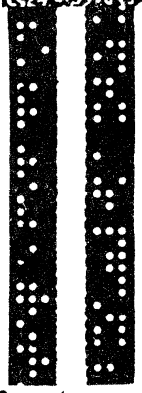
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО СТАНДАРТАМ

ВНИИНМАШ

РАСЧЕТЫ
И ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ



Метод испытаний на ползучесть при регулярном многоцикловом нагружении

Р 50-54-35-88

gost.e-ecolog.ru

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
(Госстандарт СССР)

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по нормализации в машиностроении
(ВНИИНМАШ)

Утверждены
Приказом ВНИИНМАШ
№ 412 от 21.12.87г.

Расчеты и испытания на прочность
Метод испытаний на ползучесть при регулярном многоцикловом нагружении

Р е к о м е н д а ц и и

Р 50-54-35-88

Москва 1988

УДК 620.173.25:539.376.22 Группа Т51

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

Расчеты и испытания на прочность Р 50-54-35-88
Метод испытаний на ползучесть при регулярном многоцикловом нагружении
ОКСТУ 0070

Рекомендации (Р) регламентируют требования к проведению испытаний на ползучесть в условиях многоциклового нагружения.

Р распространяются на черные и цветные металлы и сплавы и устанавливают метод испытаний для определения характеристик сопротивления ползучести при совместном нагружении статическими и высокочастотными циклическими нагрузками с начальным максимальным напряжением в цикле ниже предела текучести.

Рассчитаны на работников научно-исследовательских институтов, опытно-конструкторских бюро и заводских лабораторий.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I.Настоящие рекомендации (Р) распространяются на черные и цветные металлы и сплавы и устанавливают метод испытаний для определения характеристик ползучести в условиях одновременных статических и высокочастотных циклических нагрузок с начальным максимальным напряжением в цикле ниже предела текучести при:

осевом нагружении растяжением-сжатием;

симметричных и асимметричных циклах напряжений, изменяющихся по гармоническому закону с постоянными и переменными параметрами;

изотермических режимах в диапазоне изменения температур от 20 до I2CC°C;

наличии и отсутствии концентраторов напряжений.

I.2. Р могут применяться при проведении исследовательских и сравнительных испытаний и не распространяются на малоцикловое нагружение, сложное напряженное состояние, на испытания в условиях коррозионного, радиационного и других видов физических воздействий, а также на детали машин и элементы конструкций.

I.3. В настоящих Р предусматривается определение условий интенсивного развития ползучести в металлических материалах в условиях многоциклового нагружения. Для области интенсивного развития ползучести определяются стандартные характеристики на гладких образцах: предел ползучести, минимальная скорость ползучести, параметры упрочнения.

I.4.Характеристики сопротивления ползучести используются для:

оценки материальных констант в определяющих уравнениях ползучести;

оценки влияния циклически изменяющихся нагрузок на сопротивление ползучести конструкционных материалов;

обоснования выбора материала конструкций, работающих при

изотермическом циклическом нагружении.

I.5.Термины, определения, обозначения, применяемые в рекомендациях,- по ГОСТ 3248-81, ГОСТ 23207-78 и ГОСТ 25502-79. Наиболее характерные циклы изменения напряжений и их параметры приведены в Приложении I.

2.ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ИСПЫТАНИЙ

2.I.Технические требования к испытаниям на ползучесть включают совокупность метрологических требований к форме и размерам образцов, применяемому испытательному оборудованию, проведению испытаний и обработке результатов испытаний.

2.2.Стандартные и сравнительные характеристики сопротивления ползучести находят по результатам статистической обработки первичных экспериментальных данных "деформация ползучести-время", получаемых при фиксированных значениях температур и напряжений цикла.

2.3.Испытания проводят на стандартных образцах в режиме мягкого нагружения до разрушения. При каждом фиксированном параметре нагружения испытывается не менее трех образцов.

2.4.При каждом из фиксированных значений температуры проводится не менее шести серий испытаний с варьированием соотношения между компонентами напряжений цикла от $\sigma_a = 0$ (статическая ползучесть) до $\sigma_m = 0$ (усталость при симметричном цикле). При фиксированном соотношении компонент цикла испытания проводятся для трех уровней температур.

2.5.Испытания на ползучесть осуществляются при фиксированной частоте нагружения. Частота нагружения не регламентируется, если скорость нарастания температуры образцов вследствие саморазогрева материала не превышает Iград./сек, а суммарное изменение температуры не превышает 20 °С.

3.ОБРАЗЦЫ

3.I.Испытание металлов на ползучесть проводят на гладких круглых и плоских образцах. Форма и размеры рабочей части образцов выбираются согласно ГОСТ 3248-8I и ГОСТ 25.502-79.

3.2.Рабочая часть образцов должна быть изготовлена по точности не ниже 7-го квалитета СТ СЭВ I44-75.

3.3.Параметр шероховатости рабочей части образцов 0,32 - 0,I6 мкм по ГОСТ 2789-73, поверхность не должна иметь следов коррозии, окалины, литейных корок, цветов побежалости, если это не предусмотрено исследованиями.

3.4.Рабочую часть образца измеряют с погрешностью не более 0,0I мм. Способ измерения не должен вызывать повреждения поверхности образцов.

4. ОБОРУДОВАНИЕ

4.I.Для определения характеристик ползучести при многоцикловом нагружении используются испытательные машины с механическим или электромагнитным силовозбудителем, обеспечивающие измерение и регистрацию усилий, перемещений и числа циклов изменения нагрузок и позволяющие проводить испытания с заданной скоростью циклирования.

4.2.Для измерения деформаций ползучести применяют электрические и оптические экстензометры, а также другие средства бесконтактного типа, обеспечивающие заданную точность измерения в широком диапазоне температур.

4.3.Испытательные машины должны удовлетворять требованиям ГОСТ 3248-8I и ГОСТ 25.502-79 в отношении точности измерения, поддержания и регистрации нагрузок, температуры и деформаций.

4.4.Испытательные машины должны обеспечивать непрерывную запись деформаций в режиме статического нагружения, симметрич-

ного циклического и в условиях совместного нагружения статическими и высокочастотными циклическими нагрузками.

4.5.В процессе испытаний дополнительные деформации изгиба не должны превышать 5% осевой равномерной деформации.

4.6.Испытательные машины оборудуются устройствами автоматического отключения при разрушении образца, аппаратурой для автоматической регистрации исполнительных и контролируемых параметров.

4.7.Наиболее полно требованиям, предъявляемым к испытательному оборудованию, удовлетворяют установки с механическим силовозбуждением и экстензометрами индуктивного типа. В Приложении 2 в качестве примера излагается методика испытаний на базе установки МИР-СТ конструкции Института механики АН УССР. Основные положения методики справедливы и при использовании установок другого типа.

Функциональная схема испытательной установки, система автоматической регистрации деформаций полаучести для указанных режимов также приведены в Приложении 2.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

5.I.Установленный в захватах испытательной машины образец проверяется на отсутствие эксцентриситета путем измерений при нормальной температуре упругих удлинений образца на двух диаметрально противоположных сторонах.

5.2.Образец нагревается до заданной рабочей температуры (удлинение образца в процессе нагрева компенсируется смещением активного захвата) и выдерживается не менее I часа. Одновременно производится замер удлинения.

5.3.После нагрева до заданной температуры и выдержки в течение часа к образцу плавно прикладывается статическая нагрузка с одновременной записью удлинения.

Последовательность нагружения до заданной статической нагрузки определяется по ГОСТ 3248-81.

5.4.После постижения заданной статической нагрузки ее величина стабилизируется **автоматически** и образец нагружается циклической нагрузкой до заданной амплитуды. Заданная амплитуда циклической нагрузки **стабилизируется также автоматически.**

5.5.Запись удлинения осуществляется автоматически с момента нагружения статической составляющей.

5.6.Продолжительность испытания при заданных напряжении и температуре устанавливается для каждого материала в зависимости от его назначения, но не менее 10% предполагаемого ресурса эксплуатации.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

6.1.Исходные данные и результаты испытаний каждого образца фиксируют в протоколе (Приложение 3).

6.2.Строятся кривые статической ползучести для нескольких уровней напряжений. Для каждого фиксированного значения статической компоненты строятся кривые циклической ползучести при нескольких уровнях амплитуд циклической нагрузки.

Типичные формы кривых ползучести для заданного диапазона изменения компонент напряжений приведены в Приложении 4.

ПРИЛОЖЕНИЯ

I. ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕНИЯ

Условия осевого многоциклового нагружения зададим системой уравнений

$$\sigma = \sigma_m + \sigma_a g(f,t) = \sigma_m [1 + A g(f,t)];$$
$$\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a < \sigma_T ; \; A = \frac{\sigma_m}{\sigma_a} \in (0,\infty) ; \; f > 10 \text{ Гц} , \qquad (I.I)$$

где σ - результирующее циклическое напряжение; σ_m, σ_a - среднее напряжение и амплитуда циклического напряжения; $g(f,t)$ - периодическая функция времени с частотой f ; A - коэффициент амплитуд; σ_T - предел текучести.

Графическая интерпретация наиболее характерных режимов многоциклового нагружения, реализуемых согласно (I.I) с гармоническим законом для $g(f,t)$ при исследованиии ползучести, показана на рис. I:

а) $\sigma_a = 0$ и $A = 0$ - стационарное статическое нагружение;

б) $\sigma_m > \sigma_a$ - знакопостоянный асимметричный цикл;

в) $\sigma_m > \sigma_a$ - асимметричный цикл с варьируемой амплитудой;

г) $\sigma_m > \sigma_a$ - асимметричный цикл с варьируемым средним напряжением;

д) $\sigma_a > \sigma_m$ - знакопеременный асимметричный цикл;

е) $\sigma_m = 0$ и $A = \infty$ - симметричнсе циклическое нагружение.

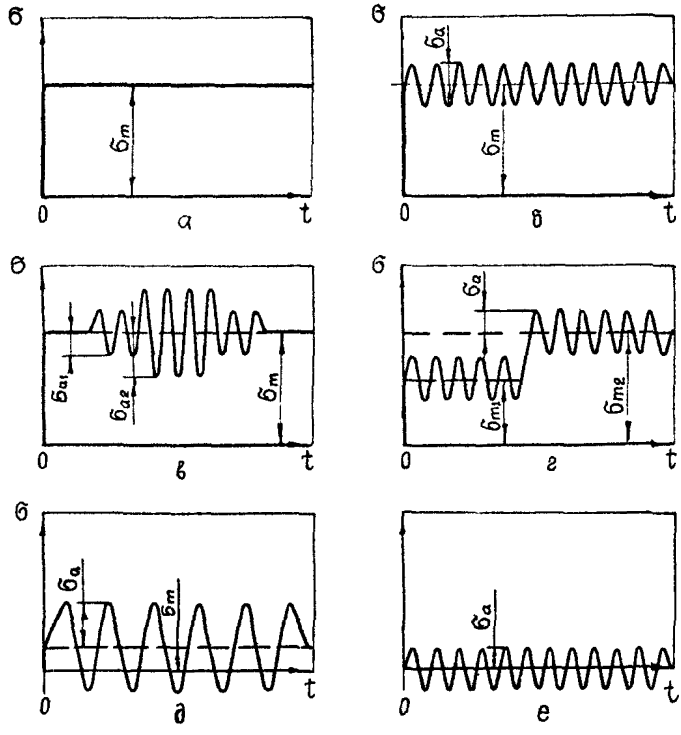


Рис. I. Схема реализации характерных режимов многоциклового нагружения:

а) $\sigma_a = 0$ и $A = 0$; б) $\sigma_m > \sigma_a$; в) $\sigma_m > \sigma_a$;

г) $\sigma_m > \sigma_a$; д) $\sigma_a > \sigma_m$ е) $\sigma_m = 0$ и $A = \infty$

2. МЕТОДИКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ДИАГРАММ ПОЛЗУЧЕСТИ

Испытания на ползучесть при одноосном нагружении растяжением-сжатием осуществляются на испытательной установке, функциональная схема которой приведена на рис. 2.

Установка включает систему нагружения, контроля и стабилизации уровня нагрузок, систему электронагрева и стабилизации теплового режима, систему автоматической записи кривых статической и циклической ползучести.

Циклические и статические нагрузки задаются на образце с помощью независимо работающих исполнительных устройств трехпозиционного типа $ИУ_д$, $ИУ_т$, сумматора нагрузок СН и контролируются по динамометру Д. В качестве исполнительного устройства циклического нагружения $ИУ_д$ используется кривошипный возбудитель перемещений с регулируемым эксцентриситетом, а в качестве исполнительного устройства статического нагружения $ИУ_т$ - червячный редуктор с приводом от реверсивного электродвигателя. Тепловой режим образца обеспечивается низковольтным нагревательным устройством НУ и стабилизируется прецизионным регулятором температуры ВТР-3. Основные метрологические характеристики установки приведены в табл. I.

Таблица I

Диаметр испытуемых образцов, мм	5 - I0
Максимальная циклическая нагрузка, кГ	± 5000
Максимальная суммарная статическая и циклическая нагрузка	5000
Частота изменения циклической нагрузки, Гц	35 - 50
Максимальное перемещение активного захвата, мм	5
Скорость перемещения активного захвата, мм/мин	0,I - 0,5
Диапазон температур испытаний, ^{o}C	20 - I200

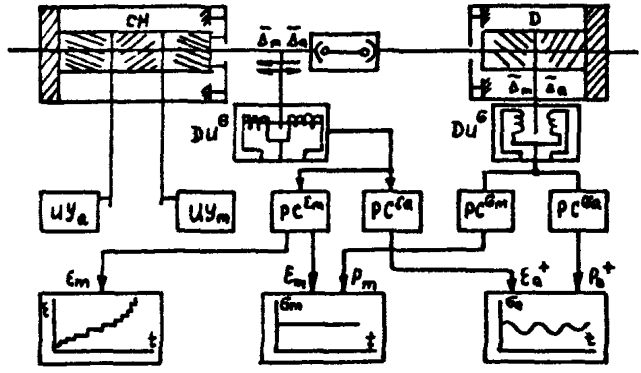


Рис.2.Функциональная схема испытательной установки

Точность приложения нагрузки, %	± I,5
Точность стабилизации температуры, %	± 0,5
Нелинейность записи деформаций ползучести на максимальном перемещении активного захвата, %	± I

Стабилизация и регистрация параметров нагружения и деформирования осуществляется с использованием двух систем индуктивных датчиков $ДИ^{\sigma}$, $ДИ^{\delta}$, разделительных $РС^{\varepsilon_m}$, $РС^{\varepsilon_a}$, $РС^{\sigma_m}$, $РС^{\sigma_a}$ и компенсационных схем. Система датчиков $ДИ^{\sigma}$ связана с элементами динамометра и работает в режиме контроля, стабилизации и регистрации нагрузок. Система датчиков $ДИ^{\varepsilon}$ связана с элементами нагружающего устройства и работает в режиме контроля и регистрации деформаций.

Регистрация деформаций статической и циклической ползучести производится по односторонне направленным перемещениям активного захвата $\bar{\Delta}$. Выделение постоянной компоненты $\bar{\Delta}_m$, пропорциональной деформации ползучести ε_p, происходит в разделительной схеме $РС^{\varepsilon_m}$ за счет взаимной компенсации положительной и отрицательной составляющих циклической компоненты $\bar{\Delta}_c$. Действительный характер процесса деформирования соответствует кривой (рис. 3а); на диаграммной ленте регистрирующего устройства записывается непрерывная ступенчатая кривая (рис. 3б), для которой циклическая компонента является параметром.

Регистрация и стабилизация режимов нагружения осуществляются по каждой из компонент напряжения цикла с помощью разделительных схем $РС^{\sigma_m}$ и $РС^{\sigma_a}$ и систем с обратной связью.

Индуктивный датчик перемещений $ДИ^{\varepsilon}$ имеет линейную характеристику (рис. 4а) во всем диапазоне рабочего хода (до I0 мм) при калибровке датчика с точностью до ± 0,0I мм. Распределение деформаций по длине рабочей части образца неравномерное (рис. 4б): большая часть накапливаемой деформации пол-

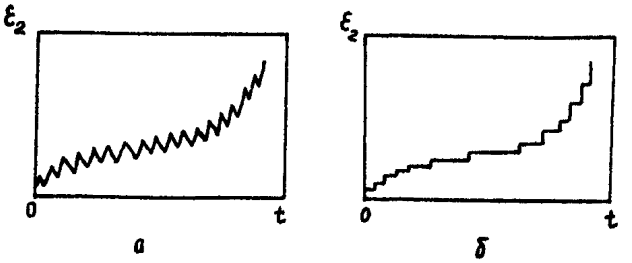


Рис. 3. Кривые деформирования.

а - действительная ;

б - пример записи на диаграммной ленте

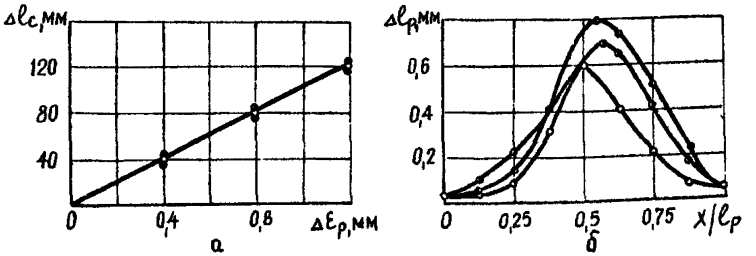


Рис. 4. Метрологические характеристики испытательной установки в форме деформационных (а) тарировок и деформации ползучести (б) по длине рабочей части образца:

○- растяжение; ●- сжатие; ●- разгрузка

зучести сосредоточена на центральном участке длиной 0,75 l_p (l_p - длина рабочей части), и система регистрирует деформацию рабочей части образца с погрешностью $\pm$ 0,I%. Для регистрации параметров нагружения и деформирования используются электронные самопишущие потенциометры типа КСП-4.

3. ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

Цель испытаний.....

Материал:

Наименование и марка.....

Способ получения заготовки.....

Вид и режим термообработки.....

Условия испытаний:

Вид нагружения.....

Частота нагружения, Гц.....

Температура испытаний, ^{o}C.....

Время нагрева, ч.....

Напряжение цикла, кГ/мм^2:

среднее.....,амплитудное.....,максимальное..

Испытательная машина: тип.....,№.....

Тип образцов.....

диаметр рабочей части,мм.....,длина рабочей части,мм

состояние поверхности.....

Результаты испытаний:

Время (число циклов) до разрушения,ч.....

Удлинение при нагреве,%.....

Удлинение при нагружении,%.....

Удлинение остаточное,%.....

Продолжительность испытаний,ч.....

Скорость установившейся ползучести, %/ч.....

Дата испытаний....., температура помещения, °С..

Шифр образца	Поперечные размеры	Напряжение цикла, кГ/мм²			Время, ч число циклов	Удлинение раб. части, мм	Примечание
		Среднее	Амплитудное	Максимальное			
I	2	3	4	5	6	7	8

4.ТИПОВЫЕ ДИАГРАММЫ ПОЛЗУЧЕСТИ ПРИ МНОГОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Определяющими факторами для развития процесса ползучести при многоцикловом нагружении являются уровень температуры T и величина коэффициента амплитуд A. Наиболее характерные типы диаграмм ползучести при варьировании этих параметров показаны на рис. 5. При температурах ниже 0,5 $T_{пл.}$ ползучесть практически не развивается (рис. 5.а) и диаграмма состоит из участка, параллельного оси времени, переходящего практически в вертикальный в момент разрушения. Накопление во времени макропластических деформаций ползучести происходит при температурах выше 0,5 $T_{пл.}$ (рис. 5 б). При этом независимо от времени до разрушения (рис. 5 в,г) существуют две области с принципиально различным характером развития процесса ползучести: область интенсивной ползучести при $\frac{\sigma_a}{\sigma_m} <$ Акр и область ограниченной ползучести при $\frac{\sigma_a}{\sigma_m} >$ Акр. Под Акр здесь понимается практическое значение коэффициента амплитуд, методика определения которого изложена в Приложении 5.

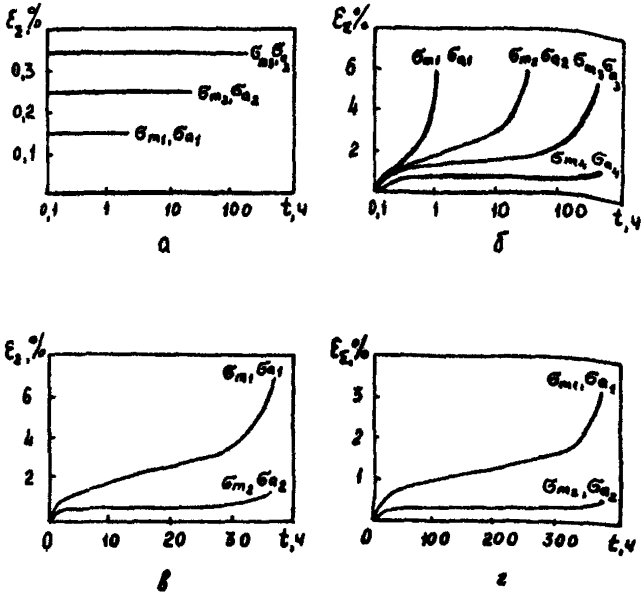


Рис.5. Характерные типы диаграмм ползучести при различных режимах силового и температурного воздействия:

а) усталость (ползучесть практически не развивается) ($T<0,5T$);

б) накопление во времени макропластических деформаций ползучести ($T>0,5T$),

в) область интенсивного развития ползучести ($б_{m_1}, б_{a_1}$);

г) область ограниченной ползучести ($б_{m_2}, б_{a_2}$)

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРА $A_{кр}$

В условиях одноосного многоциклового нагружения определяющим для развития ползучести при фиксированной температуре является критическое значение коэффициента амплитуд $A_{кр}$. Область интенсивного развития ползучести задается условием

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_m} < A_{кр}(T), \qquad (2)$$

где $A_{кр}(T)$ - температурно-зависимая константа материала.

Величина $A_{кр}$ определяется по результатам обработки экспериментальных данных по ползучести до разрушения, представляемых в обобщенной системе координат $\frac{\varepsilon_{zR}}{\varepsilon_{mR}} - \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$ (рис. 6). Здесь ε_{zR} - деформация ползучести, накапливаемая к моменту разрушения в условиях совместного воздействия среднего напряжения σ_m и амплитуды σ_a . ε_{mR} - деформация ползучести, накапливаемая к моменту разрушения только при воздействии среднего напряжения σ_m ($\sigma_a = 0$).

Исходные экспериментальные данные (рис. 6) аппроксимируются кривой, состоящей из двух участков с выраженной точкой перелома. Величина $A_{кр}$ определяется как ордината точки перелома. С повышением температуры значения $A_{кр}$ возрастают.

Для построения обобщенной кривой испытывают серию образцов до разрушения при фиксированной температуре и шести-семи уровнях коэффициента амплитуд A. Одно испытание проводят на статическую ползучесть ($\sigma_a = 0$ и $A = 0$) и пять-шесть испытаний при различной асимметрии цикла ($0 < A \leq \infty$). Коэффициент амплитуд варьируется за счет изменения амплитуды σ_a циклической компоненты при фиксированном значении среднего напряжения σ_m . Величины деформаций ε_{zR} и ε_{mR} определяются по соответствующей кривой ползучести в точке, соответствующей моменту разрушения.

Рекомендуемые значения коэффициентов амплитуд 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 10; ∞ . Рекомендуемые базы

испытаний 100÷ 1000 часов.

После того, как параметр $A_{кр}$ будет найден не менее, чем для трех уровней температур, строится зависимость $A_{кр}$ от температуры. Рекомендуемые значения температур $0,5T_{пл}$; $0,6\ T_{пл}$; $0,7\ T_{пл}$; $0,8\ T_{пл}$.

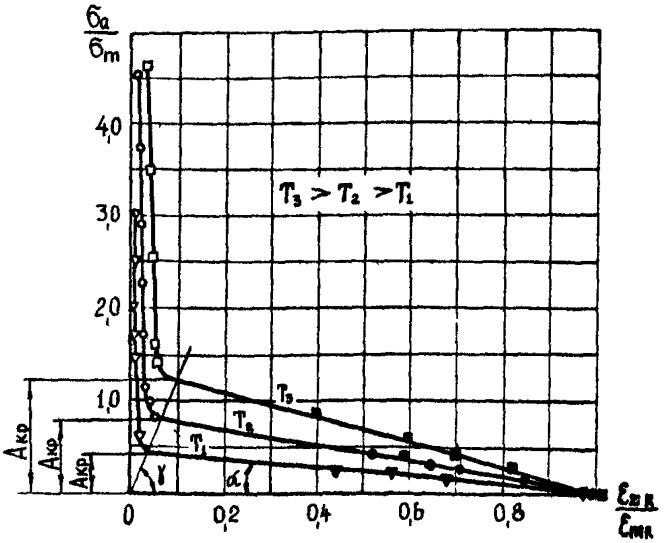


Рис.6.Обобщенные кривые зависимости предельных деформаций от коэффициента амплитуд

Л И Т Е Р А Т У Р А

I. Видаль Дж. О циклической ползучести жаропрочных сплавов.- В кн.:Жаропрочные сплавы при изменяющихся температурах и напряжениях.-М.,Л.: Госэнергоиздат, I960,-С. I56-I75.

2. Голуб В.П. Циклическая ползучесть жаропрочных никелевых сплавов.- Киев; Наукова думка, I983г.- 224с.

3. ГОСТ 3248-8I. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на ползучесть.

4. ГОСТ 25.502-79. Методы механических испытаний металлов.Методы испытаний на усталость.

5. ГОСТ 23207-78.Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения.

6. Закономерности ползучести и длительной прочности: Справочник/Под общ. ред. С.А.Шестерикова. - М.:Машиностроение, I983г.- I0Ic.

7. Закс Л. Статистическое оценивание. -М.:Статистика, I976.- 598с.

8. Мельников Г.П. Долговечность элементов конструкций в условиях высоких температур при стендовых испытаниях.-М.:Атомиздат, I979. - 80с.

9. **РД 50-338-82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Порядок разработки межотраслевых методических указаний на методы расчета и испытаний.- М.:Изд-во** стандартов, I982.- 37с.

I0. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций.-М.:Наука, I966.- 752с.

II. Шестериков С.А. Одноосная ползучесть при переменных нагружениях.- Изв. АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение, I96I, № 2,-С. I48-I49.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

I. Разработаны Всесоюзным научно-исследовательским институтом по нормализации в машиностроении, Институтом механики АН УССР, Московским авиационным институтом.

Исполнители: д.т.н.Голуб В.П., Гуреева М.А., к.т.н.Гирин А.М., к.т.н. Ищенко И.И., к.т.н. Комков В.А., Романов А.В.,к.т.н. Токарев В.Л.

2. Одобрены научно-методической комиссией по стандартизации в области высокотемпературных испытаний секции "Расчеты и испытания на прочность" НТС Госстандарта СССР.

3. Утверждены Приказом ВНИИНМАШ Госстандарта СССР № 412 от 21.12.87.

4. Введены впервые.

Содержание

Стр.

I. Общие положения 4

2. Требования к проведению испытаний 5

3. Образцы 6

4. Оборудование 6

5. Проведение испытаний 7

6. Обработка результатов испытаний 8

Приложения

I. Параметры нагружения 9

2. Методика автоматической записи диаграмм ползучести 9

3. Протокол испытаний I5

4. Типовые диаграммы ползучести при многоцикловом нагружении I7

5. Определение параметра $A_{кр}$ I9

Литература 2I

Информационные данные 22

Расчеты и испытания на прочность. Метод испытаний на ползучесть при регулярном многоцикловом нагружении

Рекомендации Р-50-54-35-88

Редактор Волкова А.И.

Мл. редактор Еремеева Т.В.

ВНИИНМАШ Госстандарта СССР

Ротапринт ВНИИНМАШ I23007 Москва, ул.Шеногина, дом 4
Тираж 300 экз. Объем 0,95 уч.-изд.л. Заказ № 447-88-I Цена 30 к.

gost.e-ecolog.ru