

к 43

МПС—СССР

**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

КИРЕЕВ А. А.

**ПОЛЗУЧЕСТЬ
НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**ДНЕПРОПЕТРОВСК
1965 год**

60/0817

НТБ
ДНУЖТ

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого совета или прислать свои отзывы о работе по адресу:

Днепропетровск, Севастопольская ул., 15.

Институт инженеров железнодорожного транспорта

Публичная защита диссертации состоится на заседании Ученого совета „11 мая“ 1965 года.

Дата отправки автореферата

_____ 1965 года.

НТБ
ДНУЖТ

КИРЕЕВ А. А.

ПОЛЗУЧЕСТЬ НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель, — доктор
технических наук, профессор
В. В. Абрамов

ДНЕПРОПЕТРОВСК
1965 год

Работа выполнена в Запорожском машиностроительном институте им. В. Я. Чубаря. Экспериментальная часть работы проведена в Горьковском политехническом институте им. А. А. Жданова и в Запорожском машиностроительном институте.

НТБ
ДНУЖТ

Реферируемая работа посвящена исследованию ползучести неоднородных (однородных) материалов. Неоднородными в диссертации названы комбинированные материалы, составленные из нескольких слоев различных материалов. В пределах каждого из составляющих слоев материал однородный.

Известно, что механические свойства неоднородных материалов в значительной степени зависят от свойств составляющих слоев, их взаимного расположения и соотношения между размерами. Поэтому экспериментальное исследование ползучести таких материалов отличается значительно большей трудоемкостью по сравнению с однородными материалами. Теоретическое исследование ползучести неоднородных материалов облегчает решение этой задачи.

Многослойные материалы, как правило, изготавливаются из компонентов с различными коэффициентами линейного расширения. Следовательно, даже равномерный нагрев их вызывает температурные напряжения. Технология изготовления неоднородных материалов обычно связана с появлением остаточных напряжений. Температурные и остаточные напряжения нередко достигают значительной величины и существенно влияют на ползучесть материала. Таким образом, ползучесть неоднородных материалов должна исследоваться учетом температурных и остаточных напряжений.

Ползучесть при изгибе однородных стержней несимметричного сечения сопровождается изменением положения нейтральной оси во времени, что осложняет расчет.

Исследование ползучести неоднородных (однородных) стержней асимметричного сечения, подвергасмых изгибу при наличии температурных и остаточных напряжений, немыслимо без учета смещения нейтральной оси, так как оно может быть значительным.

Диссертация состоит из четырех глав, выводов и приложений.

В первой главе дан обзор литературы по исследуемому вопросу. Здесь проведен краткий анализ технических теорий ползучести, который выполнен с целью выяснения применимости их к решению поставленной задачи. Технические теории основаны на экспериментальном исследовании ползучести материала при растяжении. Математические формулировки их содержат значительное число постоянных, определение

которых связано с выполнением большой экспериментальной работы и громоздких вычислений. Как отмечает Л. М. Качанов, ползучести свойственен значительный разброс экспериментальных данных. Следовательно, используемые в настоящее время математические формулировки лишь приближенно отражают явление ползучести, а поэтому даже самые точные решения по ним являются приближенными. Технология производства и обработка материалов настолько сильно влияют на ползучесть, что даже для одной и той же марки она изменяется в широких пределах. Из этого заключаем, что параметры аналитических зависимостей справедливы только для материала, по экспериментальным данным для которого они определены.

Все отмеченное приводит к выводу, что при статическом нагружении неоднородных стержней расчет на ползучесть проще проводить по кривым ползучести полученным непосредственно из эксперимента, т. е. по теории старения в формулировке Ю. Н. Работнова.

К содержанию первой главы относится также обзор работ по исследованию установившейся и неуставившейся ползучести статически неопределимых стержневых систем и стержней как симметричной, так и произвольной форм сечений при растяжении (сжатии) и изгибе. Из литературного обзора устанавливаем, что наиболее близки к поставленной в диссертации задаче работы Н. Н. Малинина, Л. М. Качанова и Б. Ф. Шорра.

В работах Б. Ф. Шорра исследуется установившаяся и неуставившаяся ползучесть неравномерно нагретых стержней произвольной формы сечения. Задачи установившейся ползучести решаются без учета деформаций неуставившейся стадии. Расчет на неуставившуюся ползучесть проводится относительно приведенного центра тяжести сечения, который изменяет свое положение во времени. В цитируемых работах по неуставившейся ползучести делалась попытка учесть смещение нейтральной оси во времени.

Из литературного обзора следует, что ползучесть неоднородных материалов недостаточно изучена.

Во второй главе диссертации ползучесть исследуется по теории старения в формулировке Ю. Н. Работнова. Кривые ползучести в координатах напряжения — деформация для фиксированного времени схематизируются ломаными линиями, состоящими из нескольких прямолинейных участков. При такой схематизации кривой ползучести зависимость между напряжением и деформацией для любого участка представляется в следующем виде:

$$\sigma = \epsilon D^K + C^K \quad (1)$$

Здесь σ — напряжение;

ϵ — относительная деформация;

K — индекс, номер участка кривой ползучести, для которого определяют напряжения;

D^K — модуль ползучести участка K ;

C^k — постоянная для участка K ;
Постоянная C для участка K определяется по формуле:

$$C^k = \frac{\sum_{m=0}^k [\sigma_n^{(m-1)} - \sigma_n^{(m-2)}] [D^{(m-1)} - D^k]}{D^{(m-1)}}$$

где σ_n^m — предел ползучести текущего участка m схематизированной кривой ползучести — кг/см²;

D^m — модуль ползучести участка m — кг/см²;

D^k — модуль ползучести участка k — кг/см².

В работе исследуется ползучесть неоднородных статически неопределимых стержневых систем с параллельными связями от механической, температурной нагрузок и неточности в изготовлении стержней. Стержни рассматриваемых систем имеют переменную жесткость по своей длине.

Путем совместного решения уравнений равновесия и неразрывности деформаций установлены следующие соотношения для определения усилий в стержнях и перемещений системы:

$$N_i = [-(\Delta l_i - f_i - a_i \operatorname{tg} \theta) + \Delta A] \psi_i. \quad (3)$$

$$\Delta A = \frac{-\sum_{m=1}^i P_m + R\delta - R_c - \operatorname{tg} \theta R_1}{R_0}, \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{M_0 - \sum_{i=1}^n P_m \left(\frac{R_i}{R_0} - d_m \right) - R\delta_1 + R_c + (R\delta - R_c) \frac{R_1}{R_0}}{\frac{R_1}{R_0} R_1 - R_2} \quad (5)$$

Здесь N_i — усилие в стержне;

ΔA — перемещение абсолютного жесткого бруса параллельно самому себе;

θ — угол поворота бруса;

ψ_i — жесткость i -го стержня;

a_i — расстояние от узловой точки i -го стержня до осевой линии первого стержня;

d_m — расстояние от точки приложения сосредоточенной силы до узла первого стержня;

P_m — нагрузка;

M_0 — сосредоточенный момент;

Δl_i^δ — абсолютное температурное удлинение стержня;

$$\left. \begin{aligned}
 f_i &= \frac{c_i^* \ell_i}{D_i^*} \\
 R_0 &= \sum_{i=1}^n \psi_i \\
 R_1 &= \sum_{i=1}^n a_i \psi_i, \\
 R_2 &= \sum_{i=1}^n a_i^2 \psi_i, \\
 R_\delta &= \sum_{i=1}^n \Delta \ell_i^\delta \psi_i, \\
 R_{\delta_i} &= \sum_{i=1}^n a_i \Delta \ell_i^\delta \psi_i, \\
 R_c &= \sum_{i=1}^n f_i \psi_i, \\
 R_{c_i} &= \sum_{i=1}^n a_i f_i \psi_i
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Во второй главе рассмотрена также ползучесть неоднородных (однородных) прямых стержней асимметричного (симметричного) сечений, возникающая от механической, температурной нагрузок и остаточных напряжений. Задача по определению напряжений и деформаций в неоднородных (однородных) стержнях сведена к исследованию статически неопределимой стержневой системы с параллельными связями, путем расчленения стержня на полосы равной толщины. Решение получено как в разностной, так и в интегральной формах. Напряжения и деформации определяются из:

а) при решении задач в разностной форме:

$$G_i = \left[-\delta_i + e + \left(i - \frac{S_i}{S_0} \right) \alpha \right] D_i^* + C_i^*, \quad (7)$$

$$e = \frac{\frac{n}{a}}{S_0} \frac{P + S_\delta - S_c}{S_0} \quad (8)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M - S\delta_i + S_{c_i} + (S_\delta - S_c) \frac{S_i}{S_0}}{\frac{S_i}{S_0} S_i - S_0}, \quad (9)$$

$$M = -M_0 + \frac{a}{n} p \left[\frac{s_i}{s_0} - \frac{s_i^y}{s_0^y} \right] \quad (10)$$

б) при решении задач в интегральной форме:

$$b = \left[-\delta + e + \left(y - \frac{s_i}{s_0} \right) \frac{1}{p} \right] D^k + C^k, \quad (11)$$

$$e = \frac{p + s'_\delta - s'_c}{s'_0}, \quad (12)$$

$$\frac{1}{p} = \frac{M - s'_\delta + s'_c + (s'_\delta - s'_c) \frac{s'_i}{s'_0}}{\frac{s'_i}{s'_0} s'_1 - s'_2}, \quad (13)$$

$$M = -M_0 + p \left[\frac{s'_i}{s'_0} - \frac{(s'_i)^y}{(s'_0)^y} \right] \quad (14)$$

Коэффициенты, входящие в уравнения (1) — (14), определяются из:
Разностная форма Интегральная форма

$$s_0 = \sum_{i=1}^n D_i^k b_i,$$

$$s_1 = \sum_{i=1}^n i D_i^k b_i,$$

$$s_2 = \sum_{i=1}^n i^2 D_i^k b_i,$$

$$s_\delta = \sum_{i=1}^n \delta_i D_i^k b_i,$$

$$s_{\delta_1} = \sum_{i=1}^n i \delta_i D_i^k b_i,$$

$$s_c = \sum_{i=1}^n c_i^k b_i,$$

$$s_{c_1} = \sum_{i=1}^n i c_i^k b_i,$$

$$s'_0 = \int_0^a D b dy,$$

$$s'_1 = \int_0^a D b y dy,$$

$$s'_2 = \int_0^a D b y^2 dy,$$

$$s'_\delta = \int_0^a \delta D b dy,$$

$$s'_{\delta_1} = \int_0^a \delta D b y dy,$$

$$s'_c = \int_0^a c^k b dy,$$

$$s'_{c_1} = \int_0^a c^k b y dy$$

Таким образом, расчет в диссертации проводится относительно точки, выбранной на контуре поперечного сечения стержня. Эта точка по

отношению к сечению не изменяет своего положения в процессе ползучести. Последнее освобождает от целого ряда дополнительных расчетов и позволяет исследовать ползучесть неоднородных (однородных) стержней асимметричного сечения.

При изучении ползучести в интегральной форме по любому методу используют аналитические выражения изменений температуры, модуля упругости, коэффициента линейного расширения и остаточных напряжений по сечению стержня. Установление аналитических зависимостей изменений перечисленных факторов, и особенно остаточных напряжений, часто затруднительно. Большей частью эти задачи решаются экспериментально-теоретически. В этом случае расчет на ползучесть может быть выполнен только разностным методом.

Ползучесть стержней и стержневых систем исследуется в работе и учетом подобия кривых ползучести, что позволяет определять напряжения и деформации для любого расчетного времени.

Графо-аналитическим методом проводится расчет на ползучесть по действительным кривым ползучести без схематизации их.

В работе исследовано влияние соотношений между размерами составляющих слоев на ползучесть неоднородного материала, основной слой которого ст. 20, а плакирующие — хромистая сталь; при заданном режиме работы.

Во второй главе изучена точность используемого метода в разностной форме и представлены графики ошибок.

Третья глава диссертации посвящена экспериментальному исследованию ползучести органического стекла при растяжении и изгибе. Изучены деформации ползучести, возникающие в органическом стекле в течение 72 часов. Построены кривые ползучести в координатных осях напряжение-деформация для фиксированного времени. Установлено подобие кривых ползучести и определены параметры ползучести. Отдельным параграфом этой главы рассмотрено сравнение теоретических и экспериментальных исследований проведенных автором. Экспериментально исследовалась ползучесть балок прямоугольного и таврового сечений, изготовленных из органического стекла. Результаты расчета тех же балок достаточно хорошо совпадают с экспериментальными данными.

Предметом изучения четвертой главы явились упруго-пластические деформации. Формулы и методика расчета, предложенные во второй главе, остаются справедливыми и при расчетах за пределами упругости. По этой причине в этой главе дана только иллюстрация приложения используемого метода к исследованию упругопластических деформаций. Здесь исследованы напряжения и деформации как в момент нагружения, так и разгрузки (остаточные напряжения и деформации). Для сравнительной оценки приведены результаты решений, выполненных другими авторами.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложен инженерный метод расчета на ползучесть стержней из неоднородных материалов при растяжении-сжатии и изгибе от совместного действия механических и температурных нагрузок, с использованием схематизированных и действительных кривых ползучести. Определение напряжений и перемещений по действительным кривым ползучести составляющих материалов выполняется графоаналитическим способом.

2. Метод позволяет расчетным путем выбрать составляющие материалы, их взаимное расположение и соотношение между размерами слоев, характер и величину технологических (остаточных) напряжений, при которых неоднородный материал наилучшим образом отвечает поставленным техническим условиям по ползучести. Метод применим для исследования ползучести стержней с произвольной формой поперечного сечения.

3. Исследована ползучесть статически неопределимых стержневых систем от механической, температурной нагрузок и технологических (остаточных) напряжений.

4. Предложенный в работе метод расчета на ползучесть, применим к решению упруго-пластических задач по определению напряжений и деформаций как в момент нагружения, так и после разгрузки (остаточные напряжения и деформации).

5. Исследована ползучесть при растяжении неоднородного материала составленного из хромистой стали и ст. 20 при различных соотношениях между размерами составляющих слоев, при заданном режиме работы. Построенные графики позволяют выбрать наиболее рациональные соотношения между размерами составляющих слоев без расчета.

6. Экспериментально исследована ползучесть органического стекла при растяжении от напряжений 100 кг/см^2 до 250 кг/см^2 с интервалом в 25 кг/см^2 в течение 72 часов. Построены кривые ползучести органического стекла в координатных осях напряжение-деформация, установлено их подобие.

7. Экспериментально и теоретически исследована ползучесть органического стекла при чистом изгибе балок прямоугольного и таврового сечений. Результаты теоретического исследования достаточно хорошо совпадают с экспериментальными данными.

Содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Абрамов В. В., Киреев А. А., Исследование напряжений и деформаций в однородных и неоднородных брусках при упруго-пластических деформациях с учетом упрочения материала, Труды ГПИ, том XVII, вып. 3, Горький, 1961.
 2. Абрамов В. В., Киреев А. А. и др. Изгиб однородных и неоднородных брусков, Учебное пособие, ГПИ, Горький, 1961.
 3. Киреев А. А., Расчет на ползучесть по методу расчленения тела, Труды ГПИ, том XVII, вып. 3, Горький, 1961.
 4. Киреев А. А. К расчету на ползучесть при изгибе и растяжении (сжатии), Труды ГПИ, том XVIII, вып. 4, Горький, 1963.
-

Материалы диссертации были доложены на:

1. Расширенном заседании Ученого совета машиностроительного факультета Горьковского политехнического института им. А. А. Жданова, Горький, 1961.
2. Семинаре прочности при Доме ученых и Центрального бюро технической информации Горьковского СНХ, Горький, 1961.
3. Научно-технической конференции Запорожского машиностроительного института им. В. Я. Чубаря, Запорожье, 1964.
4. У Всесоюзном Научном Совещании по тепловым напряжениям в элементах конструкций, Киев, 1964.

БЕ 011С0 Подп. к печати 17-III-1965 года Формат 60х84. Объем 0,75 п.л. (усл. 1 печ. лист)
Заказ 1419. Тираж 200 экз. бесплатно

г. Запорожье, типография „Днепровский металлург“ управления по печати.

НТБ
ДНУЖТ

Сканировала Щетинина Т.В.