине записанного самопишущим устройством отрезка по координате «перемещение» свыше 30 мм, при длине записанного отрезка до 30 мм ±1 мм при масштабах записи до 50:1 и ±2 мм при масштабе записи 100:1.

8) Значения отношений наибольшей предельной нагрузки к наименьшей и разделение машин на группы по этому параметру указаны в таблице 4.

9) Диапазон регулирования скоростей перемещения активного захвата без нагрузки и разделение машин на группы по этому параметру указаны в таблице 5.

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Группа машин | 1 – О | 2 – О | 3 – О | 4 – О | 5 – О | 6 – О | 7 – О | 8 – О |
| Отношение наибольшей предельной нагрузки к наименьшей | 10000 | 5000 | 1000 | 500 | 200 | 100 | 50 | 20 |

Таблица 5

|  |  |
| --- | --- |
| Группа машин | Отношение наибольшей скорости перемещения активного захвата к наименьшей |
| 1 – С  2 – С  3 – С  4 – С  5 – С  6 – С | 1000000  50000  10000  1000  100  10 |

Примечание. 1. Допускается использование других диапазонов регулирования скоростей, выбираемых из ряда 1·10n, где n равно 0 или любому целому числу.

2. Значения наибольших скоростей перемещения активного захвата устанавливают в диапазоне от 2 до 1000 мм/мин.

3. Заглавные буквы в обозначениях групп машин в табл. 1-5 означают: У - нагрузка (усилие), Д - деформация, О - диапазон нагрузок, С - диапазон регулирования скоростей.

10) Вероятность безотказной работы машин за заданную наработку выбирают из ряда: 0,80; 0,85, 0,90; 0,92; 0,94. Заданную наработку выбирают из ряда: 250, 500; 750; 1000; 1500; 2000 ч.

Значение вероятности безотказной работы 0,92; 0,94 устанавливают для машин без учета надежности электронной и вычислительной техники.

11) Полный средний срок службы машин должен быть не менее 15 лет.

**1.4. Подготовка к проведению испытания**

1) Измерение размеров образцов, по рабочей части до испытания проводят с погрешностью:

до 0,01 мм - при измерении цилиндрических образцов диаметром 10,00 мм и менее;

до 0,05 мм - при измерении цилиндрических образцов диаметром более 10,00 мм и плоских образцов;

до 0,1 мм - при измерении необработанных цилиндрических образцов любых диаметров и плоских образцов любой ширины.

2) Измерение размеров образцов до испытания проводят не менее, чем в трех местах - в средней части и на границах рабочей длины.

За начальную площадь поперечного сечения образца в его рабочей части Fо принимают наименьшее из полученных значений на основании произведенных измерений с округлением по таблице 6.

Таблица 6

|  |  |
| --- | --- |
| Площадь поперечного сечения образца Fо, мм2 | Округление |
| До 10 включительно  Свыше 10 до 20 влючительно  Свыше 20 до 100 включительно  Свыше 100 до 200 включительно  Свыше 200 | до 0,01  до 0,05  до 0,1  до 0,5  до 1 |

Величину начальной расчетной длины lо округляют в большую сторону: для образцов с lо=5,65√*Fо*– до ближайшего числа, кратного 5; для образцов с lо=11,3√*Fо* – до ближайшего кратного 10.

Начальную расчетную длину lо с погрешностью до 1% ограничивают на рабочей длине образца кернами, рисками или иными метками.

Для перерасчета относительного удлинения после разрыва σ с отнесением места разрыва к середине и для определения относительного равномерного удлинения σР по всей рабочей длине образца рекомендуется наносить риски, керны или иные метки, например, через каждые 5 или 10 мм.

Нанесение меток проводят с помощью делительных машин или вручную с применением металлической линейки. На образцах с повышенной хрупкостью метки наносят способами, исключающими повреждение поверхности образца (накаткой делительной сетки, красителем, карандашом).

4) Начальную площадь поперечного сечения Fо для образцов сложной формы определяют по расчетным формулам или по массе. Способ определения по начальной площади поперечного сечения Fо для таких образцов должен быть оговорен в нормативно-технической документации на металлопродукцию.

**1.5. Метод отбора образцов**

1) Для испытания на растяжение применяют плоские (рисунок 1, таблица 7) или пропорционально цилиндрические (рисунок 2, таблица 8) образцы диаметром или толщиной в рабочей части 3,0 мм и более с начальной расчетной длиной lо=5,65√*Fо* или lо =11,3√*Fо*.

2) При испытаниях материала ротора газовой центрифуги его распиливают на три цилиндрические части (верх, середина, низ), из которых затем продольно нарезают плоские образцы. Для испытаний

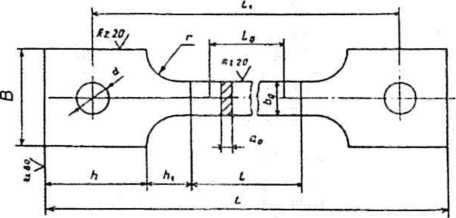


Рисунок 1 – Плоский образец

Испытания проводят при комнатной температуре.

3) Для плоских образцов соотношение между шириной и толщиной в рабочей части образца не должно превышать 8:1.

4) Форма и размеры головок и переходных частей цилиндрических и плоских образцов определяются способом крепления образцов в захватах испытательной машины.

Таблица 7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | ао | bо | lо=5,65√*Fо* | lо=1,3√*Fо* | l | B | h | H1 | r | d |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 | 0,5-1,0  1,1-2,0  2,1-3,0  3,1-4,0  4,1-5,0  5,1-6,0  6,1-7,0  7,1-8,0  8,1-8,5  8,6-10,0 | 10  10  10  10  10  15  15  15  20  20 | 20  25  30  35  40  55  55  60  75  80 | 40  50  60  70  80  110  110  120  150  160 | lо+(1,5…2,5) √*Fо* | 30  30  40  40  40  50  50  50  50  60 | 40  40  40  40  40  50  50  50  50  50 | 15-20 | 25-40 | 10  10  12  12  15  15  15  15  15  20 |

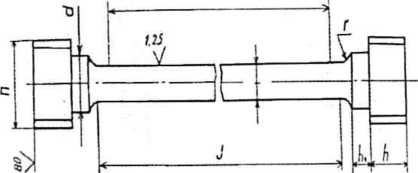


Рисунок 2 – Пропорционально цилиндрический образец

Таблица 8 – Параметры изготовляемых цилиндрических образцов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | dо | lо=5 dо | lо=10 dо | l | d | D | r | h | h1 |
| А  В  1  2  3  4 | 3  4  5  6  8  10 | 15  20  25  30  40  50 | 30  40  50  60  80  100 | lо+(0,5…2) dо | 6  6  8  10  12  12 | М10  М10  М12  М12  М16  М16 | 4  4  5  5  5  5 | 12  12  14  15  15  15 | 4  4  5  5  5  5 |

Способ крепления должен предупреждать проскальзывание образцов в захватах, смятие опорных поверхностей, деформацию головок и разрушение образца в местах перехода от рабочей части к головкам и в головках.

5) Предельные отклонения по толщине плоских образцов с механически обработанными поверхностями ± 0,1 мм.

6) Рабочая длина образцов должна составлять:

от *lо*+0,5*dо* до *lо*+2*dо* - для цилиндрических образцов,

от lо+1,5√*Fо* до lо+2,5√*Fо* - для плоских образцов.

При разногласиях в оценке качества металла рабочая длина образцов должна составлять:

lо+2dо - для цилиндрических образцов,

lо+2√*Fо* - для плоских образцов.

7) Продолжительность нагрева или охлаждения образца до температуры испытания указываются в нормативно-технической документации на металлопродукцию. При отсутствии таких указаний она должна составлять:

– при повышенных температурах продолжительность нагрева образца до температуры испытания должна составлять не более 1 часа, время выдержки – от 20 до 30 минут.

– при пониженных температурах время выдержки в жидкой среде:

а) не менее 10 минут – для цилиндрических образцов диаметром 6,0 мм и менее и для плоских образцов толщиной 4,0 мм и менее;

б) не менее 15 минут – для цилиндрических образцов диаметром более 6,0 мм и для плоских образцов толщиной более 4,0 мм.

При охлаждении образцов в газообразной среде время выдержки устанавливается экспериментально в зависимости от конструкции криостата и способа ввода охладителя.

Во время выдержки отклонение температуры охлаждающей среды от установленной не должно превышать ±2ºС.

**1.6. Проведение испытаний и обработка результатов**

1. Для определения предела прочности (временного сопротивления) *δВ* образец подвергают растяжению под действием плавно возрастающей нагрузки до разрушения.

Наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца, принимается за нагрузку *Рmах*, соответствующую временному сопротивлению.

При определении предела прочности (временного сопротивления) *δВ* скорость растяжения за пределом текучести должна быть не более 0,4 от длины расчетной части образца, выраженной в мм/мин.

Предел прочности *δВ* – это напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке *Рmах*, предшествующей разрыву образца.

Временное сопротивление или предел прочности (δВ), МПа (кгс/мм2), вычисляют по формуле: *δВ*=*Рmах*/*Fо,*

где *Fо*=*aо*-*bо*, *ао*=1,1 - толщина рабочей части плоского образца, *bо* - ширина рабочей части плоского образца (берется среднее значение).

Начальная площадь поперечного сечения образца *Fо* - это площадь поперечного сечения рабочей части образца до испытания.

2. Для определения конечной расчетной длинны образца *lК* разрушенные части образца плотно складывают так чтобы их оси образовали прямую линию.

Измерение конечной расчетной длины образца *lК* проводится штангенциркулем при значении отсчета по нониусу 0,1 мм.

Определение конечной расчетной длины образца *lК*проводится измерением расстояния между метками, ограничивающими расчетную длину.

Если расстояние от места разрыва до ближайшей из меток, ограничивающих расчетную длину образца, составляет 1/3 или менее начальной расчетной длины *lо* и определенная величина относительного удлинения после разрыва не удовлетворяет требованиям нормативно-технической документации на металлопродукцию, то допускается проводить определение относительного удлинения после разрыва δ с отнесением места разрыва к середине.

Пересчет производят по заранее нанесенным вдоль рабочей части образца через 5 или 10 мм кернам или рискам (рисунок 3).

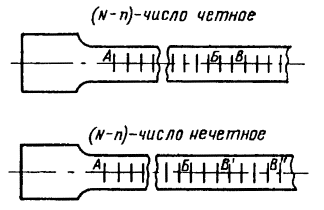


Рисунок 3 – Образец с нанесенными рисками

**2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ**

Таблица 9 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Образец** | ***N*** | ***n*** | **АБ, см** | **БВ (БВ’ – БВ’’), см** |
| 1 | 5 | 0 | 0,6 | 1,1 – 1,6 |
| 2 | 6 | 2 | 1,2 | 1,1 |
| 3 | 6 | 2 | 1,1 | 1,1 |
| 4 | 6 | 2 | 1,1 | 1,1 |
| 5 | 6 | 2 | 1,1 | 1,0 |

**3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

**Образец 1.**

Количество интервалов на начальной расчетной длине *N* = 5. Расстояние от А до Б составило *n* = 0.

Разность (*N*-*n*) составило 5 – нечетное число, следовательно, от риски Б до риски В’ составило:



От риски В’ до риски В’’ составило:



Получили значение конечной длины образца:



Относительное удлинение образца после разрыва составило при :



**Образец 2.**

Количество интервалов на начальной расчетной длине *N* = 6. Расстояние от А до Б составило *n* = 2.

Разность (*N*-*n*) составило 4 – четное число, следовательно, от риски Б до риски В составило:



Получили значение конечной длины образца:



Относительное удлинение образца после разрыва составило при :



**Образец 3.**

Количество интервалов на начальной расчетной длине *N* = 6. Расстояние от А до Б составило *n* = 2.

Разность (*N*-*n*) составило 4 – четное число, следовательно, от риски Б до риски В составило:



Получили значение конечной длины образца:



Относительное удлинение образца после разрыва составило при :



**Образец 4.**

Количество интервалов на начальной расчетной длине *N* = 6. Расстояние от А до Б составило *n* = 2.

Разность (*N*-*n*) составило 4 – четное число, следовательно, от риски Б до риски В составило:



Получили значение конечной длины образца:



Относительное удлинение образца после разрыва составило при :



**Образец 5.**

Количество интервалов на начальной расчетной длине *N* = 6. Расстояние от А до Б составило *n* = 2.

Разность (*N*-*n*) составило 4 – четное число, следовательно, от риски Б до риски В составило:



Получили значение конечной длины образца:



Относительное удлинение образца после разрыва составило при :



**ВЫВОДЫ**

В ходе лабораторной работы изучены назначение, классификация и основные характеристики разрывных машин типа Р5, методика изготовления плоских и цилиндрических металлических образцов, методика испытания этих образцов на разрыв.

В ходе обработки результатов получены следующие значения относительного удлинения образцов: 10%, 13,3%, 10%, 10%, 3,3%. Удлинение каждого образца выше 3%, следовательно, материал ротора газовой центрифуги пригоден для использования.