



МИНИСТЕРСТВО ВЫШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Харьковский авиационный институт
им. Н. Е. Жуковского

Каф. 102

ауд. 101, сам. карт.

Н. П. КАЛЕНОВ

**ИСПЫТАНИЕ
НА РАСТЯЖЕНИЕ**

(Учебное пособие
по лабораторной работе)

Харьков
Харьковский авиационный институт
1979

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Харьковский авиационный институт

им. Н.Е. Жуковского

ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ

(Учебное пособие по лабораторной работе)

Харьков

Харьковский авиационный институт

1980

УДК 539

Испытание на растяжение. (Учебное пособие по лабораторной работе)/Каленов Н.П. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1980. - 15 с.

В данном учебном пособии изложены теоретические предпосылки и методика определения механических характеристик материалов при испытании на растяжение образцов из малоуглеродистой стали на разрывных машинах.

Пособие содержит практические указания по подготовке разрывной машины к работе, проведению эксперимента и обработке экспериментальных данных.

Предназначается для студентов, обучающихся в Харьковском авиационном институте на факультетах самолетостроения и авиадвигателестроения, а также для студентов вузов, изучающих сопротивление материалов в объемах, принятых для указанных специальностей.

С

Харьковский авиационный институт, 1980 г.

Цель работы:

1. Ознакомиться с испытательной машиной УИМ-50.
2. Определять механические характеристики стали: предел текучести σ_T , предел прочности σ_{Br} , напряжение при разрыве образца $\sigma_{ист}$, относительное удлинение $\epsilon\%$ и относительное сужение $\gamma\%$ при разрыве.
3. По маятниковой диаграмме $P-\Delta L$ определить удельную работу деформации.
4. Построить в масштабе условную и истинную диаграммы растяжения.

I. Основные положения

При расчетах на прочность и устойчивость элементов машин и сооружений необходимо знать механические свойства материалов — прочностные и деформационные/пластические/.

Прочностные свойства материалов характеризуются пределом пропорциональности, пределом текучести, пределом прочности, модулями упругости; деформационные — относительным удлинением и относительным сужением.

Механические свойства материалов определяются при механических испытаниях, которые по характеру приложения нагрузки разделяются на статические и динамические. По видам деформации производятся испытания на: растяжение, сжатие, срез, кручение, изгиб и др. Наиболее простым и распространенным механическим испытанием является испытание на растяжение.

2. Машины для испытаний на растяжение

Независимо от разнообразия применяемых разрывных машин, они имеют такие основные части: устройства, создающие усилие на образец; приспособление для установки образца; силовой измеритель и приспособление для записи зависимости деформации от нагрузки.

Применяемые разрывные машины подразделяются на винтовые, рычажные и гидравлические.

В гидравлических машинах усилие на образец создается

4.

давлением жидкости на поршень, скользящий в цилиндре.

Универсальная машина УИМ-50 с предельной нагрузкой 50 тонн имеет две сопряженные рамы/рис. I /, из которых одна неподвижная I, а другая подвижная II. Неподвижная рама состоит из основания 3 и траверсы 4, соединенных двумя колоннами 5. В траверсе установлены рабочий цилиндр 6 и поршень 7, на который опирается подвижная рама. Подвижная рама состоит из траверсы 8 и поперечины 9, соединенных двумя тягами 10.

Верхняя часть траверсы служит столом для установки приспособлений при испытании на скатле, изгиб, загиб. В нижней части траверсы устанавливается приспособление, которое является верхним захватом образца. Нижний захват II с направляющей крепится на винте привода 12, при помощи которого производится установка деталей и образцов при настройке машины на испытание.

При повышении давления в цилиндре 6 поршень 7 вместе с подвижной рамой II поднимается вверх, создавая усилие на образец 13.

Для создания давления в рабочей магистрали машины служит насосная установка, собранная отдельным узлом на раме пульта управления 14.

Управление установкой производится с пульта управления двумя рукоятками регулировки производительности насоса (грубой и тонкой).

Измерение действующего усилия при испытании производится динамометром 15 маятнико-гидравлического типа.

Для повышения точности измерения усилий на штанге маятника устанавливаются съемные грузы и соответственно съемные шкалы на циферблате.

Выбор рабочего диапазона (шкалы и груза) зависит от размеров и материала испытываемого образца или детали.

Для автоматической записи зависимости между силой и деформацией образца на пульте управления устанавливается барабан 16, обернутый миллиметровой бумагой.

Барабан при помощи троса, проходящего через ролик, связан с подвижной траверсой и при ее перемещении враща-

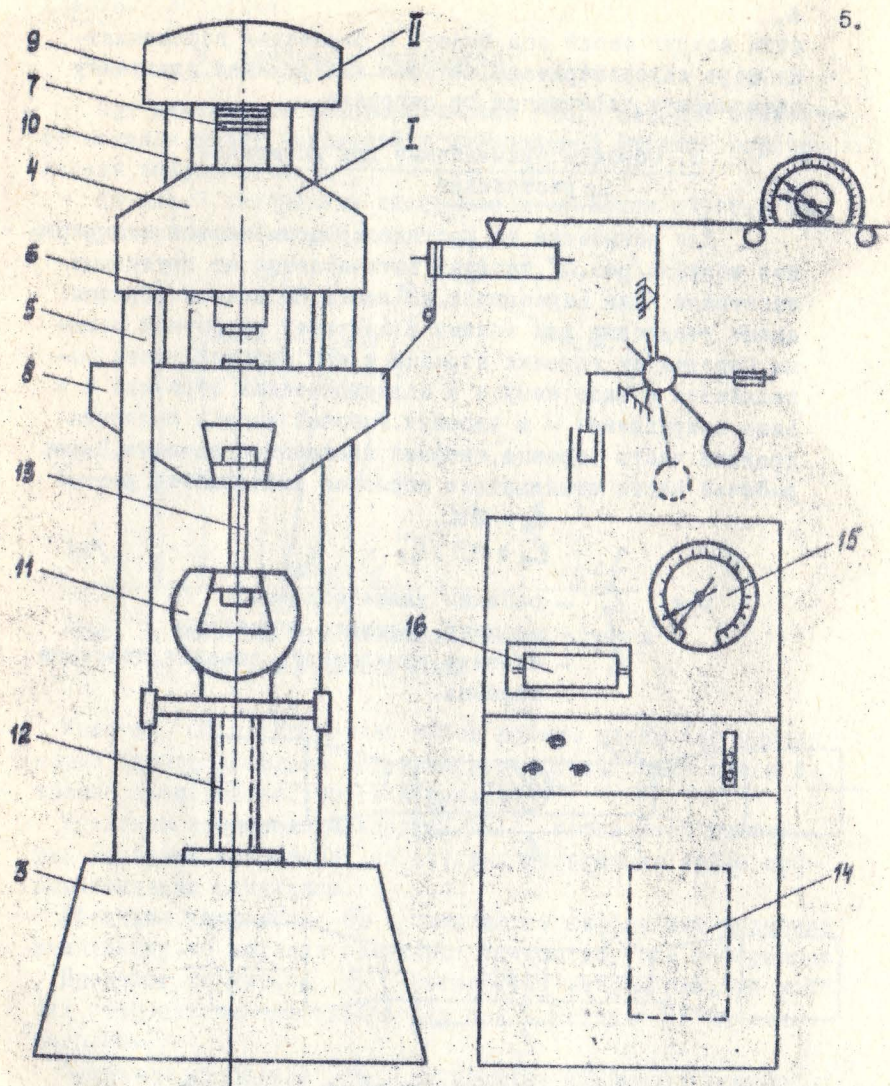


Рис. 1. Схема универсальной машины УИМ-50

6.

ется вокруг своей оси. Вместе с барабаном перемещается перо силоизмерителя, которое вычерчивает диаграмму зависимости деформации от нагрузки.

3. Образцы, применяемые при испытании на растяжение

Для испытания на растяжение применяются стандартные образцы/рис.2/, которые вытачиваются из прутковых заготовок или вырезаются из листа. На концах образцов имеют утолщения для захвата в захватах разрывной машины. Переход от головки образца к его рабочей части выполняется в виде конуса в цилиндрических образцах и в виде закругления — в плоских. Рабочей частью является средняя часть образца, имеющая постоянное сечение. Длина рабочей части стандартных образцов принимается равной

$$l_0 = 10d_0,$$

$$l_0 = 11,3\sqrt{F_0},$$

/I/

где l_0 — рабочая длина образца;
 d_0 — диаметр круглого образца;
 F_0 — площадь поперечного сечения плоского образца.

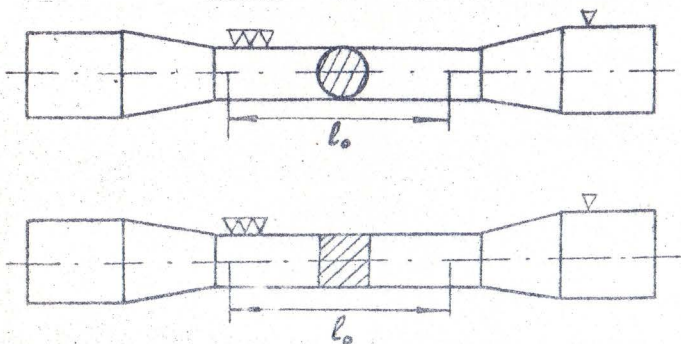


Рис. 2. Образцы для испытаний на растяжение

Допускается применение укороченных образцов с расчетной длиной $l_0 = 5d_0$ для круглых и $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ для

4. Диаграммы растяжения

При растяжении кристаллических тел, к которым относятся металлы, между нагрузкой и деформацией имеется определенная зависимость.

На рис. 3 изображена диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали.

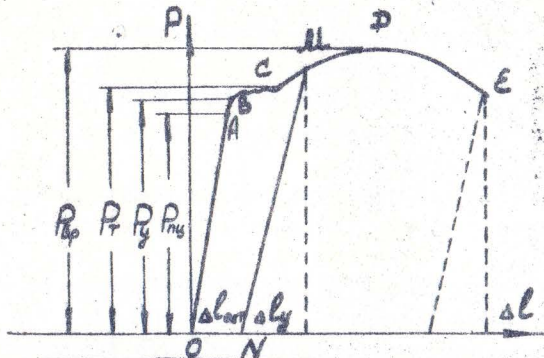


Рис. 3. Машинная диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали

Участок OA представляет собой прямую линию. Деформации прямо пропорциональны нагрузке/закон Гука/. Выше точки A прямая пропорциональность нарушается.

Пределом пропорциональности σ_{ms} называются наибольшие условные напряжения, до которых деформации прямо пропорциональны нагрузкам.

Пределом упругости σ_y называются наибольшие условные напряжения, до которых возникает только упругие деформации.

Пределом текучести σ_T называются напряжения, при которых рост деформации происходит без заметного увеличения нагрузки.

Пределом прочности σ_{Br} называются наибольшие условные напряжения, которые может выдержать образец из данного материала.

После точки D-нагрузки падает, что объясняется уменьшением площади поперечного сечения образца в месте будущего разрыва — образуется шейка. Истинные напряжения в шейке будут увеличиваться до разрыва образца.

8.

Пределы пропорциональности, упругости, текучести, прочности и действительные напряжения в момент разрыва определяются соответственно из выражений

$$\sigma_{пл} = \frac{P_{пл}}{F_0}; \quad \sigma_y = \frac{P_y}{F_0}; \quad \sigma_T = \frac{P_T}{F_0}; \quad \sigma_{бр} = \frac{P_{бр}}{F_0}; \quad \sigma_{ист} = \frac{P_{ист}}{F_{из}}, \quad /2/$$

где $P_{пл}, P_y, P_T, P_{бр}, P_{ист}$ - нагрузки, соответствующие пределам пропорциональности, упругости, текучести, прочности и моменту разрыва образца;

$F_0, F_{из}$ - первоначальная и конечная /в шейке/ площадь поперечного сечения образца.

Если образец из малоуглеродистой стали нагрузить до предела упругости, а затем снять нагрузку, то размеры образца восстановятся, а деформация исчезает.

При нагружении образца выше предела текучести появляется остаточная деформация $\Delta l_{ост}$, которая остается после снятия нагрузки /см. рис. 3/.

При повторном после разгрузки нагружении диаграмма растяжения принимает вид прямой /или далее - вид кривой ИДЭ/ см. рис. 3/.

Диаграмма, показанная на рис. 3, записывается непосредственно машиной. Поэтому она называется машинной диаграммой. Чтобы получить характеристику свойств материала независимо от размеров испытуемого образца, строят условную диаграмму растяжения в координатах напряжения-относительная деформация /рис. 4/.

При этом

$$\sigma_x = \frac{P}{F_0}, \quad \text{а} \quad \epsilon_x = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad /3/$$

где P - действующая нагрузка;

ϵ_x - относительная деформация /относительное удлинение/;

Δl - абсолютное удлинение, равное $\Delta l = l_x - l_0$;

l_0 - начальная длина рабочей части образца;

l_x - длина рабочей части образца после разрыва.

Эта диаграмма /рис. 4/ называется условной диаграммой.

В процессе растяжения площадь поперечного сечения и длина образца непрерывно изменяются. Поэтому действительные напряжения и деформации будут отличаться от их значений, определяемых из условной диаграммы.

Для построения истинных диаграмм напряжение-деформация при испытании определяют величину растягивающей силы и одно-

временно измеряют размеры поперечного сечения образца. Тогда

$$\sigma_{ист} = \frac{P_t}{F_t}$$

14/

где P_t, F_t - действительные усилия и площадь поперечного сечения образца. Для сравнения на рис. 5 показаны условная 1 и истинная 2 диаграммы растяжения.

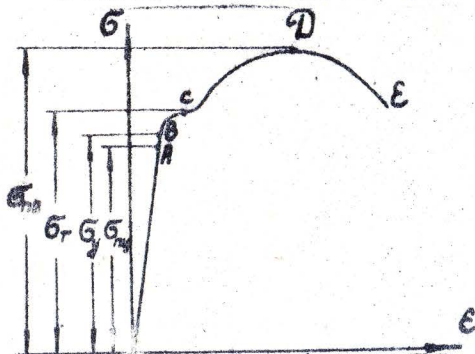


Рис. 4. Условная диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали

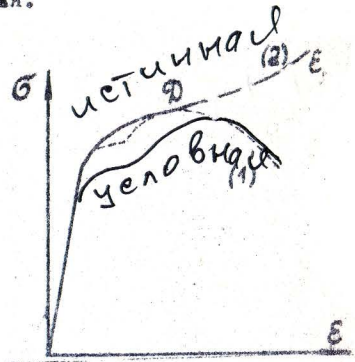


Рис. 5. Диаграмма истинных напряжений

Первоначальные участки условной и истинной диаграмм почти совпадают, так как площадь сечения изменяется незначительно. При дальнейшем уменьшении площади сечения напряжения возрастает и максимальное значение будет в момент разрыва. Для определения механических характеристик материалов при испытании на растяжение обычно пользуются условными диаграммами в координатах $\sigma - \epsilon$.

5. Диаграммы растяжения сравнительно хрупких материалов



Рис. 6. Диаграмма растяжения образца из высокоуглеродистой стали

Диаграммы растяжения с ясно выраженной площадкой текучести получаются при испытании образцов из малоуглеродистых и малолегированных сталей, а также некоторых сплавов цветных металлов. При испытании образцов из углеродистых и легированных сталей нагрузка увеличивается до разрыва образца при незначительных деформациях и отсутствии ярко выраженной площадки текучести. На рис. 6 изображена диаграмма растяжения образца и высокоуглеродистой (инструментальной) стали.

Ю.

При испытании таких материалов за предел текучести условно принимают напряжение, соответствующее остаточной деформации $E = 0,002$ (0,2%).

6. Определение деформационных свойств материала

Деформационные пластические свойства материалов характеризуются величиной относительного удлинения и относительного сужения поперечного сечения стандартных образцов. Деформации, возникающие при растяжении в момент разрыва образца, распределены по длине образца неравномерно /рис. 7/.

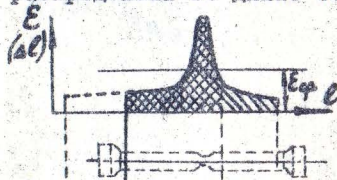


Рис. 7. Эпюра остаточных удлинений

Наибольшее удлинение возникает в месте разрыва.

Для получения среднего удлинения на стандартной длине образца от сечения разрыва откладывают в обе стороны одинаковые отрезки.

Измеряя их общую длину, получают среднее абсолютное удлинение.

Относительное удлинение определяется как процентное отношение приращения длины образца к его первоначальной длине:

$$E_{\%} = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad /5/$$

Относительное сужение определяется процентным отношением изменения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к первоначальной площади поперечного сечения:

$$\psi_{\%} = \frac{F_0 - F_{из}}{F_0} \cdot 100\% \quad /6/$$

7. Работа деформации

По диаграмме растяжения $P - \Delta l$ /см. рис. 3/ можно вычислить работу, затраченную на разрыв образца.

Если силе P дать приращение dP , то удлинение получит приращение $d\Delta l$. Работа внешних сил на этом перемещении будет равна

$$dA = (P + dP) d\Delta l \quad /7/$$

Работа, затраченная на растяжение образца до абсолютного удлинения, равного Δl , пренебрегая величинами второго порядка малости, составит

$$A = \int_0^{\Delta l} P d\alpha l \quad /8/$$

В пределах упругих деформаций работа будет равна

$$A_y = \frac{P_0 \Delta l}{2} \quad /9/$$

Разделив полную работу, затраченную на разрыв образца, на объем его рабочей части $V = F_0 l_0$, определяют удельную работу деформации $a = \frac{A}{F_0 l_0} \frac{N \cdot \text{см}}{\text{см}^3}$. Удельная работа деформации характеризует сопротивляемость материала динамическим нагрузкам. Чем выше удельная работа, тем лучше материал сопротивляется воздействию ударных нагрузок, поглощая кинетическую энергию удара.

8. Порядок выполнения работы

1. Осмотреть основные узлы универсальной машины УИМ-50.
2. Подобрать шкалу отсчета и соответствующий груз маятника в зависимости от предполагаемой максимальной нагрузки, которая обычно указывается в третьей четверти шкалы.
3. Проверить исправность машины. Включить электродвигатель и плавным поворотом рукоятки управления насосом "на себя" подать масло в цилиндр, поворотом шкалы нагрузок установить на нуль рабочую стрелку. При движении подвижных частей машины вверх и вниз рабочая стрелка должна оставаться на нуле, что является показателем исправности машины.
4. Установить в рабочее положение диаграммный аппарат для записи диаграммы растяжения.
5. Замерить с точностью до 0,001 диаметр образца и его расчетную длину l_0 . На расчетную длину керном нанести деления через 10 мм.
6. Установить образец в зажимах машины. Проверить его центровку и установить защитные щитки. Ходовой винт закончить контргайкой.
7. Установить рукоятки управления насосом в следующие

12.

положения: рукоятку грубой настройки поставить в среднее положение, рукоятка точной настройки должна быть закручена против часовой стрелки.

8. Включить машину. Поворачивая рукоятку управления насосной установкой "на себя", добиться плавного хода машины. Скорость нагружения до предела текучести не должна превышать 4 мм/мин, за пределом текучести — 20 мм/мин. Для увеличения производительности насоса рукоятку точной регулировки надо вращать по часовой стрелке, а для уменьшения производительности — против часовой стрелки.

9. В процессе испытания определять нагрузки, соответствующие пределу текучести P_T , пределу прочности P_B и моменту разрыва образца P_R .

10. После разрыва образца выключить машину, рукоятки управления насосом после слива масла из рабочей системы поставить в исходное положение.

11. Замерить длину расчетной части образца l_n и диаметр шейки $d_{ш}$. Вычислить удлинение рабочей части образца $\Delta l = l_n - l_0$ и площадь шейки $F_{ш} = \frac{\pi d_{ш}^2}{4}$.

12. Определить механические характеристики:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \quad \sigma_{Br} = \frac{P_{Br}}{F_0} \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \quad \sigma_{уст.} = \frac{P_{уст.}}{F_{ш}} \frac{\text{кг}}{\text{см}^2},$$

$$\epsilon\% = \frac{l_n - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad \psi\% = \frac{F_0 - F_{ш}}{F_0} \cdot 100\%.$$

13. Определить масштаб полученной диаграммы. До начала деформации образца перемещение подвижных частей машины происходит почти без нарастания нагрузки: устраняется зазоры в захватах образца и самой машины, а в начале диаграммы появляется криволинейный участок /рис. 8/.

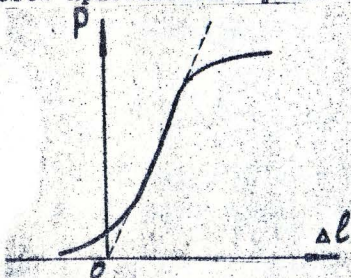


Рис. 8. Начало отсчета на машинной диаграмме

Чтобы его исключить, прямолинейный участок диаграммы продолжат до пересечения с осью абсцисс. Точка пересечения является началом координат.

14. Построить в координатах $\sigma - \epsilon$ условную диаграмму растяжения.

15. По площади диаграммы $P - \Delta l$ определять полную работу, затраченную на деформацию образца.

16. Определить удельную работу, затраченную на единицу объема материала,

$$a_k = \frac{A}{F_0 l_0} \quad \frac{\text{кг} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}$$

Полученные данные занести в протокол испытаний.

9. Контрольные вопросы

1. Как создается усилие на образец при испытании на машине УИМ-50?
2. Как производится запись диаграммы растяжения при испытании?
3. Какие образцы применяются при испытании на растяжение? Какая зависимость длины рабочей части образца от размеров его поперечного сечения?
4. Характерные точки диаграммы растяжения образцов из малоуглеродистой стали и их характеристика.
5. Что называется пределом пропорциональности, пределом упругости, пределом текучести и пределом прочности?
6. При испытании каких материалов происходит заметное уменьшение нагрузки перед разрывом образца?
7. Как определяются истинные напряжения при испытании на растяжение?
8. Как определяется относительное удлинение при испытании на растяжение?
9. Как определяется относительное сужение при испытании на растяжение?
10. Какой вид имеет условная диаграмма растяжения? Построить ее.
11. Какой вид имеют диаграммы растяжения из хрупкого материала?

14.

12. Какой вид имеет истинная диаграмма растяжения? Построить ее.
13. Как условно определяется предел текучести материалов, не имеющих на диаграммах растяжения площадки текучести?
14. Как определить полную работу деформации при испытании на растяжение?
15. Как определяется удельная работа деформации при испытании на растяжение? Что она характеризует?
16. Какими величинами характеризуются прочностные свойства материалов?
17. Какими величинами характеризуются деформационные /пластические/ свойства материалов?

Николай Петрович Каленов

Испытание на растяжение
(Учебное пособие по лабораторной работе)

Ответственный за выпуск Л.Я. Кравец

Редактор С.П. Гевло

Подписано к печати 30.01.80 г.
Формат 60x90/16. Бумага офс. №2. Офс. печ.
Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 700. Заказ 69. Цена 11 к.

Изготовлено на ротапринте в типографии ХАИ
Харьков-191, ул. Чкалова, 17

11 коп.