

М.Л. РЯБЧИКОВ, С.В. ЧЕЛИШЕВА, С.М.ВІЛКОВ

**МЕТОДИ АПРОКСИМАЦІЇ
ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**НОВОЕ СЛОВО
ХАРКІВ
2011**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧЕСКАЯ АКАДЕМІЯ**

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

М.Л. Рябчиков, С.В. Челишева, С.М.Вілков

**МЕТОДИ АПРОКСИМАЦІЇ
ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**ХАРКІВ
Видавництво «Новое слово»
2011**

УДК 677.017.4

ББК 37.23-3

Р 98

Рецензенти:

Н.П. Супрун, доктор технічних наук, професор Київського
національного університету технологій та дизайну

А.А. Мичко, доктор технічних наук, професор Східноукраїнського
національного університету імені Володимира Даля

*Рекомендовано до видання рішенням Науково-технічної ради
Української інженерно-педагогічної академії
Протокол № 8 від 05.04.2011р.*

Р 98 **Рябчиков М.Л., Челишева С.В., Вілков С.М.**

**Методи апроксимації термомеханічних характеристик текстильних
матеріалів:** монографія. – Х.: Новое слово, 2011. – 72 с.

ISBN 978-617-568

У монографії розв'язана актуальна задача - на основі теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичних методів обробки емпіричних даних визначені найбільш доцільні методи апроксимації термомеханічних кривих для їх використання при визначенні раціональних режимів волого теплової обробки. Досліджені методи і прилади оцінки одноциклових характеристик при розтягуванні (компонентів деформації при розтягуванні) – релаксації. Розроблено методику визначення термомеханічних залежностей. Одержані термомеханічні криві текстильних матеріалів. Визначені рівняння регресії для реальних термомеханічних залежностей. Проведений аналіз експериментальних залежностей. Проведено апроксимацію термомеханічних залежностей лінійними ділянками і ступеневими залежностями. Визначено раціональність використання різних форм апроксимацій. Для наукових і інженерно-технічних співробітників і студентів легкої промисловості.

УДК 677.017.4

ББК 37.23-3

ISBN 978-617-568

© М.Л. Рябчиков, С.В. Челишева, С.М. Вілков, 2011

ВСТУП

Підвищення рівня конкуренції в швейній промисловості веде до необхідності впровадження нових технологічних процесів і удосконалення існуючих. Це удосконалення повинне призвести насамперед до підвищення якості виробу і підвищення продуктивності праці. Якість швейного виробу в багатьох випадках залежить від кінцевої обробки, яку часто пов'язують з волого – тепловою обробкою. Використання волого – теплової обробки крім того може у значній мірі підвищити продуктивність. Це можливо у випадках, коли правильно підібрані режими волого – теплової обробки, які у більшості випадків поки що визначаються інтуїтивно. Відомо, що процеси волого – теплової обробки пов'язані насамперед з деформаційними властивостями текстильних матеріалів при їх нагріванні, але зв'язок з реальними процесами ці дослідження не одержали.

Мета даної роботи – на основі теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичних методів обробки емпіричних даних визначити найбільш доцільні методи апроксимації термомеханічних кривих для їх використання при визначенні раціональних режимів волого теплової обробки.

В роботі розв'язаний ряд задач, зокрема розглянуті теоретичні основи волого теплової обробки, досліджені засоби забезпечення форми методами вирізання матеріалу, досліджені методи формування деталей одягу в процесі безниткового з'єднання, розглянута теорія деформації текстильного матеріалу, досліджені методи і прилади оцінки характеристик при розтягуванні (компонентів деформації при розтягуванні) – релаксації, розглянутий вплив різних чинників на прояв деформаційних характеристик, одержані термомеханічні криві текстильних матеріалів, розглянуті методи апроксимації експериментальних даних, розроблена методика визначення термомеханічних залежностей, визначені рівняння регресії для реальних термомеханічних залежностей, проведена апроксимація термомеханічних залежностей лінійними ділянками і ступеневими залежностями.

Практичне значення роботи складається з можливості визначення реальної функції деформування матеріалу, що дозволить визначати реальні параметри волого-теплової обробки.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВОЛОГО-ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ

1.1. Забезпечення форми методами вирізання матеріалу

Формування деталей одягу - примусове надання об'ємної форми деталям з плоского текстильного полотна і закріплення цієї форми в процесі швейного виробництва. Отримувана об'ємна форма деталей при цьому повинна відповідати силуетній формі одягу і формі тіла людини. Формування деталей досягається трьома способами: конструктивним способом - при розробці конструкції виробу з максимальним розчленовуванням його на частини і з використанням виточок, рельєфів, складок і т. д.; волого-тепловою обробкою - шляхом зміни геометричних розмірів полотен на окремих ділянках деталей, з урахуванням деформаційних властивостей матеріалу, що можливо тільки для чистошерстяних тканин; комбінованим способом, що поєднує в собі елементи двох названих способів. Застосування того або іншого способу формування деталей одягу визначається фасоном виробу, видом текстильного полотна, його формувальними властивостями, конструкцією виробу.

Основним конструктивним елементом, що забезпечує форму одягу є виточка - конструктивний елемент у вигляді зшитой нанівець складки трикутної або ромбоподібної форми. Служить для надання об'ємної форми деталям одягу з плоского матеріалу. Наприклад, наявність на пілочках виточок є основною конструктивною особливістю жіночого і дитячого (для дівчаток) одягу: верхня виточка надає пілочці об'ємну форму в області грудей. Для виявлення лінії талії в прилеглих і напівприлеглих виробх на пілочках, а часто і на спинці, проектується виточка від лінії талії.

Виточки на лінії талії дозволяють забезпечити рівномірне або визначуване проектною формою прилягання виробу. Рівень приталювання (тобто максимальних розчинів виточок) може бути різним. Кількість виточок залежить від моделі.

Якщо на пілочці розташовуються дві виточки, то виточка, розташована поблизу вертикалі, що проходить через центр розчину верхньої виточки, називається передньою, а виточка поблизу вертикалі, що визначає ширину пілочки, - бічною. Наявність двох виточок на пілочці доцільно при значному виступі по грудям щодо лінії талії на фігурі. Вони використовуються також в багатьох класичних конструктивних вирішеннях жіночих пальт, жакетів. Зміщення бічної виточки до передньої дозволяє залежно від розчину і конфігурації сторін підкреслити або, навпаки, пом'якшити вигини форми. Зсув бічної виточки у бік бічного шва забезпечує більш рівномірне прилягання виробу в цій області. Вве-

дення бічної виточки в прямий силует дозволяє зменшити об'єм і додати витонченість формі.

При проектуванні виточок слід враховувати властивості матеріалу. Чим гірше формувальна здатність матеріалу, коротше виточка і більше її розчин, тим важче отримати гладку об'ємну форму. В кінці зшитої виточки може утворитися слабе місце, непіддатливе заправовуванню. Іноді цього можна уникнути, оформивши сторони виточки плавними кривими, зводячи кут між ними в кінці виточки до нуля. При обробці виточок з двома кінцями, в яких різниця довжини лінії зшивання і лінії згину більше деякої граничної величини, неможливо заправовувати або розправовувати виточку. Гранична величина залежить від властивостей матеріалу, напряму і конфігурації сторін виточки. У цих випадках слід продумати над іншими варіантами забезпечення проекрованої форми. Наприклад, передбачити дві або декілька виточок з тим же сумарним розчином або частину розчину перевести в посадку, або ввести замість виточок шви (тобто додаткове розчленовування деталі). Несиметричні виточки з одним кінцем проектується розрізними.

1.2. Формування деталей одягу в процесі безниткового з'єднання

Додання деталям одягу просторової форми досягається, окрім розкрою тканини, також використанням її пластичних і інших властивостей, застосуванням різного роду прокладок, тасьми, кромки, що оберігає тканину від розтягування і ін. При виготовленні одягу для отримання необхідної форми використовується також усадка, унаслідок якої окремі розміри частин одягу зменшуються до 10-15%. Значне збільшення окремих розмірів частин одягу досягається відтяжкою, – в середньому до 15%.

В даний час понад 90 % з'єднань деталей доводиться на ниткові з'єднання. Тим часом їм властиві деякі недоліки, що істотно утрудняють ефективну роботизацію складальних процесів. Основні з них наступні:

1. Низька надійність із-за можливості обриву, пропуску і недостатнього затягування стібків. При роботі на швейній машині човникового стібка один обрив доводиться на 40-50 м строчки. Якщо в зміну устаткування проводить 2000 збірних одиниць, то при середній довжині строчки на складальну одиницю - 0,5 м, устаткування 20 разів в зміну буде зупинено із-за обривності ниток.

2. Необхідність заміни шпулі при виконанні строчки човникового переплетення. Ємкість шпуль коливається в залежності від лінійної щільності ниток і конструкції човника від 40 до 180 м. За тих же умов, що і в попередньому прикладі, устаткування буде зупинено для заміни шпулі 5-21 раз в зміну.

3. Необхідність зміни кольору ниток при виготовленні різноколірних ви-

робів. На окремих видах асортименту число заміни ниток може досягти 10-12 разів в зміну.

4. Необхідність обрізання ниток між деталями або при закінченні строчок. Правда, останнім часом застосовуються надійні і відпрацьовані пристрої для обрізання ниток, але їх наявність веде до ускладнення устаткування і до зниження його надійності, оскільки на 100 циклів обрізання можливий один збій. Це приведе ще до 20 зупинок устаткування в зміну.

5. Необхідність обхвату деталей, що з'єднуються, з двох сторін. Робочі органи швейних машин розташовуються по різні сторони матеріалу: з одного боку голка, з іншого - човник або ланцюг. Це у ряді випадків істотно утрудняє автоматизацію процесу збірки.

6. Послідовний спосіб прокладення строчок. Строчка є сукупністю стібків, що виконуються послідовно. Це дозволяє легко змінити контур строчки, але знижує продуктивність ниткового з'єднання.

Перераховані недоліки ниткових з'єднань приводять до того, що устаткування може бути зупинене до 70 разів в зміну і його роботизація в таких умовах буде неефективною.

З метою якісного і енергоресурсозберігаючого проведення технологічної операції формоутворення матеріали легкої промисловості (тканини, шкіра, фетр), а також вироби з них (одяг, взуття, шкірогалантерейні і фетрові вироби), при їх виготовленні, піддаються комплексу дій, які включають пластифікацію, деформацію (на манекені, колодці або пуансоні) і фіксацію форми.

Експериментально доведено, що для ефективної пластифікації необхідно вводити в матеріал вологу новим високо інтенсивним пінним методом в кількості, рівній кількості вологи гігроскопічного стану. Проведені порівняльні експериментальні дослідження релаксації напруги і деформацій при тепломасообміні з навколишнім середовищем, а також зняті термограми і енергограми сушки напівшерстяних тканин і натуральної шкіри хромового дублення при їх пластифікації водою і у вигляді піни. Результати досліджень показали, що в напівшерстяних тканинах при постійній деформації на всьому протязі сушки відбувається натягнення (вироблення) згинів ниток. Напруга під дією температури і пластифікатора інтенсивно падає по експоненціальній залежності від часу. Кінцева напруга в таких тканинах при зволоженні піною приблизно в 1,5 разу нижче, ніж при зволоженні водою. Це спостерігається і на кривих релаксації деформації.

Окрім цього, криві релаксації деформації тканини і шкіри свідчать про те, що при зволоженні піною в'язкопластична складова загальної пластичної деформації більша, ніж при пластифікації водою. Для тканин характерний також і те, що миттєво-пластична складова менша, ніж при пластифікації водою.

Завершальний етап - фіксацію форми виробів легкої промисловості з ура-

хуванням їх поверхневої структури - доцільно проводити, використовуючи найбільш ефективний молекулярний механізм усунення вологи.

При пластифікації піною матеріалів легкої промисловості вдається заощадити до 20% тепла на видалення вологи за рахунок зменшення питомої теплоти паротворення пінного пластифікатора в порівнянні з чистою водою, поліпшити якість виробів.

1.3. Теорія деформації текстильного матеріалу

1.3.1. Твердий (склоподібний) стан полімерів.

Деформаційна здатність полімерних матеріалів, обумовлена повністю оборотною зміною валентних кутів і міжатомних відстаней в полімерному субстраті під дією зовнішніх сил, характерна для прояву пружних властивостей. Температура, нижче за яку полімерне тіло може деформуватися під дією зовнішніх сил як пружне, називається температурою крихкості $T_{кр}$. Дія зовнішніх силових полів може бути представлене як всебічне стискування, зрушення і розтягування. Разом з тим всяка кінцева деформація полімерного матеріалу виявляється, з одного боку, як деформація об'ємного стискування (або розширення), що характеризує зміну об'єму тіла при збереженні його форми (дилатансія), а з іншого, - як деформація зрушення, що характеризує зміну форми тіла при зміні його об'єму. У зв'язку з цим рівняння реології стану повинне описувати як ефекти, пов'язані із зміною об'єму тіла, що деформується, так і вплив напруги на зміну його форми. У загальному випадку деформація виявляється в двох видах: як оборотна і як необоротна. Енергія, що витрачається на необоротну деформацію, не регенерується.

При одноосному розтягуванні пружного зразка (блоку, стрижня, волокна) відбувається його оборотне подовження, що описується законом Гуку:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_x,$$

де $\varepsilon_x = \frac{\Delta l}{l_0}$; $E = tg\alpha$ - модуль пружності (модуль Юнга); σ - прикладена напруга.

Проте при одноосному розтягуванні відбувається оборотне зменшення площі поперечного перетину зразка, що обумовлює деформацію стискування ε_y (див. рис. 1.1, б-3):

$$\varepsilon_y = -\mu \cdot \varepsilon_x,$$

де μ - коефіцієнт Пуассона.

При цьому відносна зміна об'єму тіла при розтягуванні складе:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = (1 - \mu)\epsilon_x$$

На рис.1.1 означене *a* - дія зовнішніх сил (напруги) (1 - всебічне стискування; 2 - зрушення; 3 - розтягування (подовження)); *б* - види деформації (1 - всебічне стискування; 2 і 2' - зрушення (простий і чистий відповідно); 3 - розтягування); *в* - графічне зображення рівнянь реологій стану (1 - ідеальне пружне тіло (закон Гуку); 2 - ідеальна рідина (закон Ньютона); 3 - пластичне тіло).

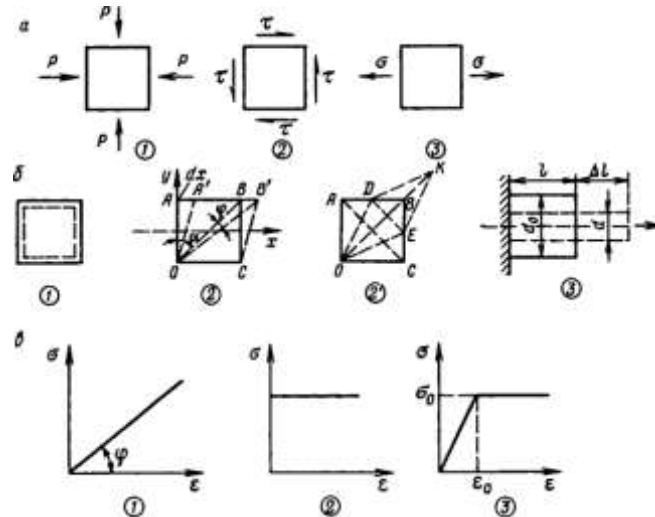


Рис. 1.1. Схеми основних видів дії зовнішніх силових полів на полімерні тіла

В процесі розтягування здійснюється також зсувна деформація (див. рис. 1.1.б - 2, 2'), оскільки при цьому реалізується плосконапружений стан. Напряга зрушення τ при оборотній деформації визначається як відношення сили до площі поверхні, до якої вона прикладена.

Деформація зрушення - це міра деформації, визначувана як:

$$\gamma = \tau / G,$$

де G - модуль пружності при зрушенні (модуль зрушення).

Якщо врахувати, що коефіцієнт Пуассона є мірою поперечного стискування, супроводжуючого подовжнє розтягування, то:

$$E = 2G(1 + \mu),$$

При $\mu = 0,5$ отримуємо $E = 3G$. Зсувна деформація може виявлятися у вигляді "простого" і чистого" зрушення. Для полімерних систем ці характеристики відрізняються тим, що зрушення може привести до конформаційних перебудов в полімерному субстраті. Зсувні деформації приводять до перебудови всієї надмолекулярної організації полімеру. Деформованість полімерних тіл при зрушенні характеризується інтегральною характеристикою, якою є модуль зрушення G . Оскільки $E = 3G$, то:

$$\sigma = 2G(1 + \mu)\epsilon$$

При простому зрушенні (див. рис. 1.1.б - 2) деформація приводить до зсуву точки A в положення A' , причому кут малий. Це обумовлює одночасний поворот діагоналі OB в положення OB' . Аналогічно відбуватиметься зсувна деформація по осі y . Накладення зсувних деформацій по осях x і y приводить до обертання об'єму, що деформується.

При чистому зрушенні об'єм, що деформується, як би розтягується, а діагональ AC (див. рис. 1.1.б - 2') переміщається паралельно самій собі, займаючи положення DE . Це переміщення супроводиться подовженням діагоналі OB на величину BK . Тому обертання елементів середовища при чистому зрушенні не відбувається. Разом з тим аналіз тривимірної картини напруженого стану полімерного тіла при одновимірному зрушенні приводить до необхідності обліку виникнення нормальної напруги.

При великому збільшенні σ прямолінійна залежність, що описується законом Гука, порушується.

Типова діаграма навантаження - подовження ($\sigma - \varepsilon$) полімерних матеріалів в твердому стані ілюструється рис. 1.2. Ділянка OA характерна для ідеально пружних тіл. На ділянці BC реалізується "майданчик пластичності", після чого знов на ділянці CD значення деформацій ростуть із збільшенням напружень аж до розриву зразка. При підвищенні температури модуль пружності зменшується, а ділянка BC подовжується.

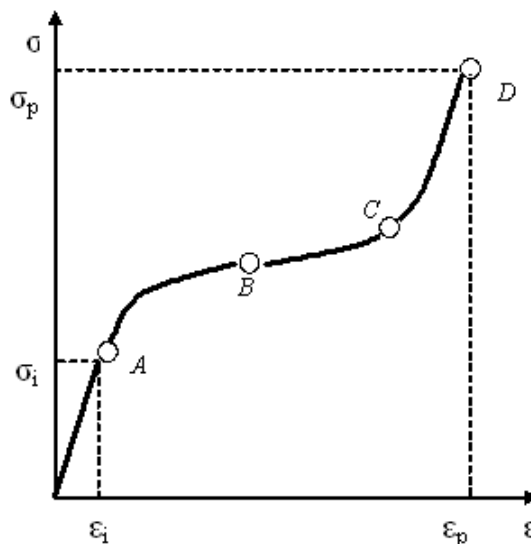


Рис.1.2. Діаграма навантаження – подовження для твердого лінійного полімеру в аморфному стані

Залежно від величини майданчика пластичності - податливості Π - судять про здібність полімерного матеріалу до пластичної деформації, тобто про його здатність необоротно змінювати свою форму під дією прикладеної напруги. Кількісно Π може бути визначена по діаграмі, якщо зіставити значення тангенсів кута нахилу дотичних в точці B і крапці C , тобто

$$\Pi = E_B^{-1} - E_C^{-1}.$$

Площа, обмежена *ODK*, характеризує "працездатність" полімерного матеріалу і складає:

$$A_{\Pi} = \int_0^{\varepsilon_p} \sigma d\varepsilon$$

Для волокон і плівок величину A_{Π} можна при постійних швидкості деформації і температурі в першому наближенні оцінити як:

$$A_{\Pi} \approx \frac{\sigma_p \varepsilon_p}{2}$$

Важливою характеристикою полімерних тіл є тимчасова залежність їх фізичних властивостей.

Перехід будь-якої системи з нестійкого в стійкий стан називається релаксацією. Тривалість цього процесу визначається як час релаксації τ_p . Тому можна говорити про релаксацію деформації (усадці) або напруги. У простому випадку кінетика процесу релаксації описується рівнянням:

$$A_x = A_{x,0} \cdot \exp\left(-t/\tau\right)$$

Фізичні властивості полімерних матеріалів визначаються співвідношенням тривалості дії t на систему зовнішнього силового поля і часу релаксації:

$$\frac{\tau_p}{t} = De,$$

де De - критерій Дебори.

Значення De визначає зміна фізичних властивостей полімерних систем. Великі значення De характерні для твердих тіл, а малі - для рідин.

Величина часу релаксації істотно залежить від температури. Ця залежність описується формулою Александрова – Гуревича:

$$\tau_p = \tau_{p,0} \cdot \exp\left(\frac{\Delta U - \alpha_p \sigma}{RT}\right),$$

де ΔU - зміна внутрішньої енергії полімерного тіла;

α_p - коефіцієнт, залежний від структури полімеру;

σ - напруга, прикладена до полімерного тіла.

Підвищення температури, приводячи до інтенсифікації сегментального руху макромолекул, обумовлює зниження τ_p . До такого ж ефекту приводить збільшення напруженості силового поля, прикладеного до полімерного тіла.

За зміною властивостей полімерного матеріалу при нагріванні або охоло-

джуванні можна спостерігати по зміні як τ_i , так і ε_i . Залежність $\varepsilon = f(T)$ при $\sigma = \text{const}$ отримала назву термомеханічної кривої, а $\sigma = f(T)$ при $\varepsilon = \text{const}$ - кривій ізометричного нагріву.

Збільшення довжини макромолекул (молекулярної маси) полімеру істотно змінює характер термомеханічних кривих. На рис. 1.3 приведені термомеханічні криві для низькомолекулярної і високомолекулярної речовин. Наприклад, парафін (фракція C10-C14) при нагріванні розм'якшується і переходить у в'язкотекучий стан. Перехід з твердого стану в рідкий відбувається поступово в деякій температурній області T_1 .

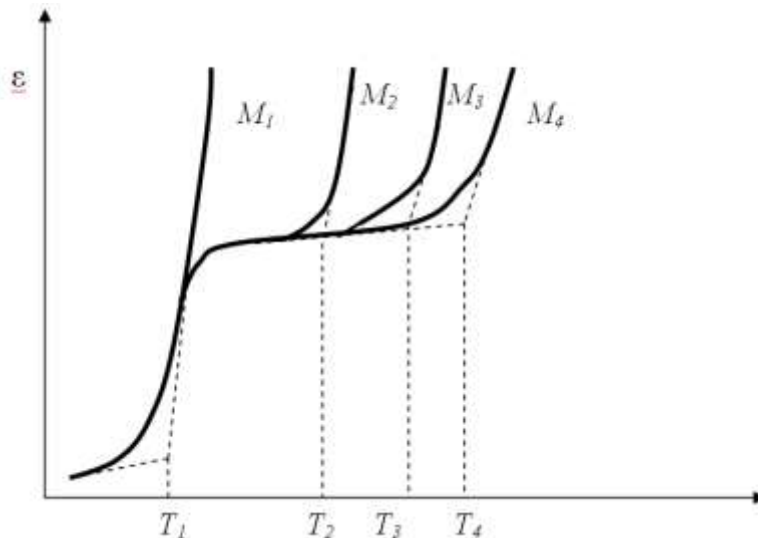


Рис. 1.3. Термомеханічні криві фракцій полімеру з різною молекулярною масою

При цьому змінюється в'язкість парафіну від 1010-1013 до 1,0-10 Па·с, але ніяких змін у взаємній впорядкованості частинок, тобто ніяких фазових перетворень, не відбувається. Температура переходу в твердий агрегатний стан (температура склування T_c) і температура переходу у в'язкотекучий стан T_T практично збігаються, тобто для низькомолекулярних сполук $T_1 = T_c = T_T$.

Вже для парафіну C40-C50 значення $T_2 = T_T$ дещо більше, ніж T_c . При подальшому збільшенні молекулярної маси величина $T_i = T_T$ зростає, а T_c практично не змінюється.

Горизонтальний майданчик на термомеханічній кривій обумовлений здібністю полімерних ланцюгів до конформаційних переходів і з'являється лише тоді, коли молекула набуває гнучкості. У проміжку між T_c і T_T полімерний матеріал здібний до високоеластичних деформацій подібно до каучуку. Це - температурна область високоеластичності.

Полімери, здібні переважно до високоеластичної деформації при кімнатній температурі (різні карбоцепні каучуки, поліуретани, полісилоксани і ін.), на-

зиваються еластомерами.

В області високоеластичності ступінь полімеризації пов'язаний з гнучкістю макромолекул наступним співвідношенням:

$$\lg P = \lg P_c + \frac{A(T_T - T_c)}{B + (T_T - T_c)},$$

де P_c - ступінь полімеризації сегменту; A і B - постійні, характерні для даного полімергомологічного ряду.

При нагріванні до T_T полімер переходить у в'язкотекучий стан.

Отже, аморфний стан волокнообразуючих полімерів може реалізуватися як склоподібний, високоеластичний і в'язкотекучий.

При ізометричному нагріві волокон напруга, необхідна для досягнення заданої деформації ε , поступово збільшується (рис. 1.4). В області температури оскляння ця напруга досягає максимального значення σ_t , а потім падає. Значення σ_t збільшуються із зростанням ступеня орієнтації полімеру і зменшуються з пониженням ступеня кристалічності полімерного субстрату. Величина σ_t може служити мірою неравновісності (напруженості) полімерного матеріалу.

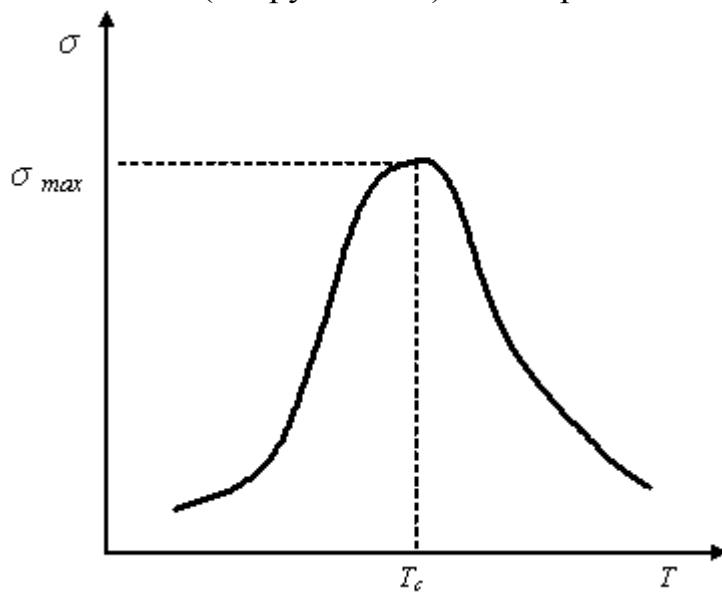


Рис. 1.4. Крива ізометричного нагріву ($\varepsilon = \text{const}$)

У загальному випадку відносна сумарна (загальна) деформація при заданій напрузі складається з пружної – $\varepsilon_{\text{пр}}$, високоеластичної – $\varepsilon_{\text{ве}}$ і пластичної (необоротною) – $\varepsilon_{\text{пл}}$ складових:

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{ве}} + \varepsilon_{\text{пл}}$$

Співвідношення цих складових визначається величиною прикладеної напруги σ , швидкістю деформації $d\varepsilon/dt$, температурою, а також фізико-хімічними властивостями системи полімер - середовище, в якому проводиться деформація

полімерного тіла.

Пружна деформація пов'язана з деформацією валентних кутів і зміною міжатомних відстаней. Після зняття навантаження пружна деформація повністю відновлюється за 10-30с.

Вискоеластична деформація викликана зміною конформації макромолекул і пов'язана із зміною сегментального теплового руху макромолекул в прикладеному полі сил. При одноосному розтягуванні полімеру макромолекули прагнуть розпрямитися і орієнтуватися уздовж напрямку дії сил. Після зняття навантаження під впливом теплового руху поступово відновлюється первинна середньостатистична конформація макромолекул. Час, необхідний для переходу системи в рівноважний стабільний стан (час релаксації), залежно від вибраних умов і жорсткості макромолекул може скласти від 10-20 с до 10 років.

Сповільнене відновлення форми, обумовлене вискоеластичною деформацією, так звана "пам'ять форми" має практичне значення при експлуатації виробів з полімерів.

Пластична деформація викликається необоротним зрушенням макромолекул і інших структурних елементів під дією прикладеної напруги.

При постійній нарузі співвідношення окремих частин деформації визначається температурою, при якій відбувається деформація. Область склоподібного стану знаходиться в діапазоні від $T_{кр}$ до T_c , де $T_{кр}$ - температура крихкості, нижче за яку гнучкість макромолекул не виявляється (рис. 1.5).

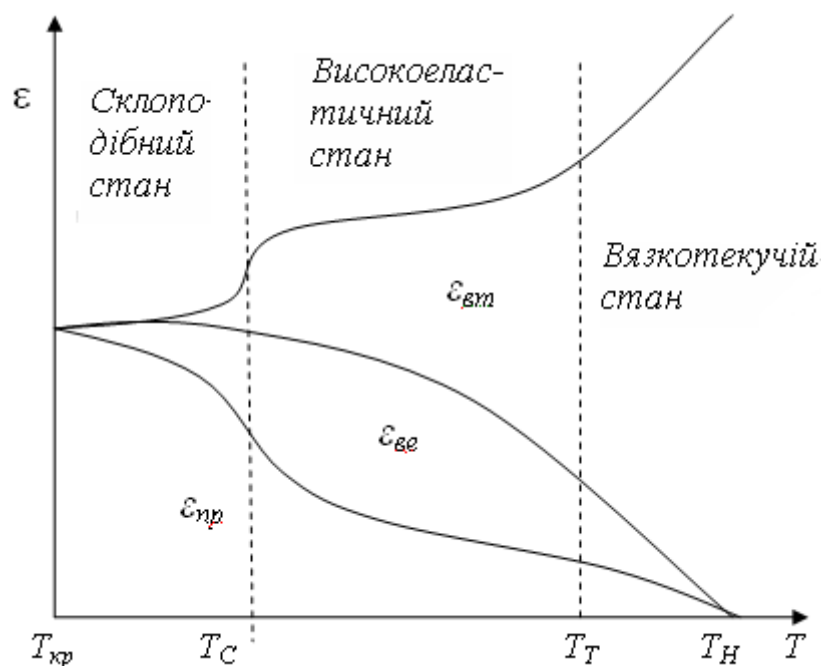


Рис. 1.5. Діаграма залежності долей пружної ($\epsilon_{пр}$), високоеластичної ($\epsilon_{ве}$) і пластичної ($\epsilon_{пл}$) деформації від температури ($\sigma = \text{const}$)

Область високоеластичного стану знаходиться між T_c і T_g , а область в'язкотекучого стану - між T_g і T_n , де T_n - температура, вище за яку полімер тече як ньютонівська рідина. При $T_{кр}$ виявляється тільки пружна деформація, а при T_n - тільки пластична. У решті всього температурного діапазону від $T_{кр}$ до T_n відбувається високоеластична деформація, обумовлена гнучкістю макромолекул (див. рис. 1.5.). У склоподібному стані переважає пружна деформація, проте мають місце також високоеластична і пластична.

Високоеластична деформація полімеру в склоподібному стані отримала назву вимушено-еластичної.

У твердому полімері, як і в нескінченно розбавленому розчині в тета - розчинювачі, полімерні ланцюги, що характеризуються параметром гнучкості Флорі $f_0 > 0,63$, утворюють статистичні клубки. Об'єм, займаний таким клубком, заповнений полімерною речовиною лише на 1,5-3,0 %. Деяка частина цього незайнятого об'єму клубка заповнюється сегментами сусідніх ланцюгів. В результаті полімерні ланцюги в масі полімеру опиняються як би переплутаними. Проте анізотропія сегментів приводить до виникнення певної впорядкованості: молекулярну взаємодію обумовлює виникнення ближнього порядку в їх взаємному розташуванні. Поперечні розміри таких асоціатів досягають 0,5 нм, а подовжні - 10-15 нм.

Такі асоціати, пачки, домени є важливими елементами структури полімеру в аморфному стані.

Проте тепловий рух ділянок макромолекул, що обумовлює їх гнучкість, приводить до виникнення флуктуації щільності речовини, тривалість життя яких в низькомолекулярних рідинах складає 10^{-6} - 10^{-9} с, а в твердих полімерах в результаті обмеження рухливості сегментів, як вже було сказано, від 10^{-2} с до 10^4 років.

Слід зазначити, що один полімерний ланцюг може проходити через декілька таких флуктуаційних пачок. В результаті структура полімеру в аморфному стані може бути представлена ізотропною флуктуаційною сіткою, вузлами якої є домени, пачки макромолекул. Така сітка вельми лабільна. Під впливом зовнішніх силових полів, а також при зміні температури її фізичні властивості - міцність, деформованість - змінюватимуться, причому частка вимушеної еластичності при підвищенні температури зростає.

Температурна область, в якій полімерні ланцюги мають можливість інтенсивного сегментального руху, називається температурною областю оскляння (при охолодженні полімеру) або розскляння (при нагріванні полімеру) і характеризується температурою оскляння T_c . У цій температурній області $\epsilon_{ве}$ стає основною складовою частиною загальною деформованості полімерного матеріалу під дією заданої зовнішньої напруги. При цьому змінюється і взаємна упа-

ковка сегментів полімерного ланцюга.

Температурна залежність питомого об'єму $V_{\text{пит}}$ аморфних полімерів зображена на рис. 1.6.

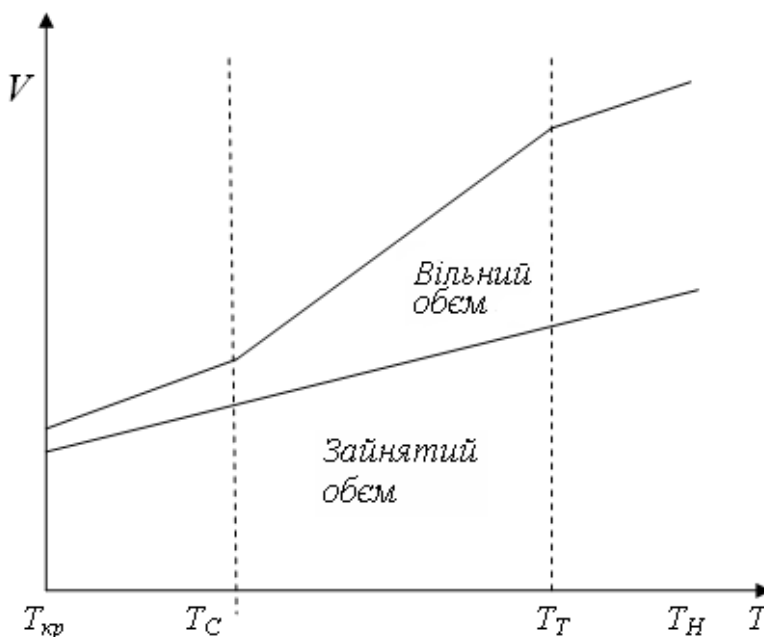


Рис. 1.6. Температурна залежність питомого об'єму $V_{\text{пит}}$ аморфних полімерів

Якщо $V_{\text{пит}}$ - загальний питомий об'єм полімеру, а V_f - "вільний об'єм", то частка вільного об'єму рівна $f = V_f / V_{\text{пит}}$. Із збільшенням температури значення f зростає:

$$f = f_c + \alpha_T (T - T_c),$$

де α_T - коефіцієнт термічного розширення при температурі T ;

f_c - частка вільного об'єму при $T \leq T_c$, рівна $0,025 \pm 0,003$ (правило Симхи - Бойера).

Якщо α_c - коефіцієнт термічного розширення при температурі оскляння, то для гнбкоцепних полімерів:

$$\frac{\alpha_T - \alpha_c}{T_c} \approx 0,113$$

Із зменшенням гнучкості макромолекул значення T_c зростають (табл.1.1).

Таблиця 1.1

Структурно-механічні властивості деяких волокнообразуючих полімерів

Полімер	Сегмент Куна, нм	Модуль пружності, МПа	Густина, кг/м ³	Температура скловання, °С
1	2	3	4	5
Поліетилен високої густини	1,6	2,9	907	-58

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5
Поліпропілен ізотаксичний	2,0	3,0	915	-10
Полікапроамід	2,6	3,5	1136	52
Полігексаметиленадипвмід	2,1	4,0	1143	50
Фіброїн	4,7	12,4	1332	174
Поліетілентерефталат	3,3	4,4	1386	70
Целюлоза	5,2	6,6	1519	220
Триацетат целюлози	4,8	4,8	1286	180
Поліфенілентерефталамід	8,4	130	1420	350
Полівінілхлорид	19,6	4,1	1391	84
Хлорований полівінілхлорид	30,6	4,3	1425	90
Поліакрилонітрил	31,7	5,2	1178	105
Полівініловий спирт	34,8	5,3	1276	85

1.3.2. Високоеластичний стан полімерів

Полімери, знаходячись у високоеластичному стані, здібні до великих (4-5-кратних) оборотних деформацій.

Високоеластичний стан специфічний для полімерів: низькомолекулярні матеріали такою властивістю не володіють. Температурний інтервал високоеластичного перебування на термомеханічній кривій знаходиться в межах T_g - T_c . У міру збільшення температури від T_g до T_c частка вільного об'єму зростає відповідно до рівняння:

$$f = f_c + \alpha_T (T - T_g).$$

Для полімерів, що знаходяться у високоеластичному стані, зберігається ближній порядок у взаємному розташуванні сегментів макромолекул, але рухливість їх істотно вище, ніж в склоподібному стані: час релаксації скорочується на 5-6 десяткових порядків. Модуль пружності полімерних тіл, що знаходяться у високоеластичному стані, знижується до 0,1-0,3 МПа. Істотно змінюється і стисливість полімеру. Якщо в склоподібному стані вона для різних волокноутворюючих полімерів поміщена в межах $(1-5) \cdot 10^{-12} \text{ Па}^{-1}$, то в результаті розкловування полімерного субстрату стисливість зростає до $(3-6) \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$.

Найбільш вірогідному стану полімерного тіла відповідає максимальна ентропія:

$$\Delta S = k \cdot \ln W(h)$$

Цей стан пояснюється найбільш енергетично вигідною конформацією вільнозв'язаного ланцюга.

Оборотна деформація просторової сітки полімерного субстрату, побудованого з таких статистичних клубків, приводить до зміни конфігураційної ентропії ΔS_k . Разом з тим деформованість такої сітки характеризується модулем

високо еластичності E_{ee} :

$$E_{ee} = 3\rho_n k T \overline{M}_c^{-1},$$

де ρ_n - щільність полімеру при температурі T ;

k - константа Больцмана;

$\overline{M}_c$ - молекулярна маса сегменту.

Отже, визначаючи E_{ee} , можна оцінити розмір сегменту полімерного ланцюга у високоеластичному стані. Величина E_{ee} збільшується при підвищенні T .

При аналізі процесів деформації полімерів у високоеластичному стані рухливість кінетичних елементів структури (сегментів) приймається аналогічній рухливості частинок ідеальних газів. Це допущення виявляється справедливим для деформацій не більше 50%. Великі деформації, характерні для полімерів у високоеластичному стані, реалізуються за рахунок не тільки $\varepsilon_{ве}$, але і $\varepsilon_{пр}$ і $\varepsilon_{пл}$. Ці деформації обумовлюють зміну не тільки ΔS_k , але і ентальпії полімеру ΔH .

При великих деформаціях спостерігаються також зменшення об'єму полімерних тіл, ущільнення їх структури і виділення деякої кількості тепла, що підвищує температуру зразка на 1,5-2 град.

Температурна залежність механічних властивостей аморфних полімерів вище T_c може бути описана так званою функцією приведення a_T . Ця величина є відношенням часу релаксації при деякій температурі T до часу релаксації при температурі $T > T_1 \geq T_c$, тобто:

$$a_T = \frac{\tau_T}{\tau_{T1}} \approx \frac{\tau_T}{\tau_{Tc}}$$

Величина a_T обумовлена температурною залежністю гнучкості макромолекул. Замість часів релаксації τ_T і τ_{Tc} можуть бути вибрані інші тимчасові характеристики, залежні від властивостей релаксації полімерів: в'язкість, напруга, деформація, коефіцієнт дифузії. Наприклад:

$$a_T = \frac{\eta_{T1} \rho_1}{\eta_1 T_\rho},$$

де η і ρ - в'язкість і щільність полімерної системи при температурі T , а η_1 і ρ_1 - при температурі приведення $T_1 = T_c + (50 \pm 4)$.

Зіставляючи вище приведені формули, отримуємо:

$$\ln a_T = B \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{f_c} \right),$$
$$\lg a_T = - \frac{(B/2,303) f_c (T - T_c)}{f_c / \alpha_{Tc} + (T - T_c)},$$

де α_{Tc} - коефіцієнт теплового розширення при T_c .

Очевидно, в загальному вигляді можна записати:

$$\lg a_T = \frac{A(T - T_c)}{C + (T - T_c)},$$

де A і C - постійні, залежні від частки вільного об'єму f_c .

Співвідношення відоме як формула Вільямса - Ланделла - Феррі (ВЛФ).

На рис. 1.7 представлена залежність $\lg a_T$ від $T - T_c$ для різних систем, що свідчить про їх універсальність. Константи, що входять в цю формулу, визначають температурні характеристики властивостей релаксації, у тому числі і η_{ef} . Вони універсальні по відношенню до багатьох волокноутворюючих полімерів.

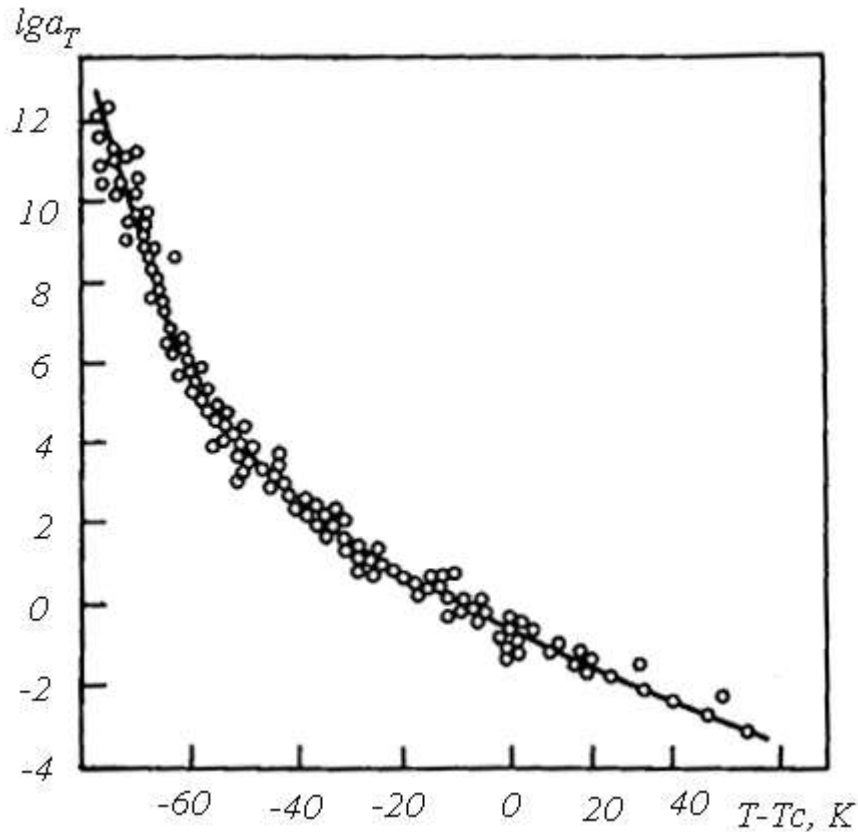


Рис. 1.7. Залежність $\lg a_T$ від $(T - T_c)$ для різних полімерів

Якщо у якості температури приведення вибрані T_c або температура менша ($T_c + 50$), то $A = -17,44$; $C = 51,6$. Якщо у якості температури приведення використовується $T_1 = (T_c + 50)$, що доцільно для багатьох еластомерів, то $A = -8,86$; $C = 101,6$.

У вискоеластичному стані основну частку складає $\varepsilon_{ве}$, хоча внесок $\varepsilon_{пр}$ і $\varepsilon_{пл}$ також досить значний. Підвищення температури зменшує $\varepsilon_{пр}$ і збільшує $\varepsilon_{ве}$ і $\varepsilon_{пл}$.

Застосування еластомерів визначається здатністю їх до високих оборотних деформацій при кімнатних температурах.

Проте у в'язкотекучому стані основну частку деформації складає $\varepsilon_{пл}$. У деякій мірі при цьому зберігається ще і $\varepsilon_{пр}$, але в декілька більшою - $\varepsilon_{ве}$.

При температурі вище T_n частки $\varepsilon_{пр}$ і $\varepsilon_{ве}$ стають зникаюче малими.

Область переходу полімеру у в'язкотекучий стан, температура T_T визначається гнучкістю макромолекул, їх молекулярною масою. Разом з тим ця температурна область реалізується при $f \approx 0,333$.

Залежність тр від температури обумовлює аналогічну залежність і критерію Дебори (De). Тому при побудові повної термомеханічної кривої (рис. 1.3.), що включає склоподібний, високоеластичний і вязкотекучий стани, необхідно враховувати, що тривалість дії сили для досягнення заданої деформації у різних температурних областях може змінюватися на декілька десяткових порядків.

У основний ланцюг макромолекули целюлози і поліфенілентеревфаламіда включені циклічні структури, що різко обмежують гнучкість ланцюгів. Інтенсивні міжмолекулярні взаємодії є додатковим чинником, що підвищує жорсткість цих ланцюгів. Мала гнучкість макромолекул цих полімерів обумовлює слабо виражену високоеластичність їх і високі температури оскляння, що перевищують температуру початку термодеструкції полімерного субстрата. Прядомість волокнуотворюючих полімерів пояснюється їх здібністю до високоеластичних деформацій в процесі в'язкої течії.

Високоеластична частина деформації виявляється протягом тривалого часу (сотень годин). При масових випробуваннях текстильних матеріалів спостереження за відпочинком матеріалу обмежуються декількома годинами. Що виявляється за цей час відпочинку частину деформації прийнято називати повільно поверненою. Частина еластичної деформації, яка не встигла проявити себе за короткий час відпочинку, потрапляє в пластичну і декілька перевищує її дійсну величину. Тому правильніше цю частину деформації називати залишковою.

Таким образом, значення частин повної деформації розтягування текстильного матеріалу, що отримуються після звільнення його від дії навантаження і відпочинку, носять умовний характер. Слід зазначити, що і повне подовження матеріалу, що фіксується при дії малих навантажень, також умовно. Річ у тому, що релаксація деформації в текстильних матеріалах продовжується значний час, при цьому чим вище чутливість приладу, реєструючого деформацію, тим довше можна спостерігати процес релаксації. Крім того, на прояв релаксації деформації матеріалу істотний вплив роблять умови навколишнього середовища (вологість, температура і ін.). Проте, не дивлячись на умовний характер повного подовження і його складових частин, описаний спосіб вивчення релаксації деформації і визначення компонент повного подовження текстильного матеріалу при дії на нього малих навантажень завдяки наочності і відносній простоті найбільш поширений і широко використовується.

В подальшому скорочено терміни “умовна повна деформація”, “умовна швидко повернена (пружна) деформація”, “умовна повільно повернена (високо-

еластична) деформація” і “умовна залишкова (пластична) деформація” будуть написана без слова “умовна”. Проте при використанні цих термінів їх слід розуміти в умовному значенні.

Повна абсолютна деформація розтягування, що розвинулася в матеріалі до моменту розвантаження, складається з трьох компонент (частин):

$$\varepsilon_{заг} = \varepsilon_{пр} + \varepsilon_{ве} + \varepsilon_{пл}$$

1.4. Методи і прилади оцінки одноциклових характеристик при розтягуванні (компонентів деформації при розтягуванні) – релаксації

У швейному виробництві, зокрема при розмотуванні рулону матеріалу, настиланні його для розкрою, виконанні швів, волого-теплової обробки і тому подібне, матеріали піддаються дії, як правило, невеликих по величині навантажень, значення яких складає 1 - 2 % розривних. Залежно від здатності матеріалу чинити опір цим діям встановлюються режими технологічних операцій.

При експлуатації одягу матеріали, з яких він виготовлений, в окремих випадках піддаються одноразовій дії, що безперервно зростає і доходить до руйнівного навантаження. Зазвичай матеріали деформуються в результаті дії зусиль, величини яких значно менше розривних: для тканин вони складають в основному 1 - 3 даН на ширину смужки 5 см і лише на окремих ділянках одягу досягають 8 - 9 даН. При експлуатації трикотажних виробів напруга від розтягування трикотажу складає близько 0,1 МПа.

Таким чином, і у виробництві швейних виробів, і при їх експлуатації на матеріал діють невеликі навантаження, які, чергуючись з розвантаженням і відпочинком, розхитують структуру матеріалу і приводять до його ослаблення; зміни, що відбуваються при цьому, в розмірах і формі матеріалу на окремих ділянках одягу значно погіршують його зовнішній вигляд.

Вивчення отримуваних при випробуваннях в циклі навантаження – розвантаження – відпочинок характеристик механічних властивостей текстильних матеріалів представляє великий інтерес, а результати подібних досліджень можуть використовуватися при конструюванні деталей одягу, його виготовленні, при розробці нових матеріалів з покращуваними властивостями.

Дослідженням тканин при розтягуванні їх навантаженнями менше розривних почали займатися на початку XX ст. російські учені. Проте ці роботи у той час не отримали розвитку.

Успіхи у вивченні механічних властивостей полімерів сприяли розгортанню робіт по вивченню механічних властивостей текстильних матеріалів і дослідженню явищ релаксації, викликаних зовнішніми діями на матеріали. Значні роботи в цій області виконали Г.Н.Кукін, А.Н.Солов'єв, А.І.Кобляков, І.І.Шалов,

А.В.Матуконіс, В.М.Мілашюс, В. П. Ськлянников і ін.

Сітчаста будова тканин і петельна будова трикотажу обумовлюють утворення численних зв'язків. Всі зв'язки, що діють в матеріалі, прийнято розділяти на дві групи: зовнішні, визначувані особливостями будови матеріалу, і внутрішні, обумовлені особливостями будови ниток (пряжа) і волокон.

При переплетенні ниток в тканині між ними виникають сили тертя і зчеплення. В точках контакту ниток основи і утку ці сили значно зростають. Крім того, структура тканини є просторовими ґратами, форма і розміри якої в значній мірі визначають здатність тканини деформуватися. Залежно від виду переплетення, фази будови тканини змінюються вигин і взаєморозташування ниток основи і утку, кути обхвату ниток. Всі ці зовнішні зв'язки, визначувані особливостями будови тканини, роблять істотний вплив на прояв сил тертя і зчеплення між нитками, на деформаційну здатність тканини.

Разом із зовнішніми зв'язками в тканині діють внутрішні зв'язки, визначувані силами тертя і зчеплення між волокнами в нитках (пряжі), силами міжатомних і міжмолекулярних зв'язків у волокнах.

У трикотажі зовнішні зв'язки характеризуються силами тертя і зчеплення, що виникають між нитками петель. Унаслідок петельної будови трикотажу його зовнішні зв'язки декілька слабкіші і рухоміші, ніж в тканині. Для зміни цих зв'язків потрібно докласти менше зусилля. Внутрішні зв'язки в трикотажі, як і в тканинах, обумовлені силами тертя і зчеплення між волокнами, складовими ниток, і силами міжатомних і міжмолекулярних зв'язків у волокнах.

Неткані полотна істотно відрізняються за своєю будовою від тканин і трикотажу, їх волокниста будова в значній мірі визначає утворення зв'язків, впливає на їх механічні властивості. Для прошивних нетканих полотен зовнішні зв'язки визначаються головним чином силами тертя і зчеплення волокон, створюючих матеріал. Ці сили, у свою чергу, залежать від розташування волокон в матеріалі (орієнтоване або неорієнтоване), виду волокон, способу прошивки і тому подібне.

Для клеєних нетканих полотен зовнішні зв'язки, крім того, в значній мірі доповнюються силами склеювання окремих волокон речовиною, що пов'язує. Залежно від кількості речовини сили склеювання волокна, що пов'язує, можуть бути дуже значними і робити переважаючий вплив на механічні властивості матеріалу, на його деформаційну здатність.

Таким чином, тканини, трикотажні і неткані полотна мають складну будову, яка в значній мірі впливає на їх деформаційну здатність, на характер розвитку процесів релаксації.

Релаксаціями називають процеси, що протікають в часі і приводять до встановлення рівноважного стану матеріалу. Процеси релаксації в текстильних

матеріалах спостерігаються при всіх видах механічних дій на матеріал (розтягування, вигин, стискування і ін.) і є їх характерною особливістю. Ці процеси в текстильних матеріалах роблять великий вплив, як на якість виготовлення, так і на експлуатацію швейних виробів.

Одноциклові випробування при розтягуванні матеріалів можна виконувати багатьма методами, оскільки цикл навантаження – розвантаження – відпочинок може здійснюватися по-різному. Розглянемо чотири основних з цих методів.

1-й метод. Перша половина циклу (навантаження) відповідає режиму повзучості, а друга – режиму зменшення деформації за рахівниць зникнення високоеластичної деформації. Як вхідне збудження використовується навантаження.

2-й метод. Перша половина циклу відповідає режиму релаксації зусилля, друга – режиму астригнації зусилля. (Якщо деформація підтримується постійною після її зменшення, то відбувається зворотний процес релаксації – збільшення зусилля. Цей процес В.М. Мілашюс назвав астригнацією зусилля.) Як вхідне збудження використовується зміна деформації у вигляді широкого імпульсу, а як вихідна функція – зміна внутрішнього зусилля в пробі в часі.

3-й метод. Перша половина циклу відповідає режиму релаксації зусилля, друга – режиму зменшення деформації за рахунок зникнення високоеластичної деформації. У першій половині циклу як вихідна функція використовується зміна зусилля, в другій половині – зміна деформації.

4-й метод. Режим випробування складається з трьох частин: повзучість, релаксації зусилля, зменшення деформації за рахунок зникнення високоеластичної деформації.

Окрім цих чотирьох методів до одноциклових випробувань відносять метод, при якому пробу поступово деформують, а потім поступово розвантажують. Здійснюється цей метод випробування за відносно короткий час на розривних машинах.

Число випробувань може бути збільшене унаслідок варіювання амплітуди збуджуючої функції. Залежність же характеристик релаксації від температури і відносної вологості повітря вимагає обліку і цих чинників.

З одноциклових характеристик, що отримуються при розтягуванні текстильних матеріалів, найбільший інтерес представляє вивчення релаксації напруги, або деформації, і визначення повного подовження і його складових частин. При вивченні релаксації напруги (зусилля) реєструють величину зусилля при заданому постійному подовженні. По ступеню зменшення напруги за певний час роблять порівняльну оцінку матеріалів. Слід зазначити, що прояв релаксації напруги у тканин має майже однаковий характер, тому ця характеристика не була широкого поширення.

Найширше вивчається релаксація деформації матеріалу при дії на нього постійного навантаження менше розривного. Якщо до проби текстильного матеріалу прикласти постійне навантаження, то вона почне деформуватися (розтягуватися). Такий процес називають повзучістю або пружною післядією.

При цьому, як правило, в початковий період прикладання навантаження відбувається значна деформація матеріалу. З часом деформація поступово затухає і досягши певної величини (відповідному заданому навантаженню), деформація припиняється – встановлюється рівноважний стан (тут і надалі під рівноважним станом розуміється «технічний рівноважний» стан, при якому невелика зміна матеріалу ще продовжується). Деформація матеріалу, зафіксована у цей момент, визначає величину повного подовження L :

$$L = L_k - L_o$$

де L_k – довжина проби матеріалу, зміряна до моменту закінчення дії на нього заданого навантаження;

L_o – первинна довжина проби.

Повна деформація, що виявляється в матеріалі при дії постійного навантаження, складається з трьох компонент (частин): пружної, високоеластичної і пластичної. Проте виділити ці частини під час дії навантаження, як при деформації, так і в період умовної сталої рівноваги не представляється можливим. У певних умовах всі три компоненти повної деформації при дії навантаження виявляються і розвиваються одночасно.

Пружна частина ($L_{пр}$) повної деформації текстильних матеріалів виникає унаслідок появи енергії, викликані пружною (оборотним) зміною зв'язків. Із-за зміни напруги зв'язків, що знаходилися до цього в рівновазі, і розвивається пружна частина деформації, яка розповсюджується в матеріалі з величезною швидкістю. При цьому в перший період дії навантаження пружна частина деформації, очевидно, є результатом незначної зміни зовнішніх зв'язків, визначуваних силами тертя і зчеплення між волокнами, проявом міжмолекулярних зв'язків.

З часом дії навантаження відбувається істотна зміна зв'язків. Зв'язки, що знов утворилися, в перший момент свого прояву унаслідок незначної зміни напруги поповнюють пружну частину. Таким чином, у міру зростання повної деформації матеріалу відбувається безперервний процес зміни в зв'язках. При цьому, очевидно, всі зв'язки в перший момент свого прояву виступають як пружні. Із зростанням повного подовження матеріалу змінюються внутрішні зв'язки – міжволоконні і міжмолекулярні у волокнах.

Виникнення високоеластичної частини повної деформації (L_e), що змінюється в часі, пояснюється тим, що зв'язки, що виявилися в перший момент розвитку пружній частині деформації, у міру дії зовнішніх сил продовжують нако-

пичувати енергію. Цей процес, що протікає в часі, і приводить до появи внутрішньої напруги, сприяючої оборотності високоеластичної частини деформації. Участь зв'язків у виникненні еластичної частини деформації продовжується до тих пір, поки енергія, що накопичилася в зв'язках, не досягне певного значення, що перевищує граничне для даного зв'язку, і не відбудеться порушення цих зв'язків. Порушення діючих зв'язків, очевидно, приводить до появи нових зв'язків, які в перший момент прояву поповнюють пружну частину деформації і беруть участь у виникненні еластичної частини. Отже, при деформації матеріалу відбувається безперервна якісна зміна зв'язків, що беруть участь у виникненні пружною, а потім високоеластичною частини деформації. Високоеластична частина деформації в текстильних матеріалах у зв'язку з особливостями їх будови виявляється протягом тривалого часу.

Пластична частина ($L_{\text{п}}$) повної деформації з'являється в матеріалі унаслідок необоротної зміни (порушення) зовнішніх і внутрішніх зв'язків. Під дією навантаження в результаті накопичення енергії відбувається порушення зв'язків, що супроводиться перегруповуванням елементів структури матеріалу. При цьому, очевидно, насамперед порушуються менш стійкі і слабкі зовнішні зв'язки: відбувається необоротне зближення ниток і переміщення їх в точках контакту, збільшуються вигини одні і розпрямлення інших ниток або міняються вигини всіх ниток і тому подібне.

Розглянуті вище особливості деформації матеріалу при дії на нього навантаження, що виражаються в прояві трьох складових частин повної деформації, характерні і для циклу відпочинку, що настає після розвантаження матеріалу.

Після звільнення матеріалу від дії навантаження походить зворотний процес релаксації. Зв'язки, що проте беруть участь в цьому процесі, природно, якісно відрізняються від тих зв'язків, які брали участь у виникненні пружної і еластичної частини деформації на першому етапі її розвитку при дії навантаження. Причому високоеластична частина деформації при зворотному процесі релаксації також виявляється тривалий час. Цей процес супроводиться деякою зміною і пластичній частині деформації.

Завдяки різній швидкості прояву пружної і високоеластичної частини деформації при відпочинку можливе розділення повної деформації на складові частини. Унаслідок виникнення пружної і високоеластичної (з дуже малим періодом релаксації) частин деформації матеріал в перший момент після зняття навантаження скорочується по довжині. При відпочинку у зв'язку з проявом високоеластичної частини деформації він продовжує коротшати. Після закінчення визначеного і притому значного часу релаксація деформації сповільнюється і практично припиняється.

Очевидно, таке розділення повної деформації розтягування на складові

частини умовно.

Відомо, що пружна частина деформації розповсюджується в матеріалах з швидкістю, близькою до швидкості звуку. На існуючих же приладах перший відлік деформації проводиться зазвичай через 2 – 5 с після розвантаження. За цей час, природно, зникає не тільки пружна частина деформації, але і якась частина високоеластичної з малим періодом релаксації. Таким чином, значення пружної частини повної деформації, що фіксується, декілька вище фактичного. Цю частину (компоненту) повної деформації L_{np} прийнято називати швидкооберненою.

Високоеластична частина деформації виявляється протягом тривалого часу (сотень годин). При масових випробуваннях текстильних матеріалів спостереження за відпочинком матеріалу обмежуються декількома годинами. Що виявляється за цей час відпочинку частину деформації L_e прийнято називати повільно оберненою. Частина еластичної деформації, яка не встигла проявити себе за короткий час відпочинку, потрапляє в пластичну і декілька перевищує її дійсну величину. Тому правильніше цю частину деформації L_n називати залишковою.

Таким чином, значення частин повної деформації розтягування текстильного матеріалу, що отримуються після звільнення його від дії навантаження, при відпочинку, носять умовний характер. Слід зазначити, що і повне подовження матеріалу, що фіксується при дії малих навантажень, також умовно. Річ у тому, що релаксація деформації в текстильних матеріалах продовжується значний час, при цьому чим вище чутливість приладу, реєструючого деформацію, тим довше можна спостерігати процес релаксації. Крім того, на прояв релаксації деформації матеріалу істотний вплив роблять умови навколишнього середовища (вологість, температура і ін.). Проте, не дивлячись на умовний характер повного подовження, і його складових частин, описаний спосіб вивчення релаксації деформації і визначення компонент повного подовження текстильного матеріалу при дії на нього малих навантажень завдяки наочності і відносній простоті найбільш поширений і широко використовується.

Повна абсолютна деформація розтягування, що розвинулася в матеріалі до моменту розвантаження, складається з трьох компонент (частин):

$$L = L_{np} + L_e + L_n$$

Значення цих компонент визначають таким чином:

$$L_{np} = L_k - L_1; L_e = L_k - L_2; L_n = L_2 - L_o,$$

де L_1 – довжина проби матеріалу у момент першого вимірювання відразу ж після зняття навантаження;

L_2 – довжина проби після відпочинку протягом певного (заданого) часу.

Повну деформацію розтягування і її складові частини часто виражають у

відносних величинах (відносна повна, відносна швидко обернена, відносна повільно обернена, відносна залишкова), абсолютних значеннях, що набувають діленням на первинну довжину проби матеріалу.

Для виразу набутих значень деформацій у відсотках їх множують на 100.

При вивченні деформацій розтягування текстильних матеріалів для їх порівняння прийнято також компоненти повної деформації виражати в долях від повної.

Враховуючи умовний характер швидко оберненої і повільно оберненої компонент, їх часто об'єднують під загальною назвою оборотна частина повної деформації; деформація залишкова – необоротна частина.

1.5. Вплив різних чинників на прояв деформаційних характеристик

Релаксація деформації текстильних матеріалів при відпочинку після звільнення від дії статичного навантаження продовжується тривалий час. У тканинах технічна рівновага в основному встановлюється через 300 – 400 год. дії статичного навантаження і 100 – 200 год. відпочинку після звільнення від навантаження. У трикотажі релаксація деформації розтягування при відпочинку продовжується більш тривалий час.

Найінтенсивніше процес релаксації протікає в перший період дії відпочинку. З часом релаксація деформації затухає і встановлюється відносно рівноважний стан. Слід зазначити, що величина навантаження в долях від розривної 0,1 – 0,25 для тканин і 0,01 – 0,05 для трикотажу не робить істотного впливу на час розвитку деформації і релаксації деформації при дії навантаження і при відпочинку.

Величина статичного навантаження, що діє на матеріал, значно впливає на величину повної деформації розтягування матеріалу і співвідношення складових частин повного подовження. При збільшенні навантаження росте повна деформація, і істотно змінюються її частини: швидко обернена, повільно обернена і залишкова. У тканинах розвиток деформації, викликаний збільшенням навантаження, супроводиться порушенням окремих зв'язків і приводить до зростання залишкової деформації; швидко оберненої і повільно оберненої долі деформацій при підвищенні статичного навантаження зменшуються.

Прояв повної деформації і її складових частин в значній мірі залежить від структури тканини: числа ниток на 10 см, виду переплетення, характеру обробки і тому подібне.

При додатку навантаження під кутами до ниток основи або утку росте повна деформація тканини і змінюється співвідношення складових частин: частка оборотної частини зменшується, а частка необоротної збільшується. Особ-

ливо збільшуються повна деформація, і частка її необоротної частини при додатку навантаження в напрямі під кутом 45° до ниток основи (утоку). Це пояснюється поворотом ниток основи і утку в точках їх перетину (переходу) і пов'язано головним чином з числом ниток на 10 см матеріалу і видом переплетення. Чим менше число ниток на 10 см матеріалу і більше довжину перекриття, а, отже, слабкіше за зв'язок між нитками, тим легше повертаються нитки в точках їх перетину. Тому вже при малих навантаженнях, що діють на тканині в напрямі під кутом до ниток основи (утоку), спостерігається значне повне подовження тканини із збільшенням частки необоротної частини деформації.

Співвідношення оборотної і необоротної частин деформації розтягування залежить від виду переплетення, поверхневого заповнення матеріалу, його волокнистого складу.

Прояв складових частин деформації розтягування трикотажу в порівнянні з тканинами має деякі особливості, визначувані петельною будовою трикотажу. Так, незначне збільшення статичного навантаження при короткочасній її дії приводить до різкого збільшення повного подовження з переважним розвитком пружної деформації. З часом дії статичного навантаження змінюється співвідношення частин повної деформації розтягування трикотажу: оборотна частина деформації зменшується, необоротна росте. При значному збільшенні статичного навантаження збільшується залишкова частина повної деформації трикотажу.

Таким чином, чим менше навантаження, що діє на матеріал, і час її дії, тим більше частка пружної компоненти. Тому одяг, матеріал якого при носкі випробовує короткочасну дію незначного навантаження, краще зберігає форму і розміри.

Великий вплив на розвиток процесів релаксації в текстильних матеріалах надають волога і температура. При поглинанні пари води з навколишнього середовища і ще в більшому ступені при безпосередньому зануренні текстильних виробів у воду, молекули води, проникаючи між макромолекулами, що формують текстильні волокна, послаблюють їх зв'язки, тобто волога діє як пластифікатор.

Особливості процесів релаксації в тканині під впливом вологості і температури при режимах, близьких до умов швейного виробництва, вивчалися в Московському технологічному інституті легкої промисловості. Експерименти проводилися з чистошерстяною тканиною драп арт. Н-3339 на релаксометрі Р-МТІЛП. Всього було задано шість режимів випробувань.

Розмір проб 35×200 мм. Постійне навантаження – 1 % розривного. Час знаходження проби під навантаженням 5 хв., з них протягом 2 хв. на пробу діяло навантаження і протягом 3 хв. відбувалася релаксація при зафіксованій деформації. Температура пропарювання проб для зволоження $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$. Відпо-

чинок після розвантаження при температурі 20 °С 60 хв.

Значення повної деформації при дії постійного навантаження склало 6 – 7% і лише для режимів III і IV – 8 – 9%; долі компонент повної деформації при відпочинку в заданих режимах істотно розрізняються. Так, при підвищенні температури сушки від 20 (режим I) до 160 °С (режим II) час активної релаксації деформації збільшується. Підвищення вологості тканини від 15 (режим I) до 25% (режим III) практично не впливає на характер релаксації деформації, в той же час частка залишкової деформації тканини (режим III) помітно зростає.

Попереднє пропарювання проб (режими V і VI) і подальша їх сушка при температурі 160°С сприяють переважному розвитку оборотної частини деформації (режим VI).

Таким чином, релаксація деформації тканини при відпочинку значно змінюється залежно від режимів обробки тканини і істотно впливає на кількість виконання технологічних операцій в швейному виробництві.

1.6 Прилади для визначення деформаційних характеристик

Для визначення деформаційних характеристик матеріалів застосовують прилади, що працюють за принципом:

- 1) постійного розтягування проби матеріалу;
- 2) постійного навантаження на пробу (релаксометри).

При випробуванні матеріалів на приладах першого типу вивчають зміни зусилля в пробі матеріалу, що отримала постійне задане подовження. Прилад першого типу розроблений Г. Н. Кукіним і А. І. Кобляковим. При випробуваннях на цьому приладі обертанням рукоятки всі нижні затиски опускаються на певну величину, а проби тканини при цьому отримують задану деформацію.

Для вивчення релаксації деформації і визначення складових частин повної деформації розтягування матеріалу використовують прилади другого типу: стійку, РТ-6, Р-5, Р-МТІЛП і ін.

РОЗДІЛ 2

ОДЕРЖАННЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ КРИВИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Методи апроксимації експериментальних даних

У цьому розділі розглядані методи математичної обробки результатів експериментів для залежностей деформацій від температур. Розглянемо спочатку загальні методи апроксимації залежностей між двома параметрами.

Нехай є розподілення експериментальних точок, показане на рис.2.1.

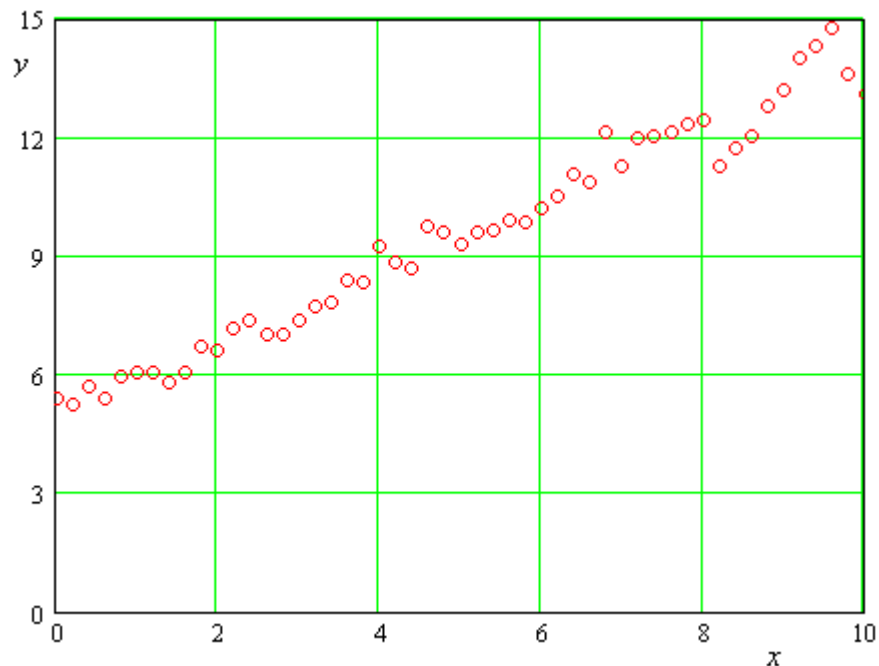


Рис. 2.1. Розподілення експериментальних точок, близьке до лінійної кореляції

З експерименту видно, що більшість точок розкидане не аби як, а в певному порядку, у випадку не дуже складного уявлення можна представити їх, розташованих навкруги деякої прямої лінії. Звичайно щільність експериментальних точок, особливо близькість їхнього розташування до прямої лінії визначається так званим коефіцієнтом кореляції.

Рівняння, що описує пряму лінію, що демонструє зв'язок між двома параметрами називається рівняння регресії.

Рівняння прямої, як відомо, може бути записано у вигляді: $y = a + b \cdot x$, причому коефіцієнти рівняння невідомі. Коефіцієнти знаходяться при використанні так званого методу найменших квадратів.

Якщо X_i - значення абсциси окремої точки, Y_i - значення її ординати, то значення цих коефіцієнтів зазначеним методом знаходиться шляхом розв'язання

системи рівнянь:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Y_i = a \cdot n + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i = a \cdot \sum_{i=1}^n X_i + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 \end{cases}$$

Формально процес визначення коефіцієнтів регресії може виглядати таким чином. Результати експериментів та результати розрахунків за окремими точками заносяться в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Розрахунок коефіцієнтів регресії

№	X_i	Y_i	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2
1	X_1	Y_1	$X_1 \cdot Y_1$	X_1^2
2	X_2	Y_2	$X_2 \cdot Y_2$	X_2^2
...				
i	X_i	Y_i	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2
...				
n	X_n	Y_n	$X_n \cdot Y_n$	X_n^2
$\sum$	$\sum_{i=1}^n X_i$	$\sum_{i=1}^n Y_i$	$\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i$	$\sum_{i=1}^n X_i^2$

В результаті розв’язання системи рівнянь одержуються коефіцієнти регресії і пряму лінію, що описує взаємозв’язок між двома параметрами (рис. 2.2).

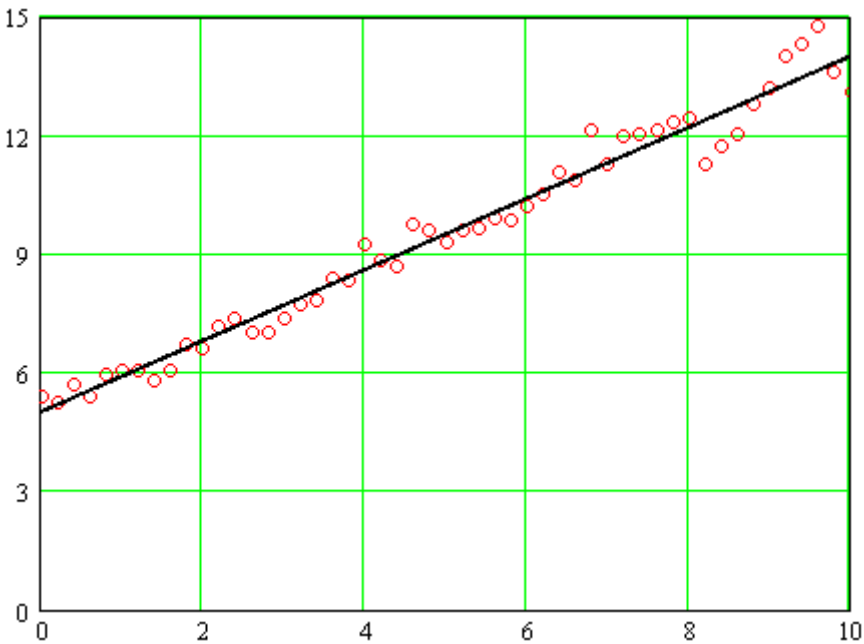


Рис. 2.2. Лінійна регресія

При проведенні експериментів зовсім необов’язково, щоб результати лягали на пряму лінію. У більш складних випадках точки можуть лягати наприклад так, як показано на рис. 2.3.

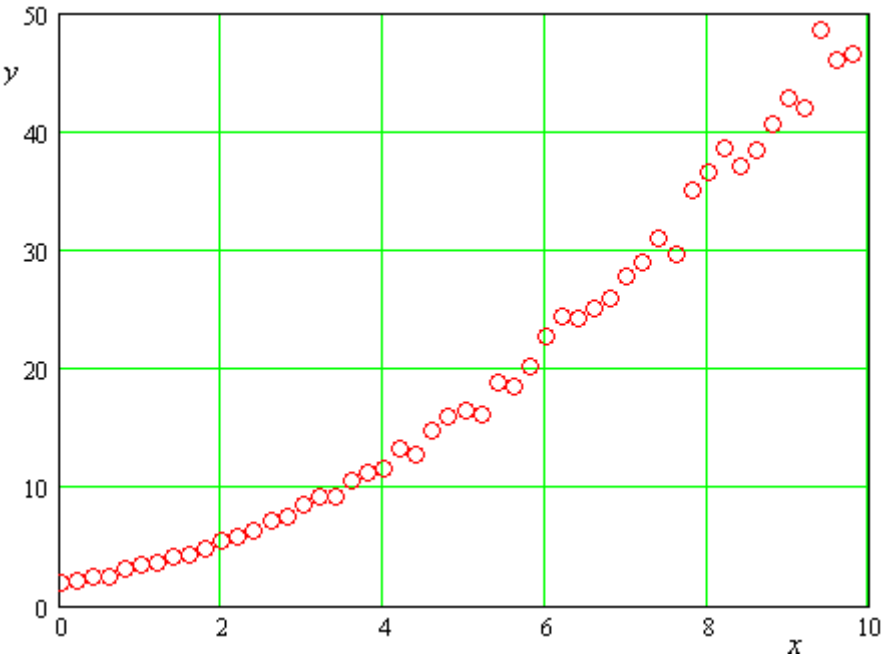


Рис. 2.3. Розподілення точок у випадку квадратичної кореляції

Експериментальні точки не лежать на прямій. Спробуємо відтворити цю залежність за допомогою квадратної параболи, рівняння якої, як відомо, має вигляд: $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2$.

В цьому рівнянні тепер вже три невідомі коефіцієнти. Природно, що для їх відшукування треба скласти і розв’язати систему з трьох рівнянь. Для їх складання необхідно заповнити табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахунок коефіцієнтів квадратичної регресії

№	X_i	Y_i	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i^2 \cdot Y_i$
1	X_1	Y_1	$X_1 \cdot Y_1$	X_1^2	X_1^3	X_1^4	$X_1^2 \cdot Y_1$
2	X_2	Y_2	$X_2 \cdot Y_2$	X_2^2	X_2^3	X_2^4	$X_2^2 \cdot Y_2$
...	...	...	...	...	...	...	...
i	X_i	Y_i	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i^2 \cdot Y_i$
...	...	...	...	...	...	...	...
n	X_n	Y_n	$X_n \cdot Y_n$	X_n^2	X_n^3	X_n^4	$X_n^2 \cdot Y_n$
Σ	$\sum_{i=1}^n X_i$	$\sum_{i=1}^n Y_i$	$\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i$	$\sum_{i=1}^n X_i^2$	$\sum_{i=1}^n X_i^3$	$\sum_{i=1}^n X_i^4$	$\sum_{i=1}^n X_i^2 \cdot Y_i$

Після складання таблиці система рівнянь може мати вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Y_i = a \cdot n + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i = a \cdot \sum_{i=1}^n X_i + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i^2 = a \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^4 \end{cases}$$

Після знаходження коефіцієнтів можна побудувати лінію регресії у вигляді (див. рис. 2.4).

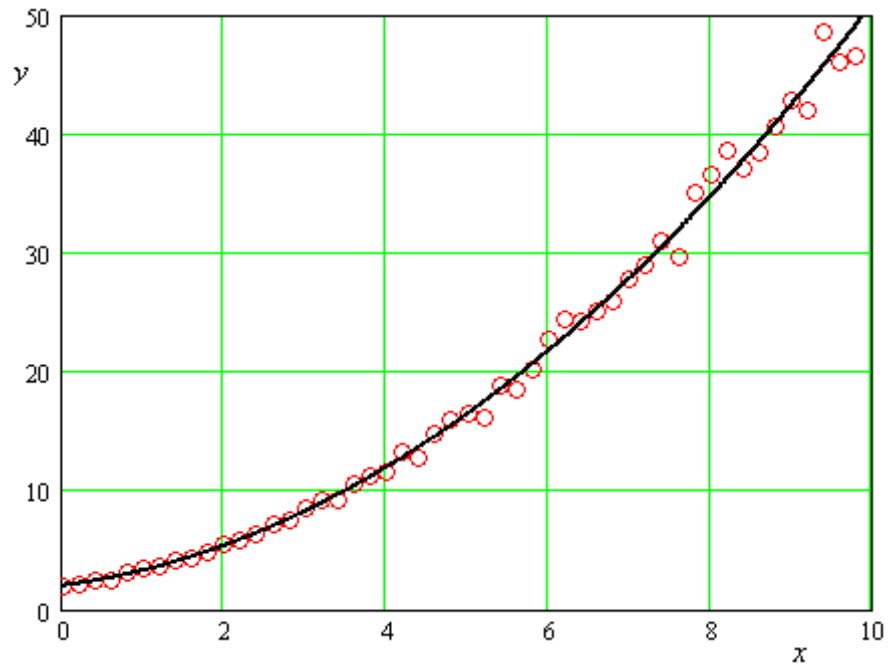


Рис. 2.4. Квадратична регресія

Продовжуючи тенденцію далі, можна знайти регресії більш високих ступенів. Розглянемо розподілення виду (рис. 2.5).

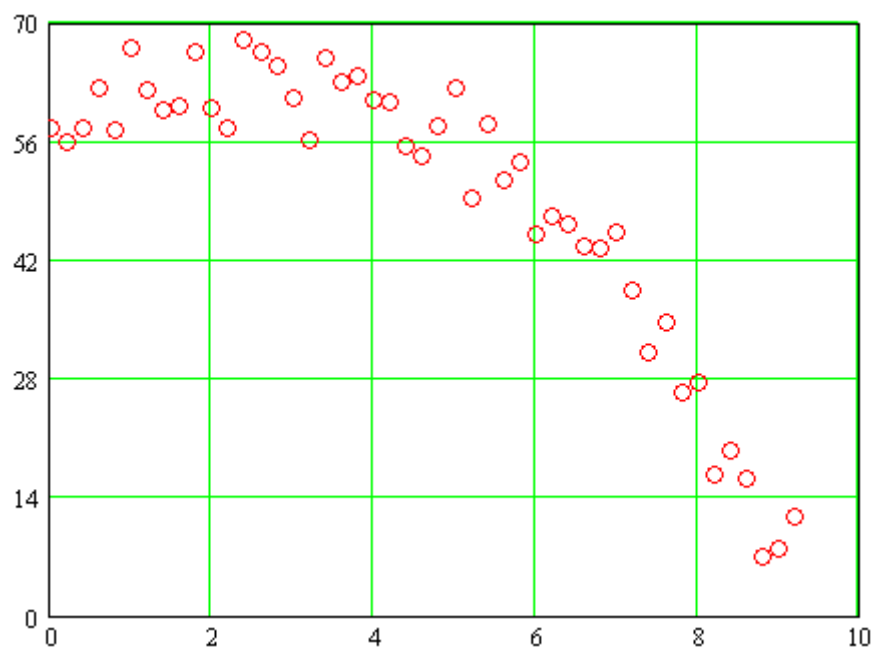


Рис. 2.5. Розподілення точок у випадку ступеневої регресії

Згідно нашого запропонованого плану уявляємо функцію, як:

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3.$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів необхідно скласти і розв'язати систему з чотирьох рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n Y_i = a \cdot n + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + d \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i = a \cdot \sum_{i=1}^n X_i + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 + d \cdot \sum_{i=1}^n X_i^4 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i^2 = a \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^4 + d \cdot \sum_{i=1}^n X_i^5 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i^3 = a \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^4 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^5 + d \cdot \sum_{i=1}^n X_i^6 \end{array} \right.$$

При цьому розрахунки наводяться в табл. 2.3, а лінія регресії може мати вигляд (див. рис. 2.6).

Таблиця 2.3

Розрахунок коефіцієнтів кубічної регресії

№	X_i	Y_i	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2	X_i^3	X_i^4	X_i^5	$X_i^2 \cdot Y_i$	$X_i^3 \cdot Y_i$
1	X_1	Y_1	$X_1 \cdot Y_1$	X_1^2	X_1^3	X_1^4	X_1^5	$X_1^2 \cdot Y_1$	$X_1^3 \cdot Y_1$
2	X_2	Y_2	$X_2 \cdot Y_2$	X_2^2	X_2^3	X_2^4	X_2^5	$X_2^2 \cdot Y_2$	$X_2^3 \cdot Y_2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
i	X_i	Y_i	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2	X_i^3	X_i^4	X_i^5	$X_i^2 \cdot Y_i$	$X_i^3 \cdot Y_i$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	X_n	Y_n	$X_n \cdot Y_n$	X_n^2	X_n^3	X_n^4	X_n^5	$X_n^2 \cdot Y_n$	$X_n^3 \cdot Y_n$
Σ	$\sum_{i=1}^n X_i$	$\sum_{i=1}^n Y_i$	$\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i$	$\sum_{i=1}^n X_i^2$	$\sum_{i=1}^n X_i^3$	$\sum_{i=1}^n X_i^4$	$\sum_{i=1}^n X_i^5$	$\sum_{i=1}^n X_i^2 \cdot Y_i$	$\sum_{i=1}^n X_i^3 \cdot Y_i$

Взагалі, для складної залежності може бути запропонована ступенева регресія виду:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_m \cdot x^m.$$

Невідомі коефіцієнти такої регресії визначаються методами, аналогічними описаним вище.

На рис. 2.7, наприклад, зображена регресія четвертого порядку.

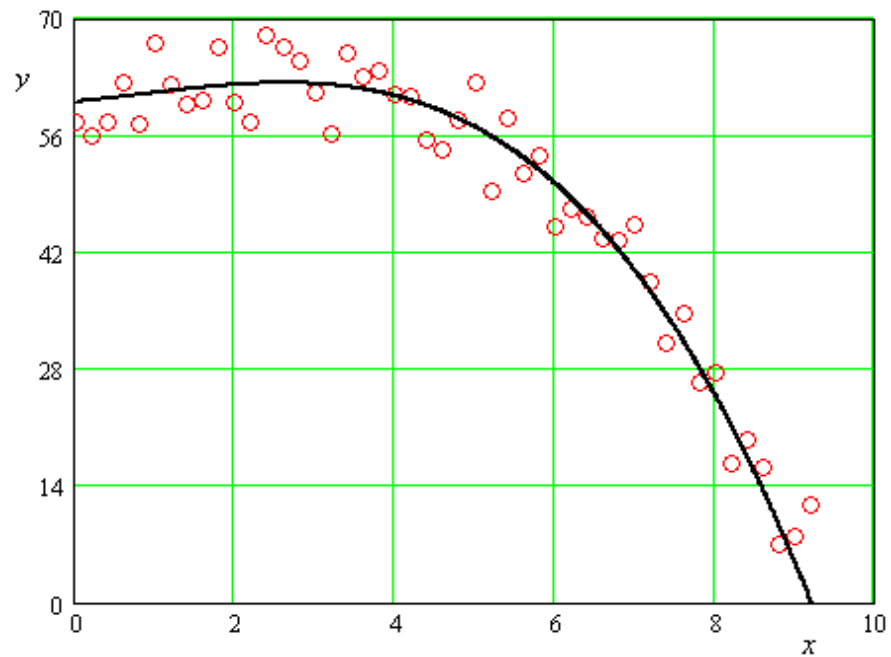


Рис. 2.6. Кубічна регресія

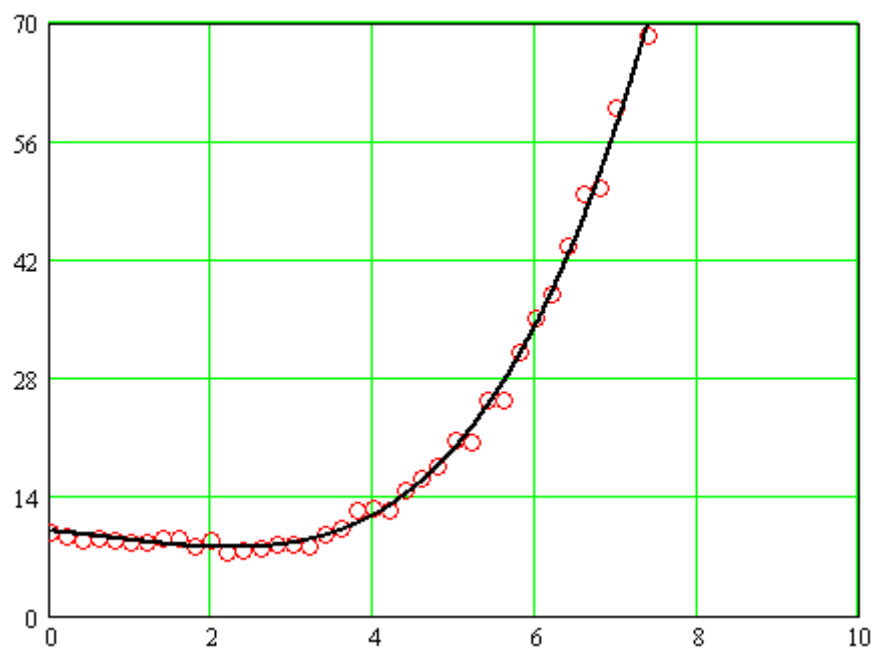


Рис. 2.7. Регресія четвертого порядку

2.2. Методика визначення термомеханічних залежностей

Для проведення експериментальних досліджень використовувалась експериментальна установка кафедри Технологій та дизайну Української інженерно-педагогічної академії.

Досліджуваний матеріал 1 (рис.2.8) розміщується в нагрівальному циліндрі 2. За допомогою захвату 3 до зразка закріплена вага 4, яка розтягує матеріал.

Подовження зразка реєструється за допомогою індикатора 5. Температура визначається термометром (на рисунку не показаний). При нагріванні відмічається температура і відповідне переміщення захвата.

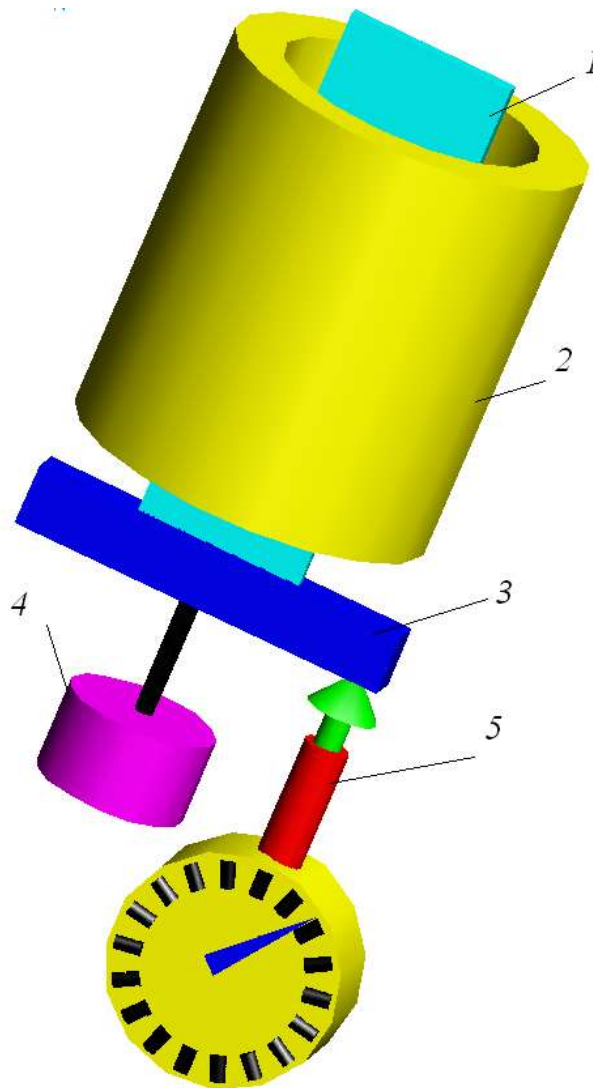


Рис. 2.8. Експериментальна установка

2.3 Визначення рівнянь регресії для реальних термомеханічних залежностей

2.3.1. Аналіз експериментальних залежностей.

Розглянемо найбільш типові термомеханічні залежності. Перший тип характеризується двома досить великими ділянками, які близькі до горизонталей. Такі залежності характерні для матеріалів з певним складом синтетичних волокон, що дають закономірності, близькі до запропонованих в попередньому розділі.

Так, наприклад один з матеріалів, що підлягав дослідженню показав таку

залежність подовження від температури (див. рис. 2.9).

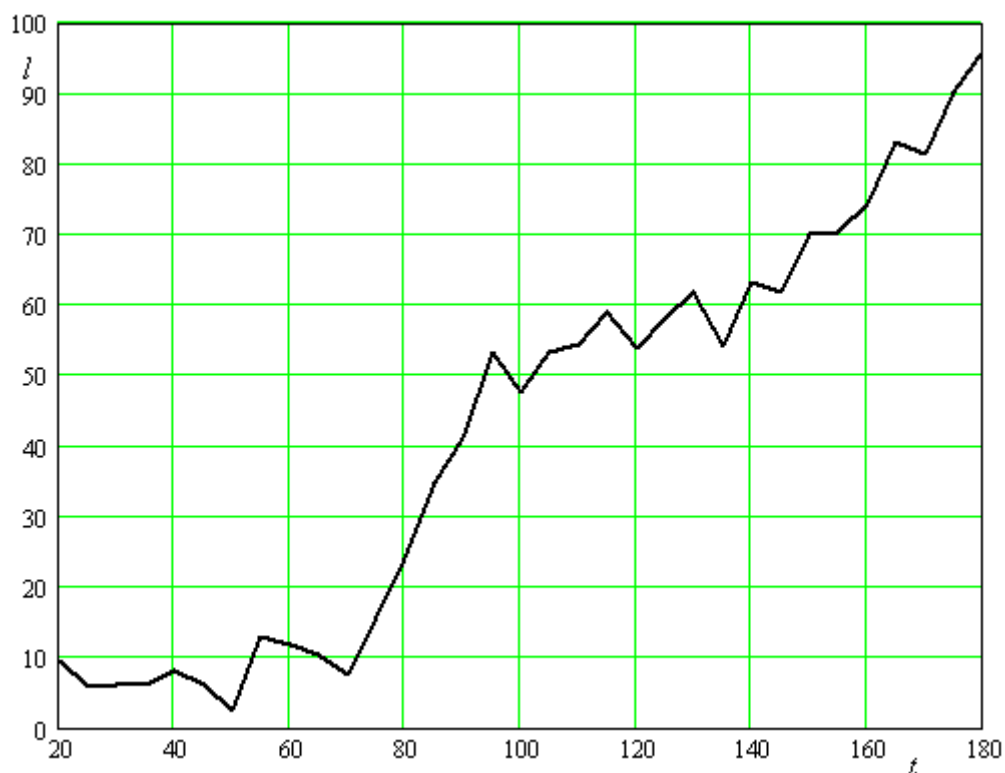


Рис. 2.9. Залежність подовження від температури

Залежність побудована не дуже вдало, бо в такому вигляді вона не явно характеризує криву, що необхідно побудувати. Перебудуємо її у вигляді точкової діаграми (рис. 2.10).

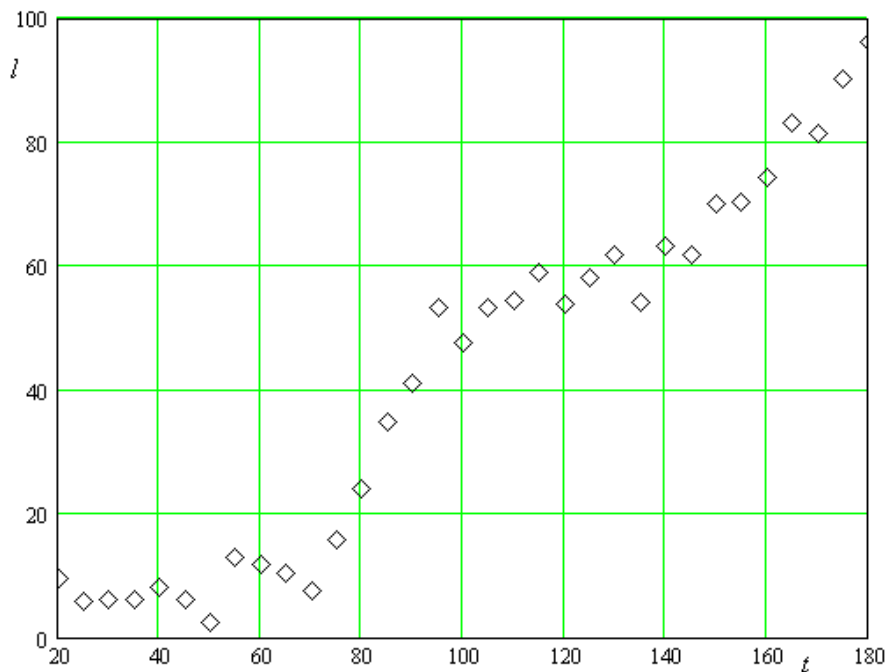


Рис. 2.10. Точкова діаграма залежності довжини від температури

Діаграма носить досить складний геометричний вигляд і навряд чи може бути описана простим виразом. Між тим, спробуємо зробити найпростіший підбір функції у вигляді лінійної залежності подовження від температури:

$$\Delta l = a + b \cdot t$$

Невідомі коефіцієнти будемо шукати наведеними вище засобами. Якщо будемо використовувати середовище Маткад, ці коефіцієнти знаходимо за допомогою функції:

$$AL := \text{line}(T, L) = \left(\begin{pmatrix} -21.668 \\ 0.65 \end{pmatrix} \right)$$

Після використання якої можна записати:

$$\Delta l = -21,668 + 0,65 \cdot t$$

Ця залежність відображена на рис. 2.11.

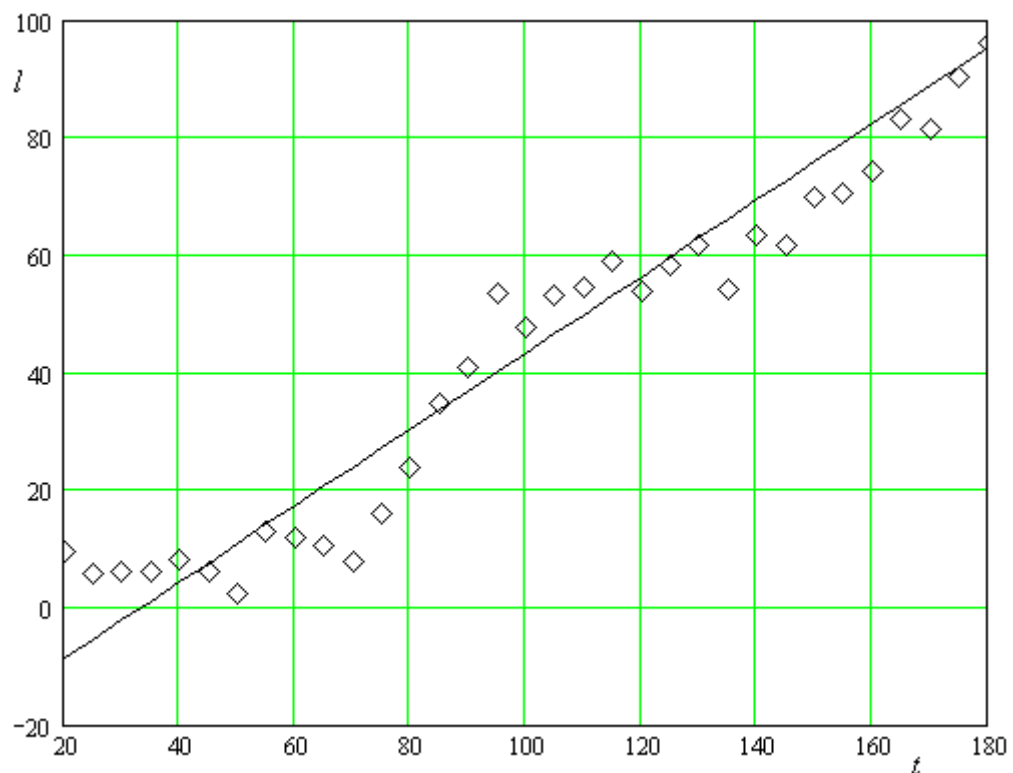


Рис. 2.11. Однолінійна лінія регресії для першого матеріалу

Цілком очевидно, що знайдена залежність дуже далеко відповідає реальній термомеханічній залежності.

2.3.2. Апроксимація кривої лінійними ділянками

Якщо спробувати залишатися в межах лінійних регресій, спробуємо піти іншим шляхом. Уважно дослідивши експериментальну залежність, цілком реально можна виділити чотири ділянки. Одна з них відображує пружне становище матеріалу, друга – перехід від пружного до вискоеластичного стану, третя – подовжений вискоеластичний стан, четверта – в'язкотекучий стан матеріалу.

Спробуємо у межах кожної ділянки знайти лінійну регресійну залежність.

Тоді перша ділянка займає для даного експерименту приблизно 11 значень температур і подовжень, що їм відповідають. Використаємо метод лінійної регресії в середовищі Маткад. Одержимо:

$$AL0 := \text{line}(T0, L0) = \left(\begin{pmatrix} 5.072 \\ 0.063 \end{pmatrix} \right) ,$$

що дає рівняння регресії у вигляді:

$$\Delta l_1 = 5,072 + 0,063 \cdot t .$$

Загальний вигляд експериментальних точок і графіка регресії для цієї ділянки має вигляд (див. рис. 2.12).

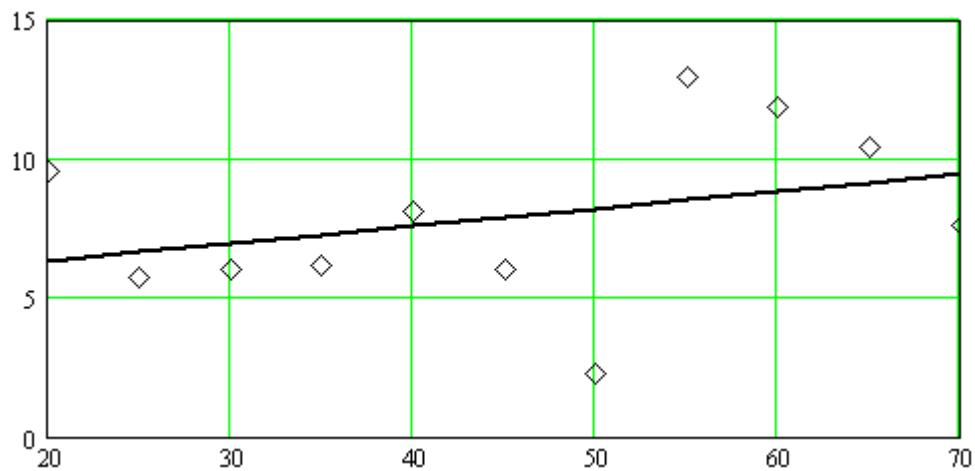


Рис. 2.12. Перша ділянка для першого матеріалу

Друга ділянка займає період з одинадцятої до шістнадцятої експериментальної точки. Коефіцієнти регресії, знайдені в середовищі Маткад одержуються у вигляді:

$$AL1 := \text{line}(T1, L1) = \begin{pmatrix} -87.521 \\ 1.438 \end{pmatrix} ,$$

тобто рівняння регресії для цієї ділянки має вигляд:

$$\Delta l_2 = -87,521 + 1,438 \cdot t .$$

Графік залежності для другої ділянки представлений на рис. 2.13.

Аналогічно шукається залежність для третьої ділянки. Це – слабо нахилена ділянка, що включає вискоеластичний стан матеріалу. Для загальної експериментальної залежності це точки в діапазоні від сімнадцятої до тридцять п'ятої. Використання функції Маткад для цієї ділянки дає:

$$AL2 := \text{line}(T2, L2) = \left(\begin{pmatrix} 27.747 \\ 0.228 \end{pmatrix} \right) ,$$

тобто рівняння регресії для цієї ділянки має вигляд:

$$\Delta l_3 = 27,747 + 0,228 \cdot t .$$

Графік залежності для третьої ділянки представлений на рис. 2.14.

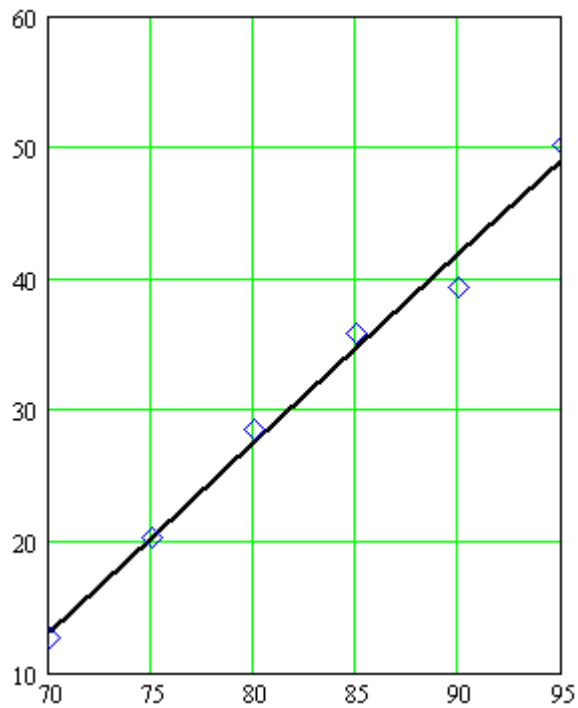


Рис. 2.13. Друга ділянка для першого матеріалу

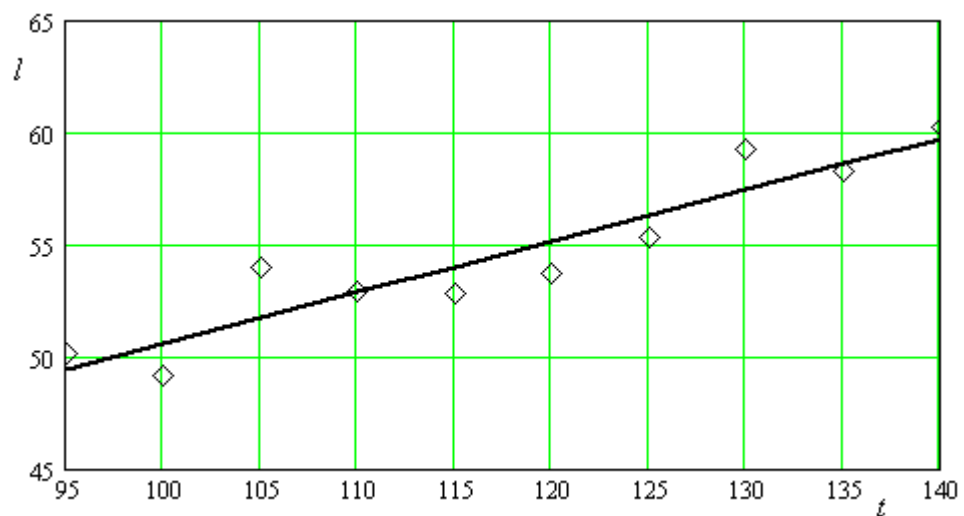


Рис. 2.14. Третя ділянка для першого матеріалу

Четверта ділянка включає експериментальні точки, що залишились. При використанні середовища Маткад, одержуємо:

$$AL3 := \text{line}(T3, L3) = \left(\begin{pmatrix} -48.191 \\ 0.783 \end{pmatrix} \right),$$

тобто лінія на цій ділянці може бути записана виразом:

$$\Delta l_4 = -48,191 + 0,783 \cdot t.$$

Якщо всі ці чотири рівняння використати для побудови графіка, одержимо сімейство з чотирьох ліній, що перетинаються (рис. 2.15).

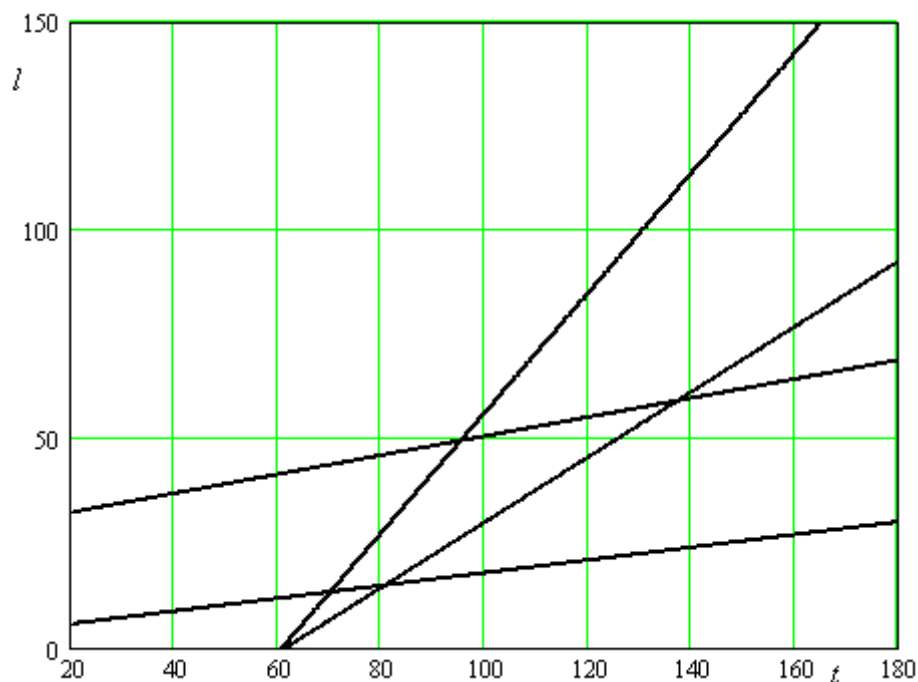


Рис. 2.15. Сімейство ліній регресії

Для визначення загальної закономірності залежності подовження від температури необхідно знайти точки перетинання суміжних ділянок термомеханічної діаграми. Ці точки будемо шукати з умови рівності подовжень на суміжних ділянках. Так для точки, що сполучає першу і другу ділянки ця умова буде мати вигляд:

$$\Delta l_1 = 5,072 + 0,063 \cdot t = \Delta l_2 = -87,521 + 1,438 \cdot t$$

Ця умова дасть точку перетинання першої і другої ділянки:

$$t_1 = \frac{87,521 + 5,072}{1,438 - 0,063} = 67,34^\circ$$

Для точки, що сполучає другу і третю ділянки умова їх перетинання може бути записана у вигляді:

$$\Delta l_2 = -87,521 + 1,438 \cdot t = \Delta l_3 = 27,747 + 0,228 \cdot t$$

Ця умова дає точку перетинання другої і третьої ділянки:

$$t_2 = \frac{87,521 + 27,747}{1,438 - 0,228} = 95,26^\circ$$

Для точки, що сполучає четверту і третю ділянки умова їх перетинання може бути записана у вигляді:

$$\Delta l_3 = 27,747 + 0,228 \cdot t = \Delta l_4 = -48,191 + 0,783 \cdot t$$

Ця умова дає точку перетинання четвертої і третьої ділянки:

$$t_3 = \frac{48,191 + 27,747}{0,783 - 0,228} = 136,8^\circ$$

При таких умовах загальна функція подовжень в залежності від температури

ри може бути записана у вигляді:

$$\Delta l = \begin{cases} 5,072 + 0,063 \cdot t, t < 67,34 \\ -87,521 + 1,438 \cdot t, 67,34 < t < 95,26 \\ 27,747 + 0,228 \cdot t, 95,26 < t < 136,8 \\ -48,191 + 0,783 \cdot t, t > 136,8 \end{cases}$$

Ця залежність може бути виражена графічно (рис. 2.16), якщо записати функція в Маткаді у вигляді:

$$gg(x) := \text{if}(x < 69.84, gl0(x), \text{if}(x < 95.2, gl1(x), \text{if}(x < 136.8, gl2(x), gl3(x))))$$

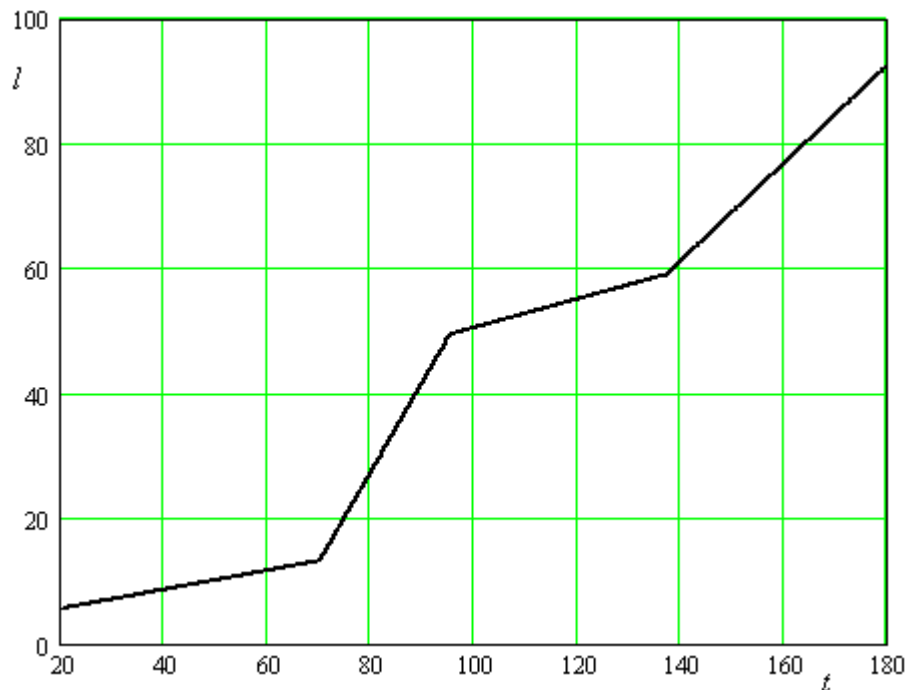


Рис. 2.16. Графік залежності, замінений чотирма лініями регресій

Зіставлення цього графіка з експериментальними даними див. на рис. 2.17.

Відомо, що реальну поведінку матеріалу характеризує не його абсолютна довжина, а відносна деформація, що дорівнює відношенню абсолютного подовження до початкової довжини. Крім того, деформації повинні змінюватись, пропорційно до сили навантаження.

В цих умовах рівняння, що характеризує термомеханічні характеристики матеріалу може бути записане у вигляді:

$$\Delta l = \frac{F}{250} \begin{cases} 5,072 + 0,063 \cdot t, t < 67,34 \\ -87,521 + 1,438 \cdot t, 67,34 < t < 95,26 \\ 27,747 + 0,228 \cdot t, 95,26 < t < 136,8 \\ -48,191 + 0,783 \cdot t, t > 136,8 \end{cases}$$

Для одиничної сили залежність представлена на рис. 2.18.

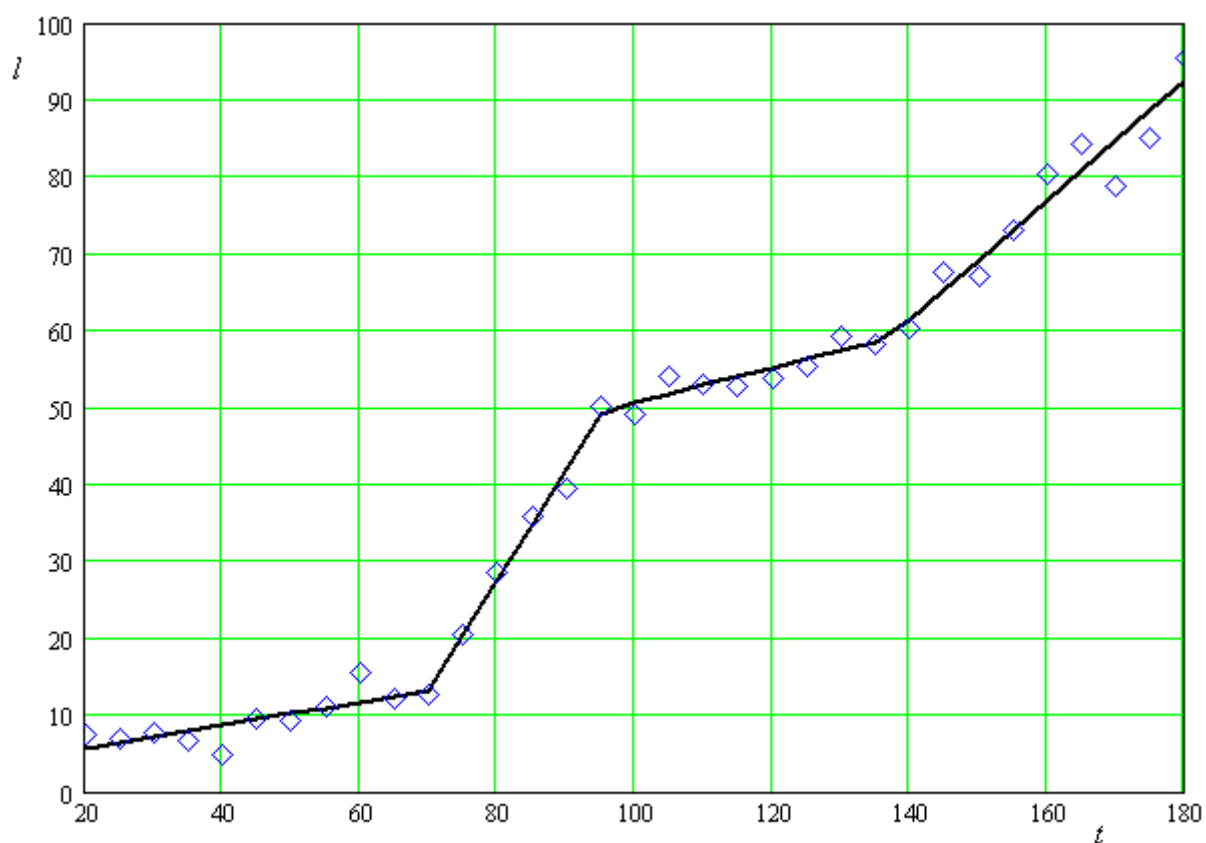


Рис. 2.17. Зіставлення експериментальних точок з лініями регресій

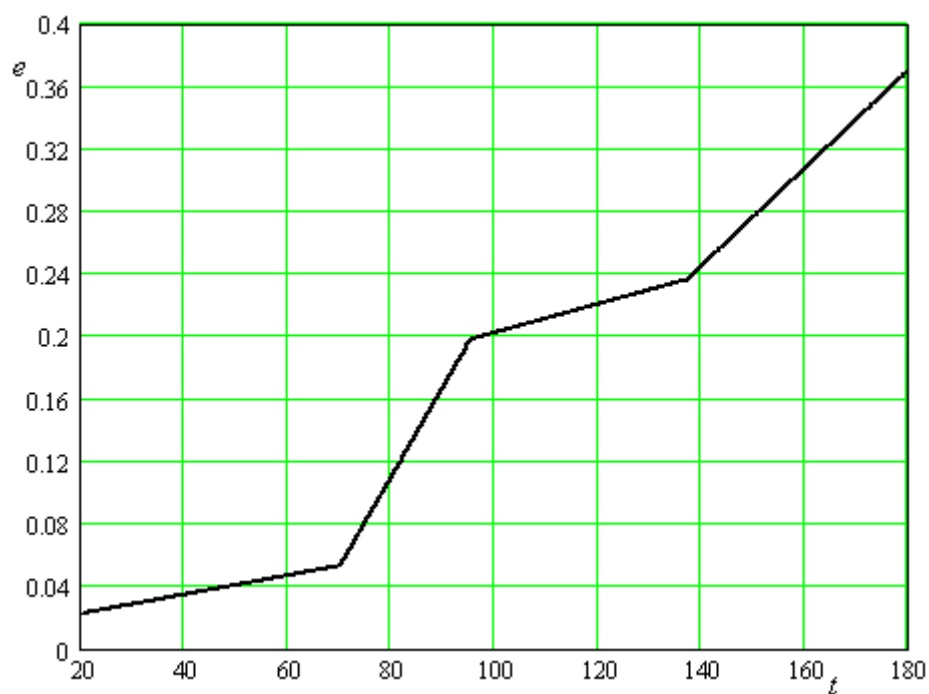


Рис. 2.18. Термомеханічна характеристика для одиначної сили

Якщо побудувати залежності при різних значеннях сили, одержимо сімейство характеристик (рис. 2.19).

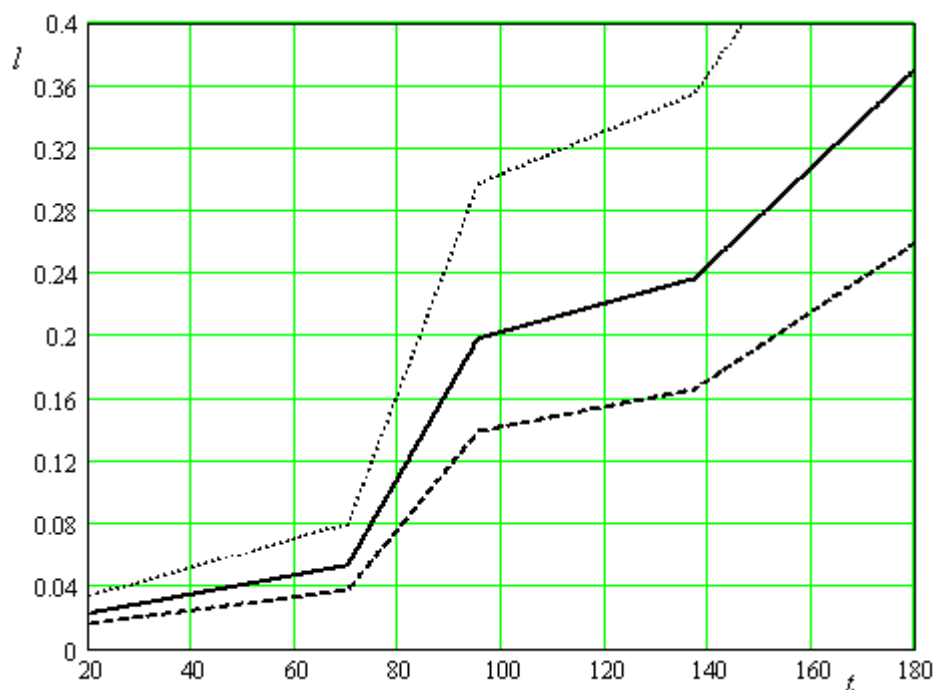


Рис. 2.19. Сімейство термомеханічних характеристик

Ці залежності характеризують поведінку текстильних матеріалів під навантаженням при нагріванні. Використовуючи їх, можна визначити, яке подовження буде мати матеріал, якщо його навантажити силою і нагріти до певної температури.

Для технологічних цілей при визначенні параметрів волого-теплової обробки нас цікавить зворотна мета – нам звичайно необхідно визначити необхідну температуру і силу для забезпечення виконання процесу волого-теплової обробки, яке, частіше всього визначає необхідність надання матеріалу певної деформації.

Якщо враховувати цю мету, вихідну діаграму необхідно перебудувати в інших координатах, тобто побудувати залежність температури від подовження (рис. 2.20).

На перший погляд ця залежність ще більш неприємна, ніж пряма, незрозуміло, яким чином її апроксимувати. Для спрощення одержаних даних побудуємо залежність у вигляді ряду точок (рис. 2.21).

Насправді для цієї діаграми вигідно брати нелінійну апроксимацію. Цією задачею займемося трохи пізніше. А зараз підемо випробуванням шляхом і розглянемо чотири ділянки, кількість точок яких візьмемо таку ж, як і в випадку побудови діаграми залежності подовження від температури.

Для першої, ділянки, нагадуємо входить одинадцять точок. Для них використовуємо знайому нам функцію Маткаду, в якій міняємо місцями аргументи.

Одержуємо:

$$AT0 := \text{line}(L0, T0) = \left(\begin{pmatrix} 5.204 \\ 4.232 \end{pmatrix} \right),$$

Тобто, залежність температури від подовження на першій ділянці можна записати у вигляді:

$$t_1 = 5,204 + 4,232 \cdot \Delta l.$$

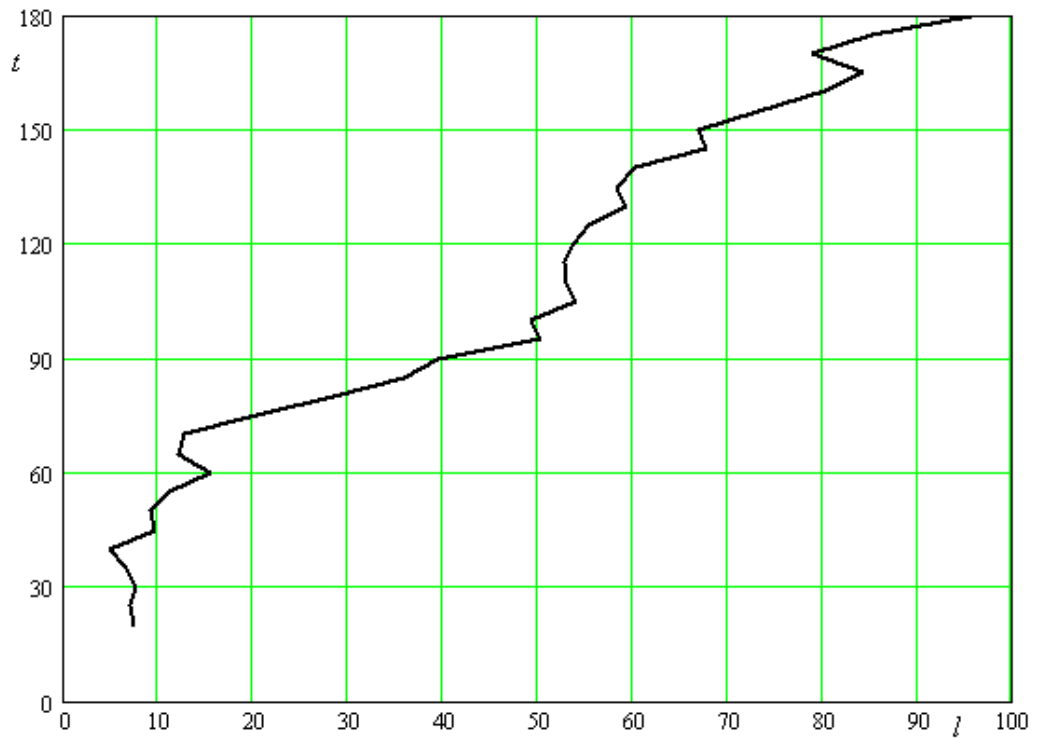


Рис. 2.20. Експериментальна залежність температури від подовження

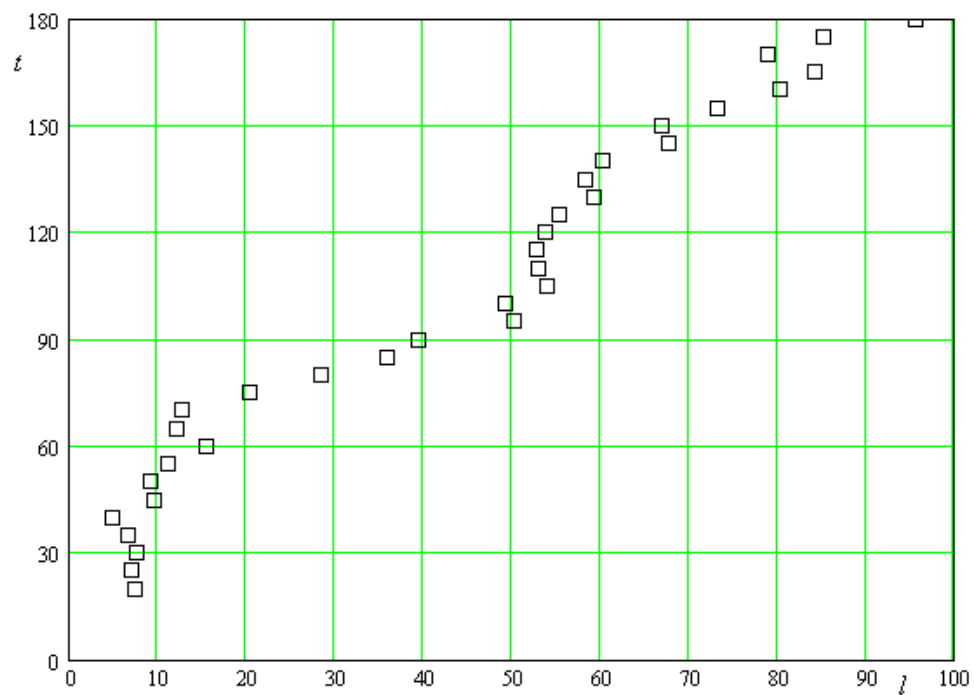


Рис. 2.21. Точкова діаграма залежності температури від подовження

Залежність температури від подовження на першій ділянці має вигляд, наведений на рис. 2.22.

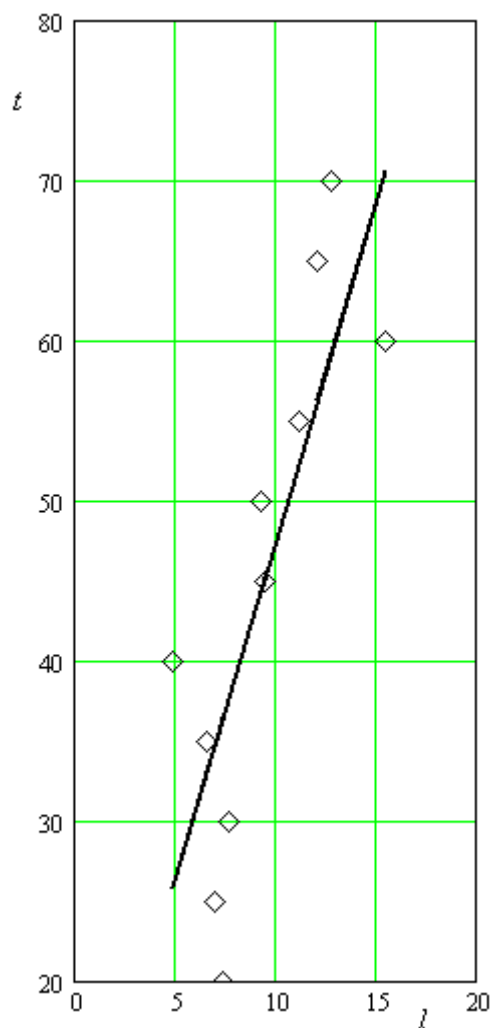


Рис. 2.22. Залежність температури від подовження на першій ділянці

На другій ділянці, що включає шість точок рівняння регресії визначається функцією Маткад:

$$AT1 := \text{line}(L1, T1) = \left(\begin{pmatrix} 61.078 \\ 0.688 \end{pmatrix} \right),$$

тобто може бути записаний виразом:

$$t_2 = 61,078 + 0,688 \cdot \Delta l$$

Залежність температури від подовження на другій ділянці зображена на рис. 2.23. При аналізі графіка відзначимо, що експериментальні точки більш щільно прилягають до шуканої прямої регресії.

Виконуємо ті ж самі дії для третьої ділянки. Для неї функція Маткад дає значення:

$$AT2 := \text{line}(L2, T2) = \left(\begin{pmatrix} -91.298 \\ 3.826 \end{pmatrix} \right),$$

Залежність для температури на третій ділянці записуємо у вигляді залежності:

$$t_3 = -91,298 + 3,826 \cdot \Delta l.$$

Залежність температури від подовження на третій ділянці зображена на рис. 2.24.

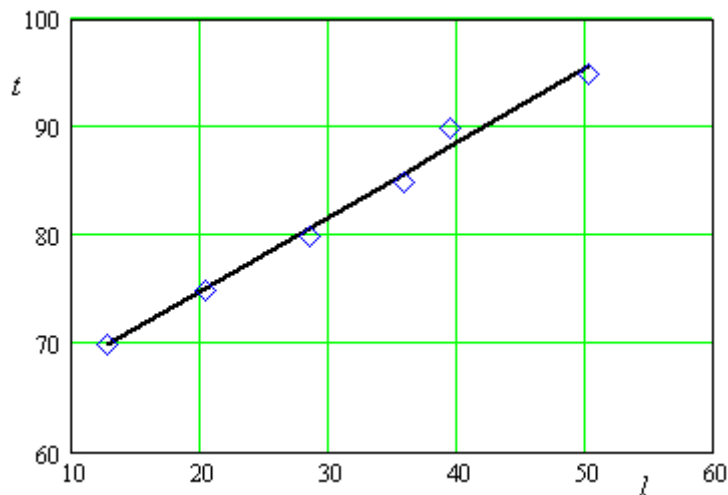


Рис. 2.23. Залежність температури від подовження на другій ділянці

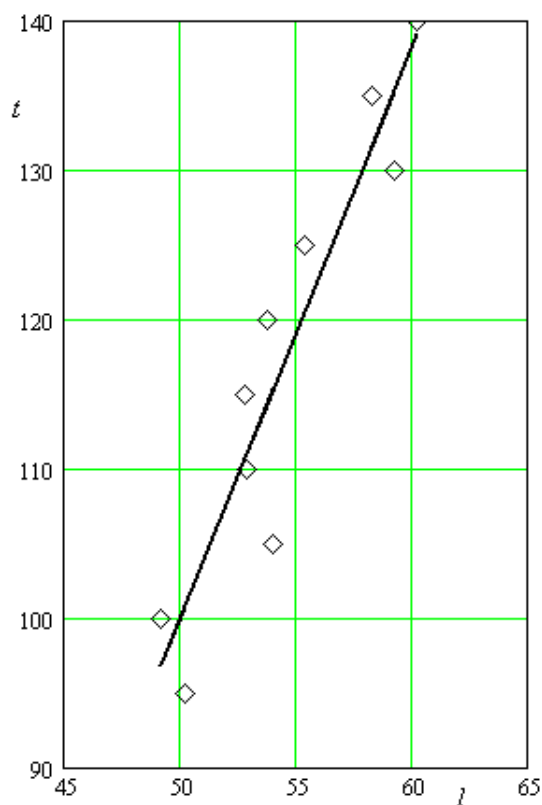


Рис. 2.24. Залежність температури від подовження на третій ділянці

Аналогічно поступаємо на четвертій ділянці. Для неї використовуємо ті точки, що залишилися. Функція Маткад дає значення:

$$AT3 := \text{line}(L3, T3) = \left(\begin{pmatrix} 68.416 \\ 1.191 \end{pmatrix} \right),$$

Це означає, що на четвертій ділянці можна записати залежність від подовження у вигляді:

$$t_4 = 68,416 + 1,191 \cdot \Delta l.$$

Залежність для четвертої ділянки наведена на рис. 2.25.

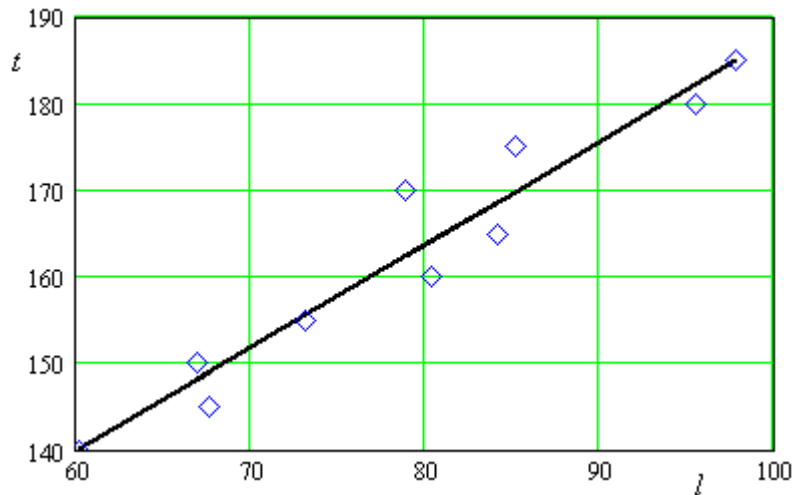


Рис. 2.25. Залежність температури від подовження на четвертій ділянці

Об'єднання регресійних залежностей для чотирьох ділянок дає сімейство регресійних прямих. Показаних на рис. 2.26.

Для знаходження реальної залежності треба відшукати точки перетинання суміжних ліній регресії. Для першої точки перетинання зіставляємо рівняння для першої та другої ділянки:

$$t_1 = 5,204 + 4,232 \cdot \Delta l = t_2 = 61,078 + 0,688 \cdot \Delta l.$$

Звідки знаходимо значення подовження, що відповідає даній точці:

$$\Delta l_1 = \frac{61,078 - 5,204}{4,232 - 0,688} = 16.$$

Точку перетинання другої і третьої ділянки знаходимо з умови:

$$t_2 = 61,078 + 0,688 \cdot \Delta l = t_3 = -91,298 + 3,826 \cdot \Delta l.$$

Звідки знаходимо значення подовження, що відповідає даній точці:

$$\Delta l_2 = \frac{61,078 + 91,298}{3,826 - 0,688} = 48,55$$

Співставлення рівнянь регресій на третій та четвертій ділянці дає точку їх перетинання:

$$t_3 = -91,298 + 3,826 \cdot \Delta l = t_4 = 68,416 + 1,191 \cdot \Delta l$$

Звідки знаходимо значення подовження, що відповідає даній точці:

$$\Delta l_3 = \frac{68,416 + 91,298}{3,826 - 1,191} = 60,6.$$

У цьому випадку загальна залежність температури від подовження зразка може бути записана у вигляді:

$$t_1 = 5,204 + 4,232 \cdot \Delta l = t_2 = 61,078 + 0,688 \cdot \Delta l$$

$$t = \begin{cases} 5,204 + 4,232 \cdot \Delta l, \Delta l < 16 \\ 61,078 + 0,688 \cdot \Delta l, 16 < \Delta l < 48,55 \\ -91,298 + 3,826 \cdot \Delta l, 48,55 < \Delta l < 60,6 \\ 68,4 + 1,191 \cdot \Delta l, \Delta l > 60,6 \end{cases}$$

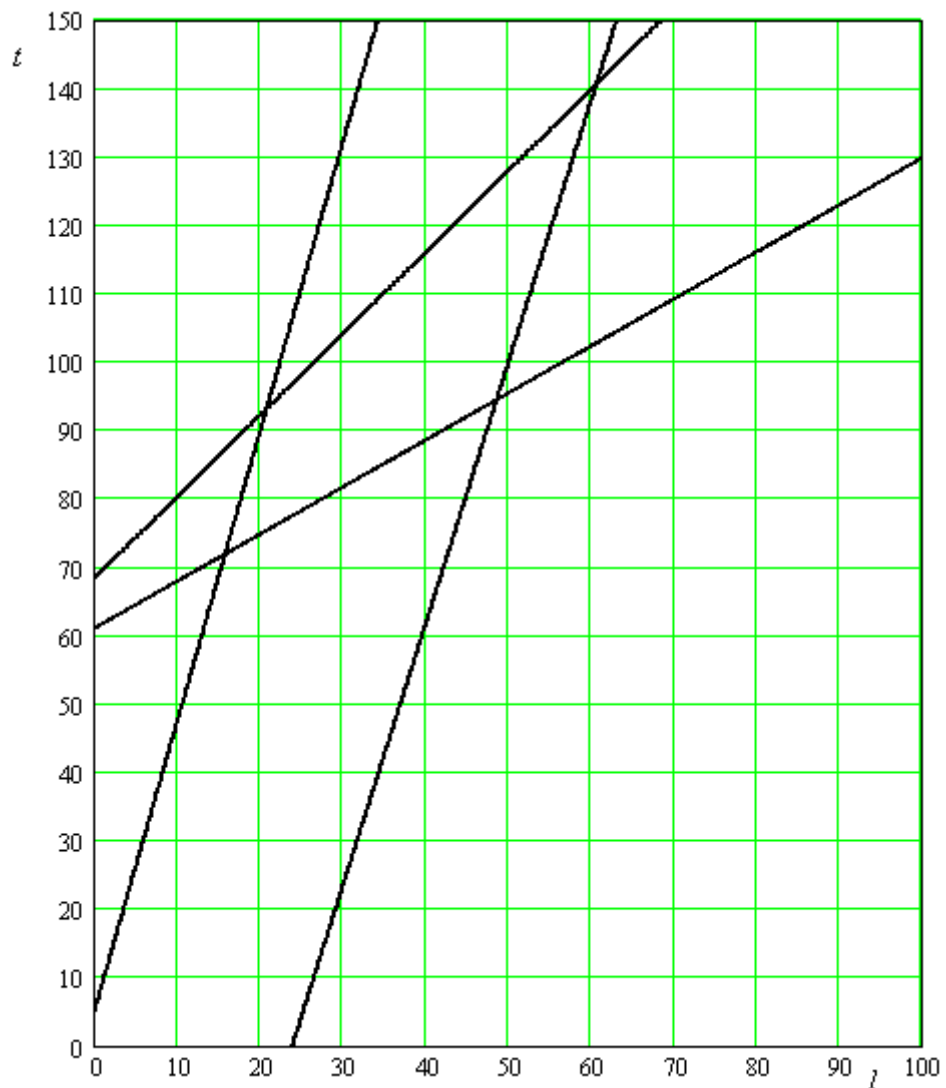


Рис. 2.26. Сімейство регресійних прямих залежності температури від довжини

Регресійна залежність температури від подовження представлена на рис. 2.27.

Співставлення одержаної регресійної залежності і експериментальних точок наведено на рис. 2.28.

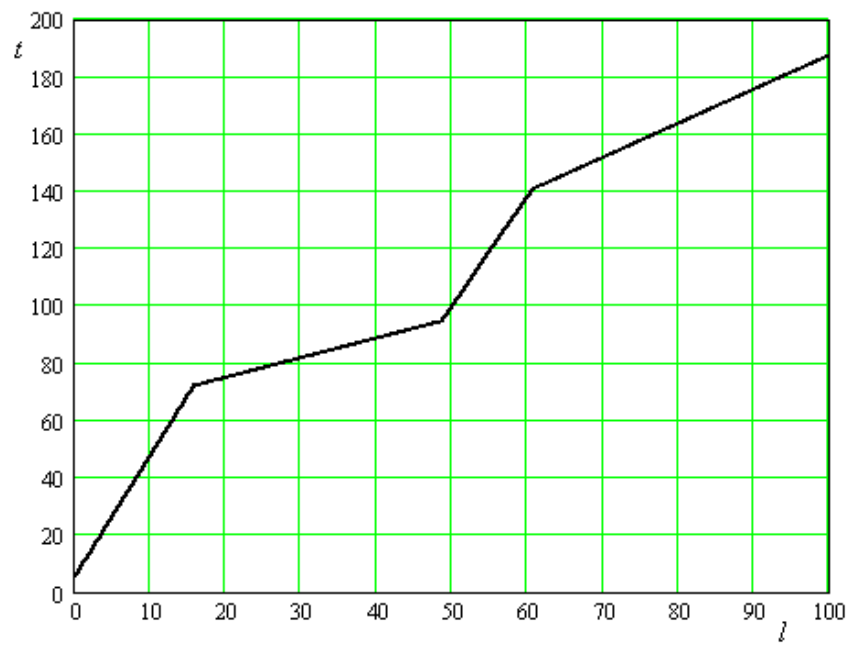


Рис. 2.27. Регресійна залежність температури від подовження

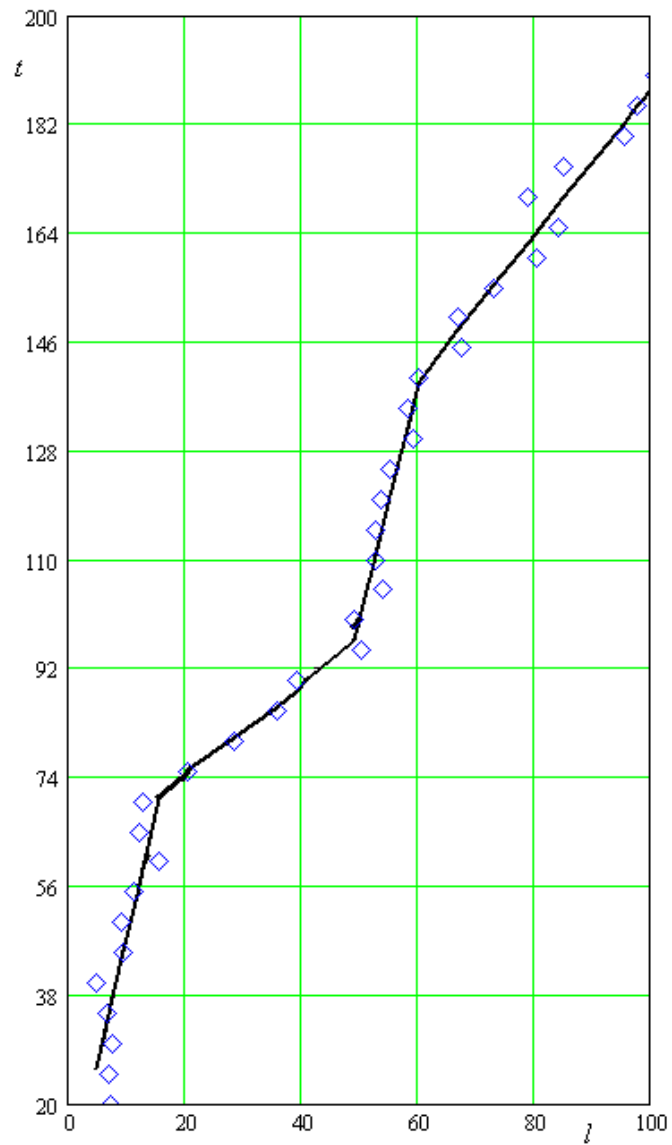


Рис. 2.28. Співставлення експериментальних точок з регресійним рівнянням

Перепишемо залежність температури від деформації у відносних одиницях, тобто залежність від відносної деформації.

Тоді відносна деформація в першій точці:

$$e_1 = \frac{\Delta l_1}{l_0} = \frac{16}{250} = 0,064$$

Відносна деформація у другій точці:

$$e_2 = \frac{\Delta l_2}{l_0} = \frac{48,55}{250} = 0,194$$

Відносна деформація у третій точці:

$$e_3 = \frac{\Delta l_3}{l_0} = \frac{60,6}{250} = 0,242$$

Тоді вираз можна переписати у вигляді

$$t = \begin{cases} 5,204 + 1058 \cdot e, & e < 0,064 \\ 61,078 + 172 \cdot e, & 0,064 < e < 0,194 \\ -91,298 + 956 \cdot e, & 0,194 < e < 0,242 \\ 92,4 + 195,75 \cdot e, & e > 0,242 \end{cases}$$

Термомеханічна залежність температури від деформації наведена на рис. 2.29.

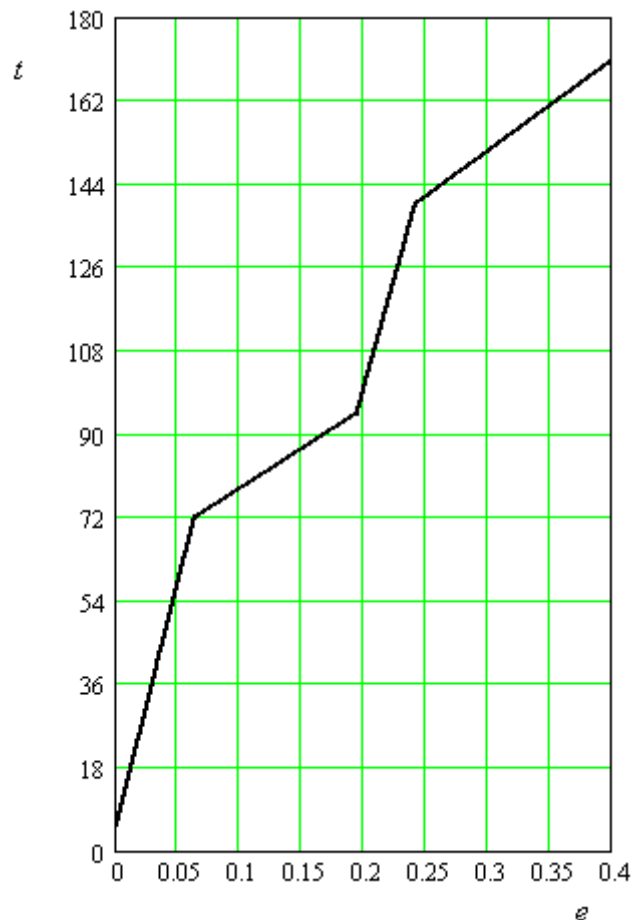


Рис. 2.29. Термомеханічна залежність температури від деформації

Якщо враховувати сили, що прикладаються до матеріалу, вираз для температури буде мати вигляд:

$$t = \begin{cases} 5,204 + 1058 \cdot F \cdot e, e < 0,064/F \\ 61,078 + 172 \cdot F \cdot e, 0,064/F < e < 0,194/F \\ -91,298 + 956 \cdot F \cdot e, 0,194/F < e < 0,242/F \\ 92,4 + 195,75 \cdot F \cdot e, e > 0,242/F \end{cases}$$

Сімейство термомеханічних кривих, що характеризує дану залежність для різних сил наведена на рис. 2.30.

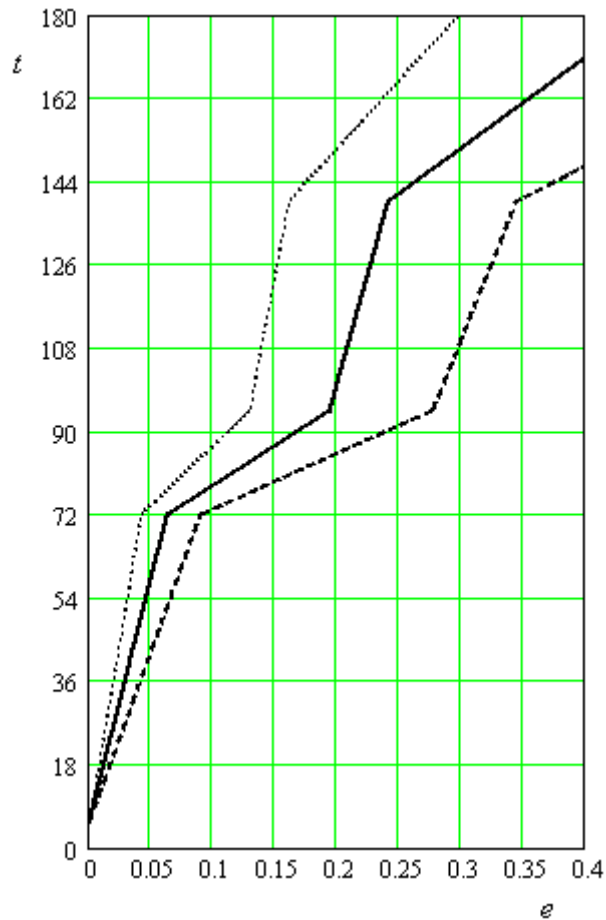


Рис. 2.30. Сімейство регресійних залежностей температури від деформації

Використовуючи дані залежності, можна знаходити необхідну температуру для забезпечення заданого рівня деформацій.

2.3.3. Описання термомеханічних залежностей двома ділянками

Між тим слід відзначити, що одержані залежності мають досить складну структуру, що не в повній мірі задовольняють вимогам технологічного процесу.

Спробуємо проаналізувати залежність у вигляді двох гілок квадратичних парабол.

Для створення першої гілки аналізуємо перші шістнадцять точок, які су-

місно складають дві перших ділянки, що характерні для аналізу методами лінійної регресії. Скористуємося відповідними функціями середовища Маткаду:

```
k := 2
```

```
i0 := 0..15
```

```
T0i0 := Ti0      L0i0 := Li0
```

```
z := regress(T0,L0,k)
```

```
fit(x) := interp(z,T0,L0,x)
```

```
coeffs := submatrix(z,3,length(z) - 1,0,0)
```

```
coeffsT = ( 23.848   -0.964   0.013 )
```

Відповідно цим результатам шукана функція буде мати вигляд:

$$\Delta l_1 = 23,848 - 0,964 \cdot t + 0,013 \cdot t^2$$

Вона може бути зображена графічно (рис. 2.31).

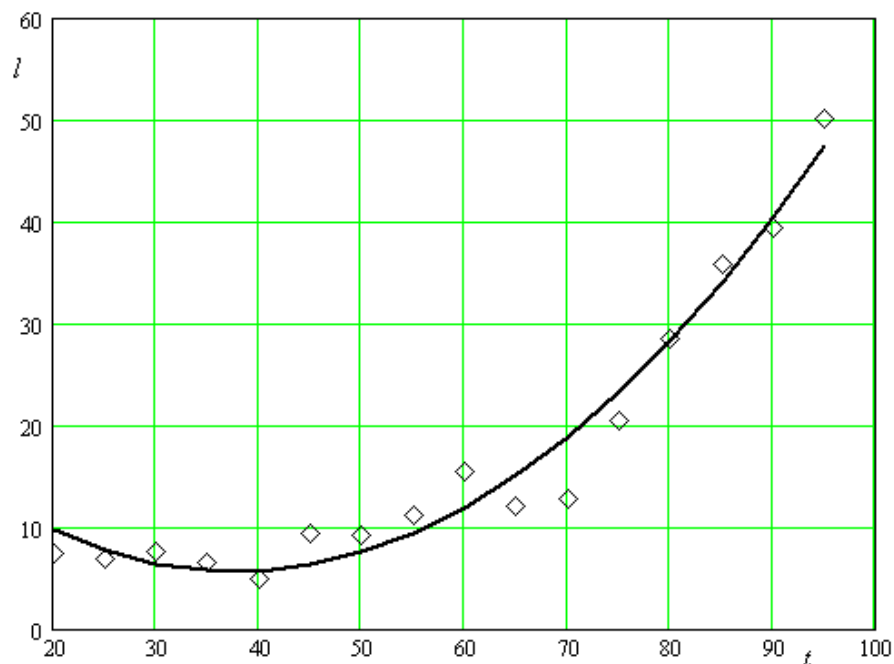


Рис. 2.31. Регресійна залежність першої ділянки у вигляді квадратичної параболи

На графіку функції з'являється екстремум, що суперечить фізичному сенсу. Спробуємо апроксимувати цю залежність кривою більш високого порядку.

У випадку використання кубічної залежності програма у Маткаді зміниться незначним чином і буде мати вигляд:

k := 3

i0 := 0..15

T0_{i0} := T_{i0} L0_{i0} := L_{i0}

z := regress(T0,L0,k)

fit(x) := interp(z,T0,L0,x)

coeffs := submatrix(z,3,length(z) - 1,0,0)

$$\text{coeffs}^T = (1.461 \quad 0.519 \quad -0.016 \quad 1.653 \times 10^{-4}) ,$$

Тобто залежність буде мати вигляд

$$\Delta l_1 = 1,461 + 0,519 \cdot t - 0,016 \cdot t^2 + 1,653 \times 10^{-4} \cdot t^3.$$

Графічно це можна представити рис. 2.32.

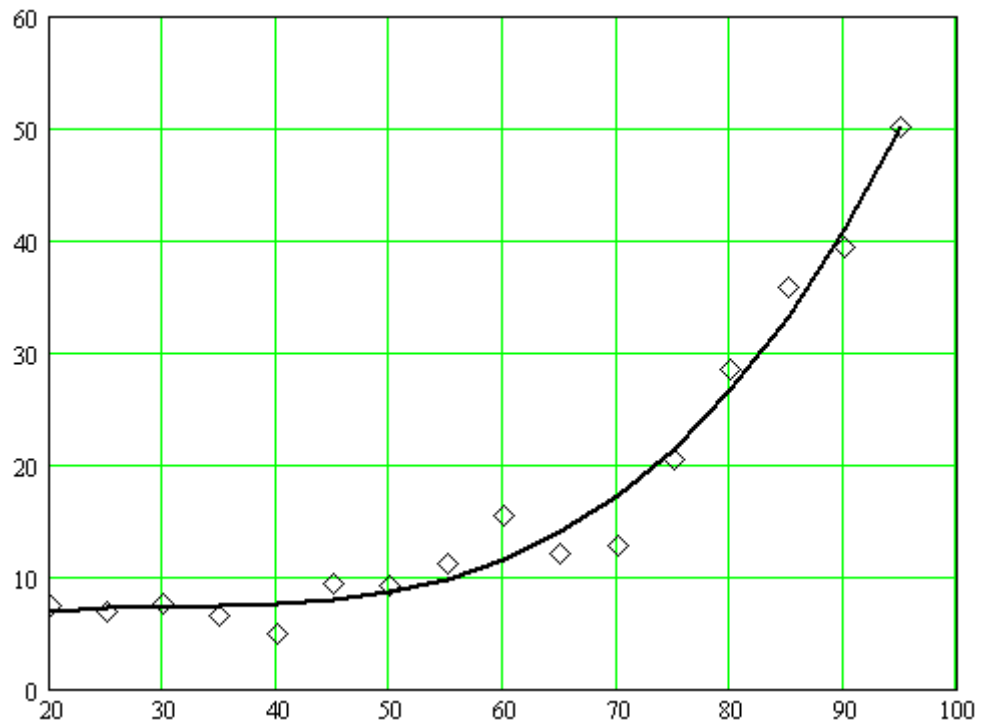


Рис. 2.32. Регресійна залежність першої ділянки у вигляді кубічної параболи

З наведених залежностей можна зробити два висновки. Перший – лінія кубічної регресії досить добре відповідає поведінці матеріалу на перших двох ділянках. Другий – коефіцієнти кубічної регресії розмірні і незручні для використання. Для покращання цього становища введемо безрозмірні координати.

$$\tau = \frac{t}{t_{\max}}, \quad e = \frac{\Delta l}{l_0}.$$

Експериментальна крива, перебудована в означених координатах, буде мати вигляд наведений на рис. 2.33.

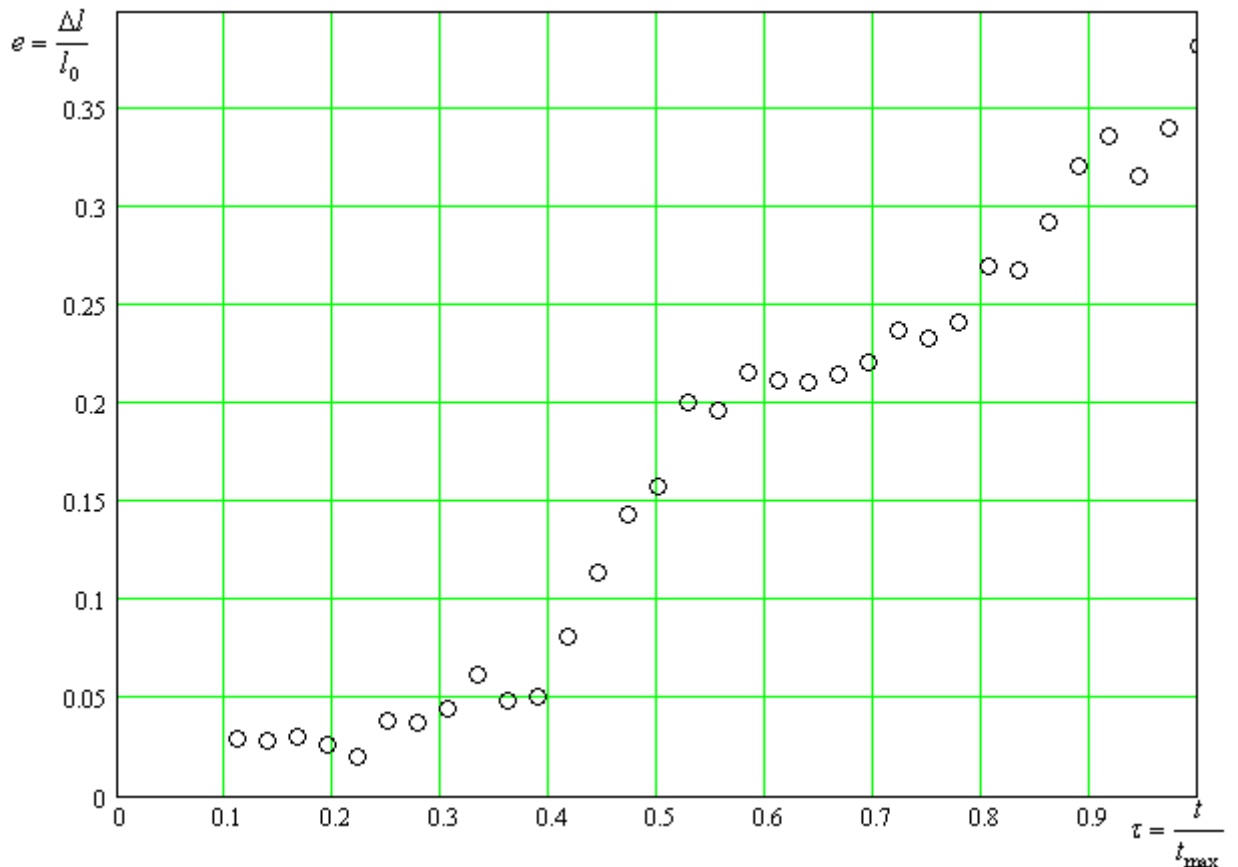


Рис. 2.33. Експериментальна залежність в безрозмірних координатах

Перша ділянка у безрозмірних координатах описується кубічним рівнянням, коефіцієнти якого визначаються функцією Маткад:

$$\text{coefs}^T = (5.843 \times 10^{-3} \quad 0.373 \quad -2.044 \quad 3.857) \blacksquare$$

Тобто,

$$e_1 = 0,0058 + 0,373 \cdot \tau - 2,044 \cdot \tau^2 + 3,857 \cdot \tau^3$$

Кубічна регресійна залежність перших двох ділянок представлена на рис. 2.34.

Визначаємо вигляд кривої для останніх ділянок. Апроксимація квадратною параболою в Маткаді дає:

$$\text{coef}^T = (0.36 \quad -0.65 \quad 0.657) \blacksquare$$

Тобто рівняння має вигляд

$$e_2 = 0,36 - 0,65 \cdot \tau + 0,657 \cdot \tau^2$$

Графічно друга ділянка виражається рис. 2.35.

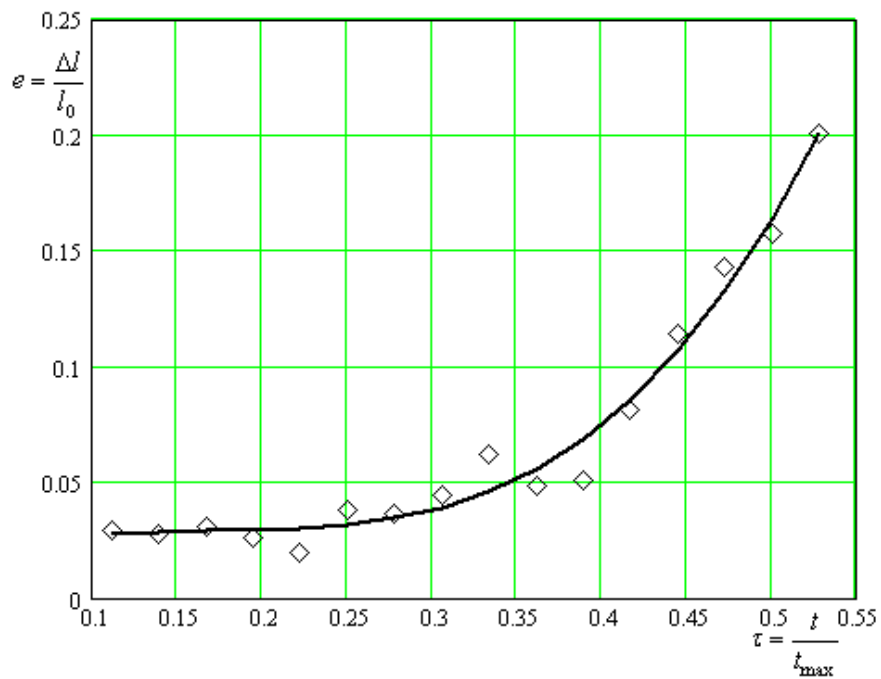


Рис. 2.34. Кубічна регресійна залежність перших двох ділянок

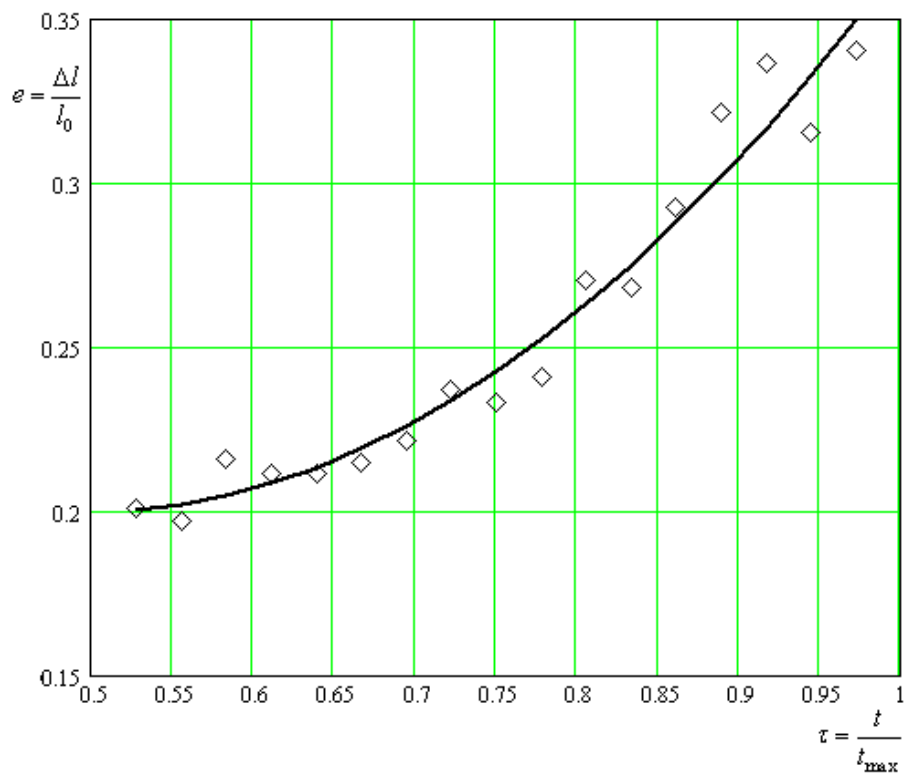


Рис. 2.35. Квадратична регресія другої ділянки

Для знаходження точки переходу від першої ділянки до другої треба визначити умову рівності деформацій першої і другої ділянок.

$$e_1 = 0,0058 + 0,373 \cdot \tau - 2,044 \cdot \tau^2 + 3,857 \cdot \tau^3 = e_2 = 0,36 - 0,65 \cdot \tau + 0,657 \cdot \tau^2$$

Зазначена умова не розв'язується точно. Приблизний розв'язок засобами комп'ютерної техніки дає значення точки перетину $\tau = 0,52$.

В цих умовах термомеханічна крива описується рівнянням

$$e = \begin{cases} 0,0058 + 0,373 \cdot \tau - 2,044 \cdot \tau^2 + 3,857 \cdot \tau^3, \tau < 0,52 \\ 0,36 - 0,65 \cdot \tau + 0,657 \cdot \tau^2, \tau > 0,52 \end{cases}.$$

При використанні цього рівняння маємо графічне зображення функції, зображеної на рис. 2.36.

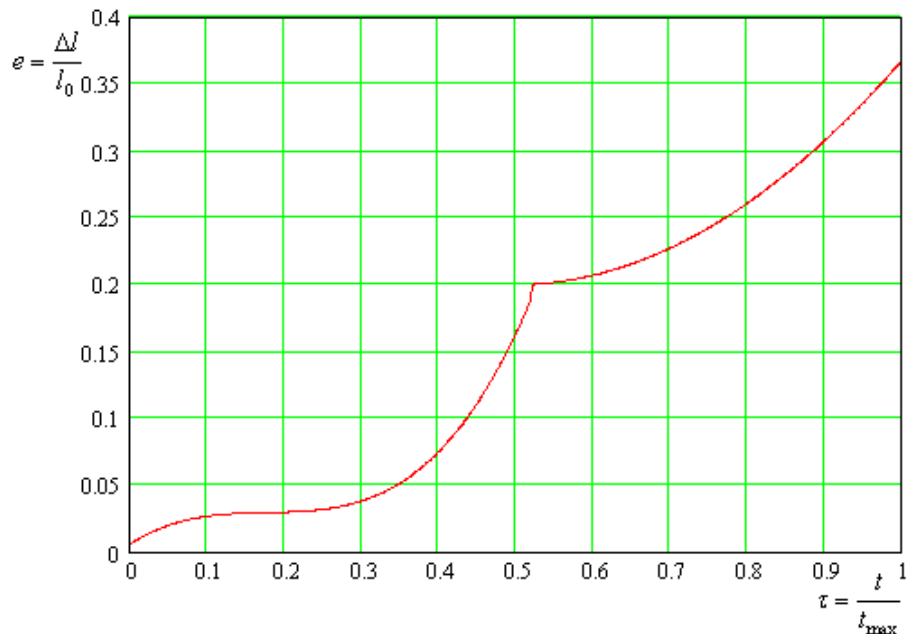


Рис. 2.36. Ступенева регресія для двох ділянок

Порівняння одержаної функції з експериментальною залежністю показана на рис. 2.37 і 2.38.

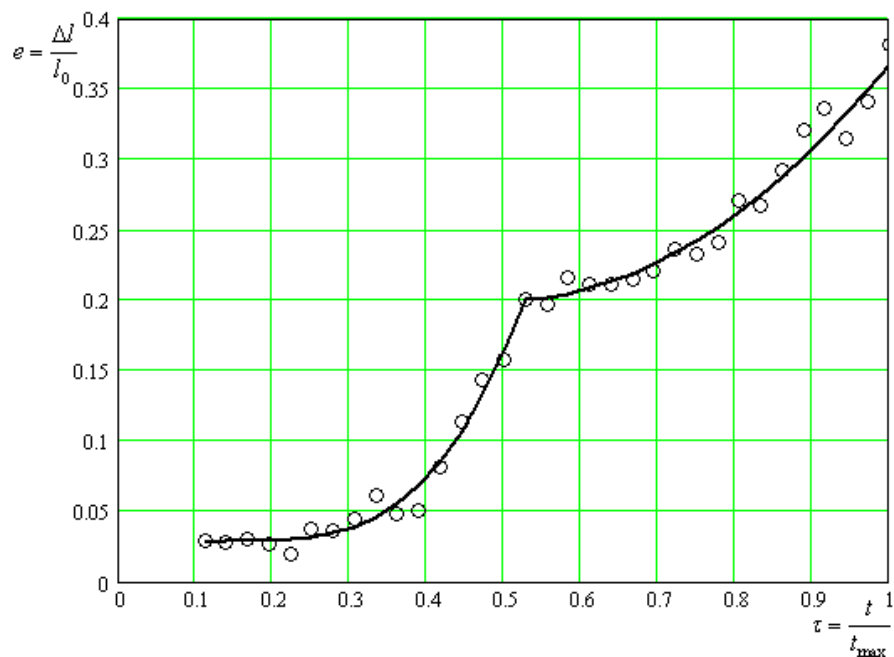


Рис. 2.37. Порівняння експериментальних даних з поліноміальною регресією двома ділянками

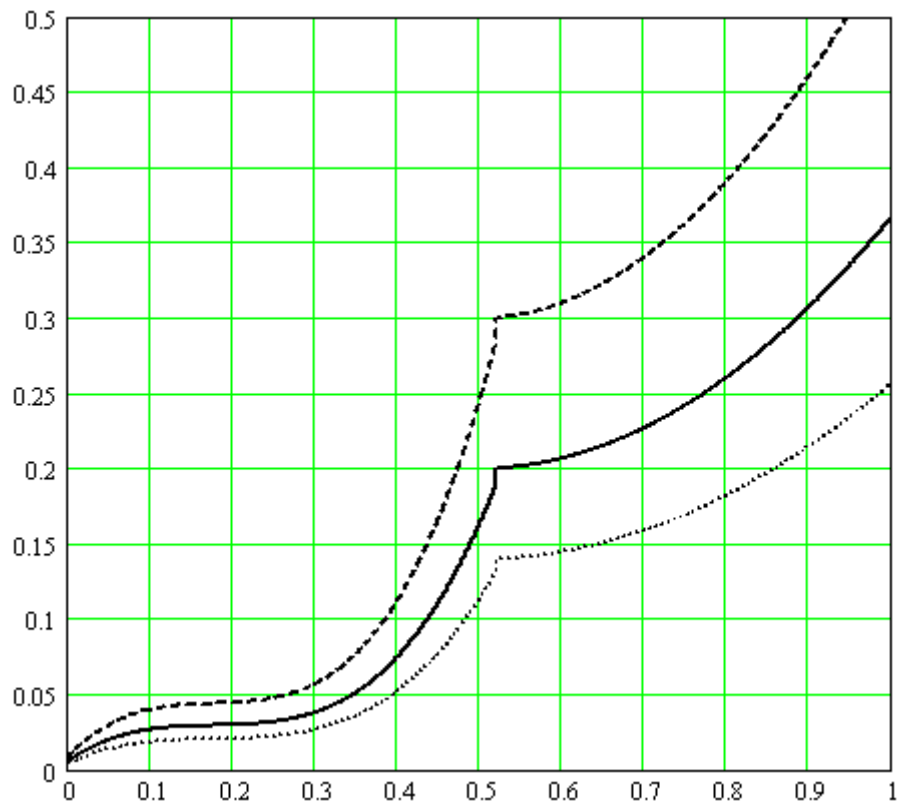


Рис. 2.38. Залежності деформацій від температур для різних сил

Очевидно, що запис функції менш громіздкий і включає менше умов, ніж у випадку розглядання чотирьох ділянок з лінійними регресіями, крім того, діаграма одержується ближче до експериментальних точок.

Спробуємо тепер розв'язати обернену термомеханічну задачу, визначивши залежність температури від деформації, що дуже важливо для призначення технологічних режимів волого теплової обробки.

Для початку перебудуємо експериментальну залежність в координатах (рис. 2.39), де аргументом є відносна деформація, а функцією – температура.

Перша ділянка займає шістнадцять точок. Спробуємо по-перше апроксимувати її квадратно параболою. Одержимо в середовищі Маткад

```
kk := 2
z3 := regress(LU0, TU0, kk)
f3(x) := interp(z3, LU0, TU0, x)
coef3 := submatrix(z3, 3, length(z3) - 1, 0, 0)    GT0i0 := f3(LU0i0)

coef3T = (0.067  5.443  -16.422)
```

Шукана залежність може бути описана параболічною залежністю виду:

$$\tau = 0,067 + 5,443 \cdot e - 16,422 \cdot e^2.$$

Ця залежність представлена графічно на рис. 2.40.

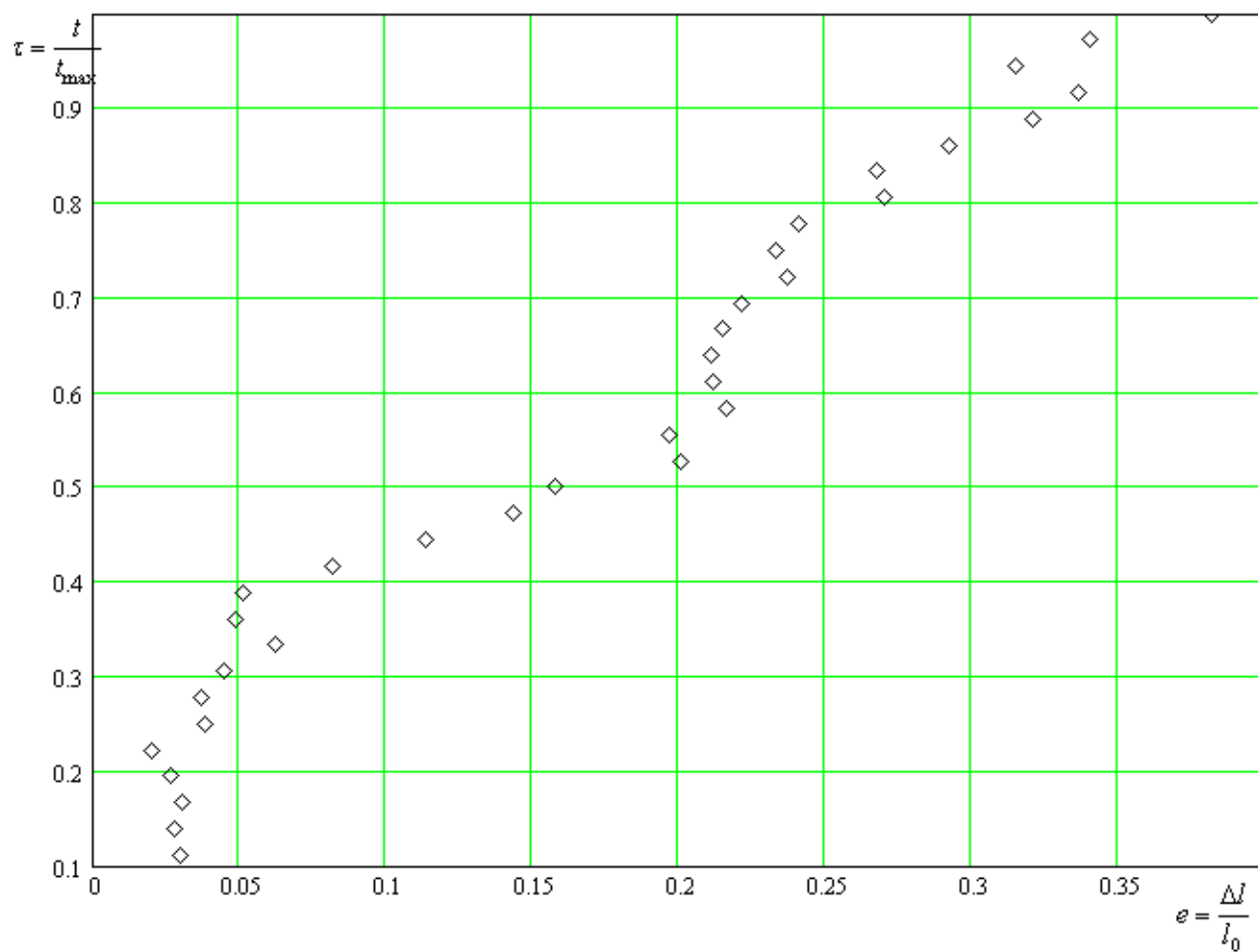


Рис. 2.39. Точкова залежність температури від деформації

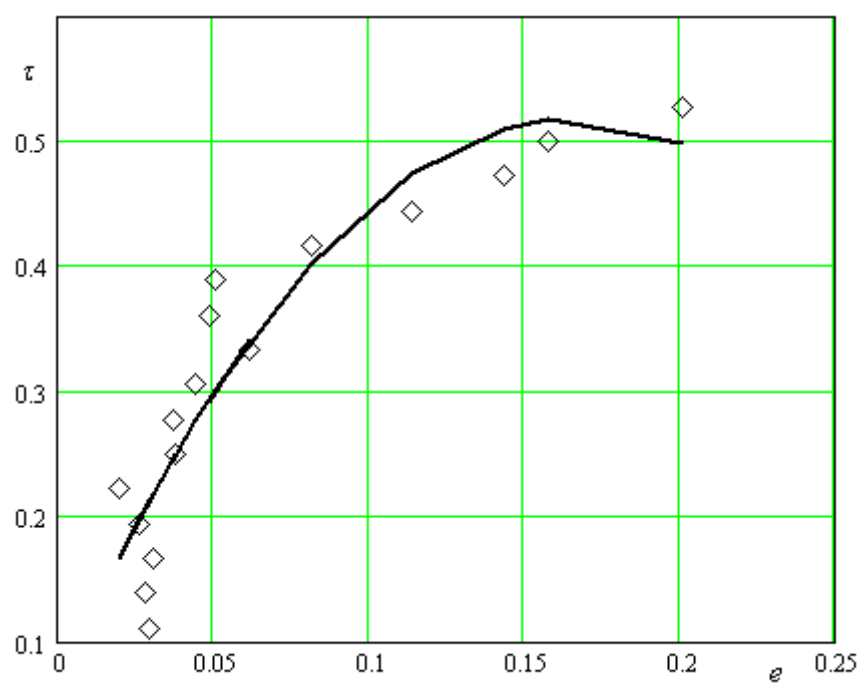


Рис. 2.40. Квадратична регресія залежності температури від деформації на першій ділянці

На графіку знов з'явився не передбачуваний екстремум, що небажано. Спробуємо піти випробуваним шляхом, переходячи до регресії більш високого порядку. Наприклад, кубічна регресія дає:

$$\text{coef3}^T = (-0.041 \quad 10.316 \quad -70.635 \quad 166.596) \blacksquare,$$

що дає підставу виразити шукане рівняння, як:

$$\tau_1 = -0,041 + 10,316 \cdot e - 70,635 \cdot e^2 + 166,596 \cdot e^3.$$

Графічно це рівняння представляється на рис. 2.41, на якому видно досить близьке наближення теоретичної кривої, побудованої методом кубічної регресії до експериментальних точок.

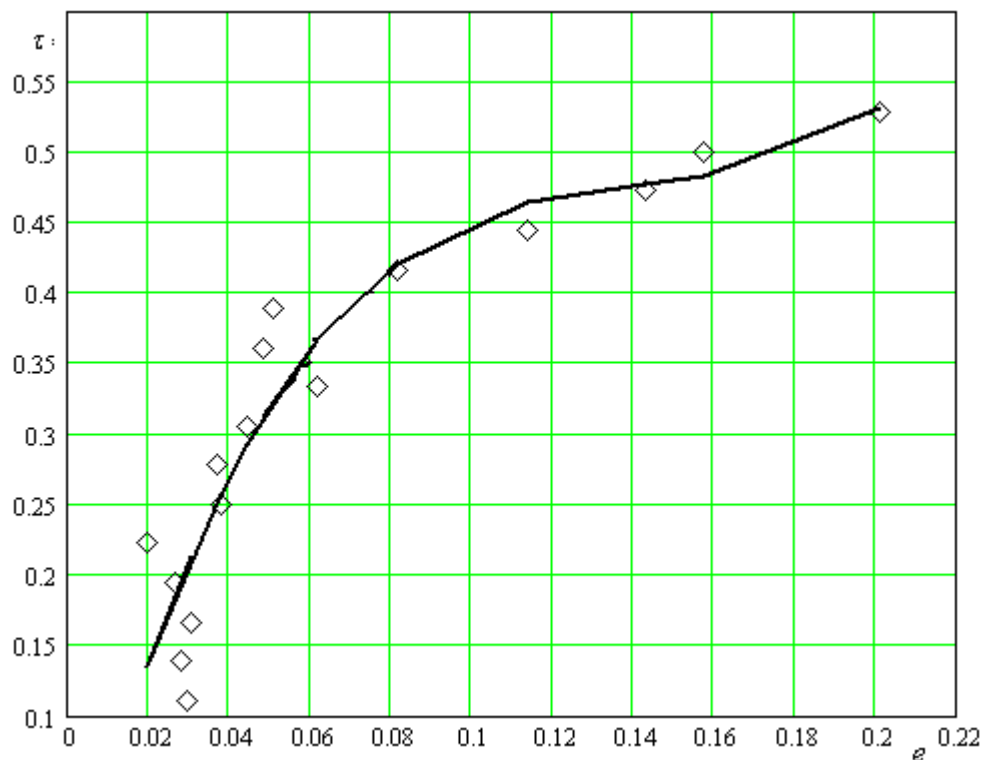


Рис. 2.41. Кубічна регресія на першій ділянці

На другій ділянці спробуємо спочатку реалізувати квадратичну регресію. Розрахунок у середовищі Маткад дає:

$$TU1_{i2} := TAU_{i2+15} \quad LU1_{i2} := EPS_{i2+15}$$

$$z4 := \text{regress}(LU1, TU1, k1)$$

$$f4(x) := \text{interp}(z4, LU1, TU1, x)$$

$$\text{coef4} := \text{submatrix}(z2, 3, \text{length}(z2) - 1, 0, 0) \quad GT2_{i2} := f4(LU1_{i2})$$

$$\text{coef4}^T = (0.36 \quad -0.65 \quad 0.657)$$

Ця програма визначає залежність температури від деформації на другій

ділянці у вигляді:

$$\tau_2 = 0,36 - 0,65 \cdot e + 0,657 \cdot e^2$$

Залежність може бути відображена графіком, зображеним на рис. 2.42.

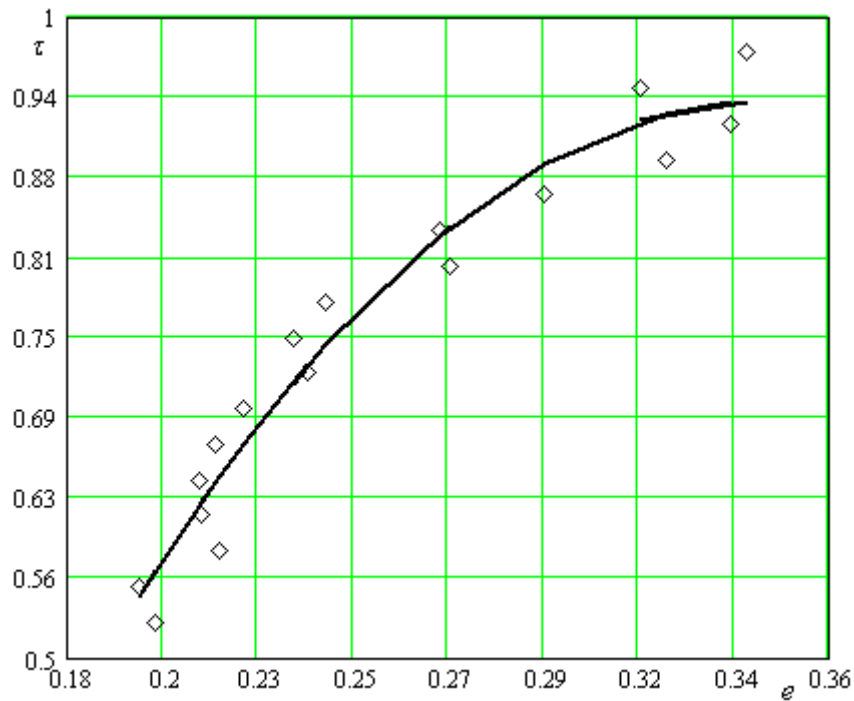


Рис. 2.42. Квадратична залежність на другій ділянці

У випадку кубічної залежності рівняння буде мати вигляд:

$$\tau_2 = -4,446 + 50,326 \cdot e - 162,941 \cdot e^2 + 181,2 \cdot e^3$$

Графічно залежність представлена на рис. 2.43.

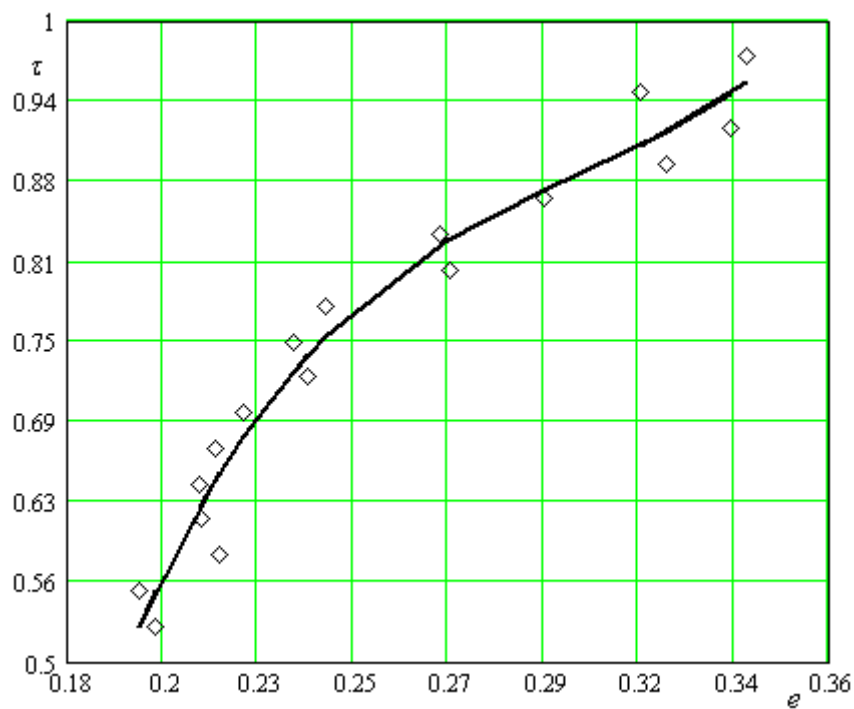


Рис. 2.43. Кубічна залежність на другій ділянці

Точку перетинання двох ділянок при побудові сумарної залежності знаходимо з умови:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= -0,041 + 10,316 \cdot e - 70,635 \cdot e^2 + 166,596 \cdot e^3 = \\ \tau_2 &= -4,446 + 50,326 \cdot e - 162,941 \cdot e^2 + 181,2 \cdot e^3.\end{aligned}$$

Математичними методами Маткаду знаходимо точку перетинання, після чого залежність температури від деформації можна уявити у вигляді:

$$\tau = \begin{cases} -0,041 + 10,316 \cdot e - 70,635 \cdot e^2 + 166,596 \cdot e^3, & e < 0,195 \\ -4,446 + 50,326 \cdot e - 162,941 \cdot e^2 + 181,2 \cdot e^3, & e > 0,195 \end{cases}$$

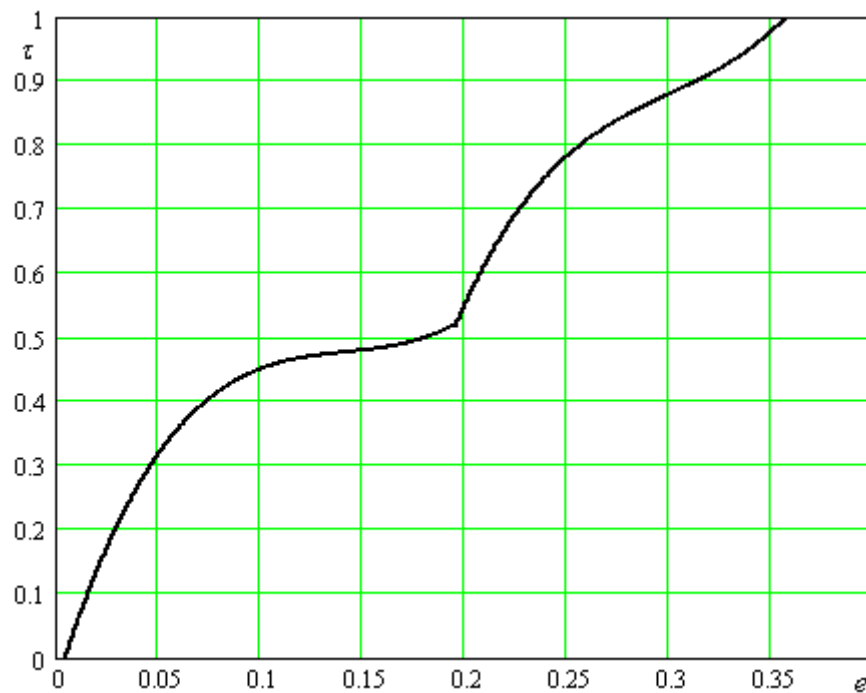


Рис. 2.44. Поліноміальна регресія за двома ділянками

Порівняння одержаної регресійної залежності з експериментальними даними наведене на рис. 2.45.

Для визначення температури в абсолютному вираженні можна використовувати рівняння:

$$t = t_{\max} \begin{cases} -0,041 + 10,316 \cdot e - 70,635 \cdot e^2 + 166,596 \cdot e^3, & e < 0,195 \\ -4,446 + 50,326 \cdot e - 162,941 \cdot e^2 + 181,2 \cdot e^3, & e > 0,195 \end{cases}.$$

Якщо вважати, що дана залежність знайдена для одиничної сили, для сили іншого значення вираз можна записати у вигляді:

$$t = t_{\max} \begin{cases} -0,041 + 10,316 \cdot Fe - 70,635 \cdot (Fe)^2 + 166,596 \cdot (Fe)^3, & Fe < 0,195 \\ -4,446 + 50,326 \cdot Fe - 162,941 \cdot (Fe)^2 + 181,2 \cdot (Fe)^3, & Fe > 0,195 \end{cases},$$

що зображується сімейством графіків на рис. 2.46.

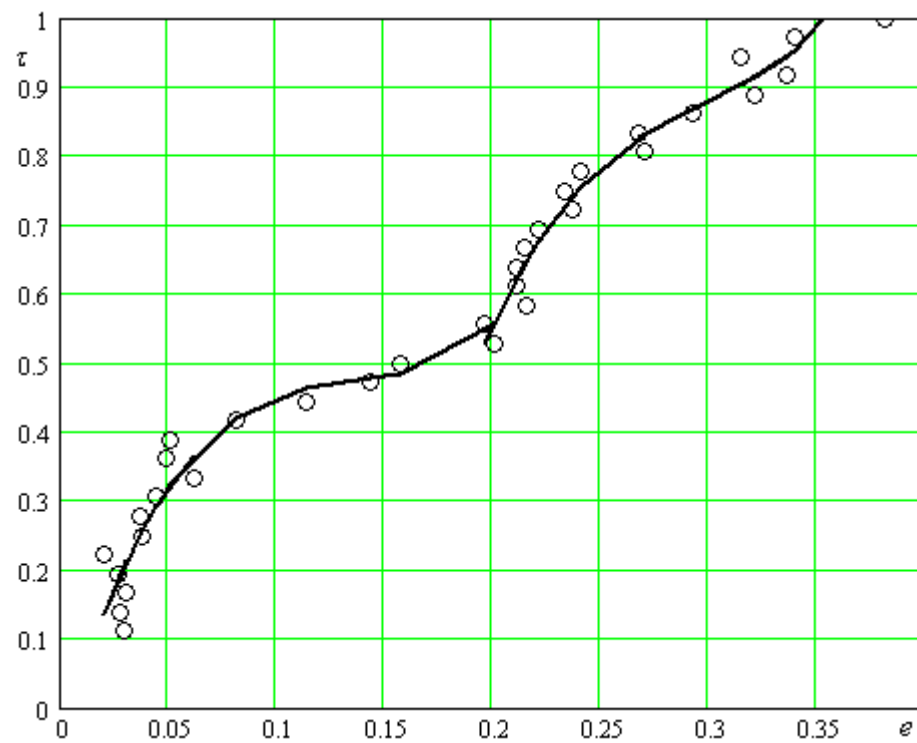


Рис. 2.45. Порівняння поліноміальної регресії за двома ділянками з експериментальними даними

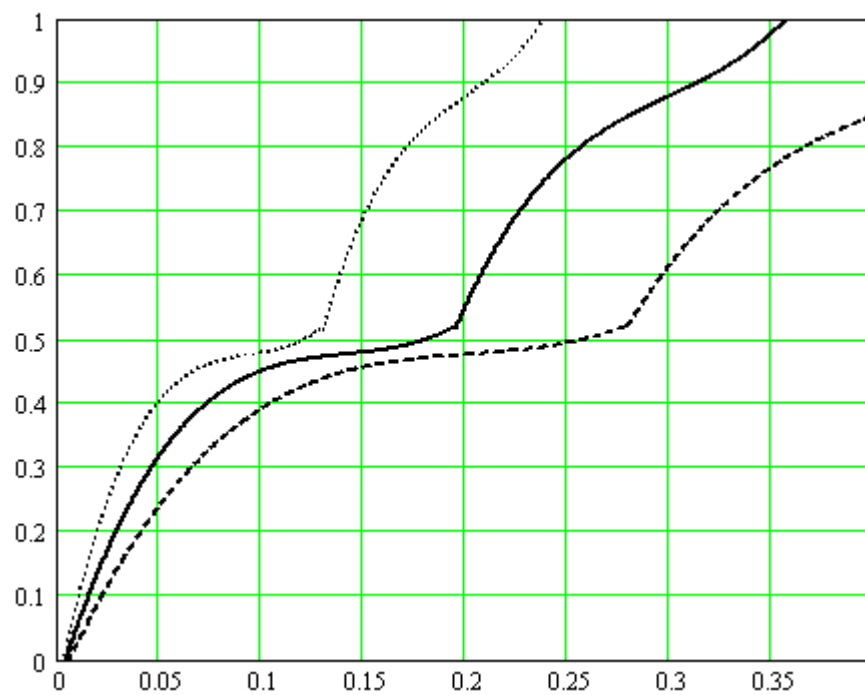


Рис. 2.46. Сімейство графіків визначення температури для різних значень сили

2.3.4 Описання термомеханічних залежностей однією ділянкою

Будемо йти далі логічним шляхом наближення апроксимуючої функції до експериментальної сумісно зі скороченням кількості ділянок. Зробимо одну ділянку, яку спробуємо апроксимувати ступеневою функцією.

Зокрема, для апроксимації функцією четвертого порядку програма в середовищі Маткад буде мати вигляд:

$kt := 4$

$TU_{i0} := TAU_{i0} \quad LU_{i0} := EPS_{i0}$

$z1 := \text{regress}(TAU, EPS, kt)$

$fi(x) := \text{interp}(z1, TAU, EPS, x)$

$coefs := \text{submatrix}(z1, 3, \text{length}(z1) - 1, 0, 0) \quad GL0_i := fi(TAU_i)$

$coefs^T = (0.075 \quad -0.757 \quad 3.142 \quad -3.372 \quad 1.277)$

Тобто, шукана функція може бути представлена, як:

$$e = 0,075 - 0,757 \cdot \tau + 3,142 \cdot \tau^2 - 3,372 \cdot \tau^3 + 1,277 \cdot \tau^4$$

Графік залежності уявляє з себе рис. 2.47, який досить погано відображає експериментальну залежність.

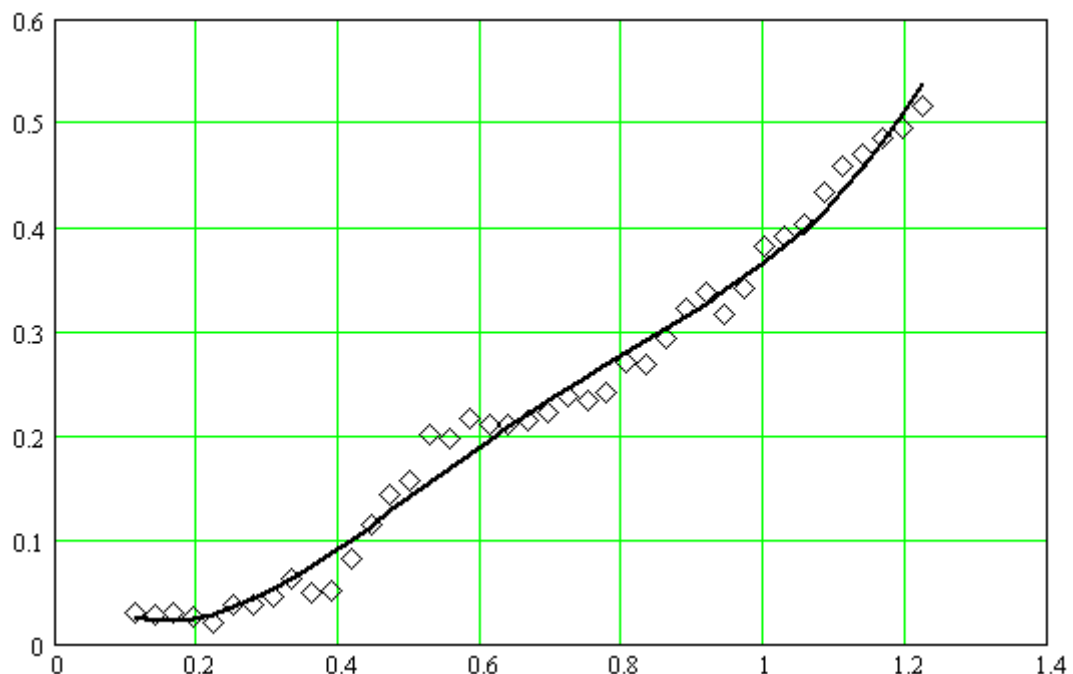


Рис. 2.47. Апроксимація функцією четвертого порядку

Для апроксимації функцією п'ятого порядку програма в середовищі Маткад буде мати вигляд:

kt := 5

TU0_{i0} := TAU_{i0} LU0_{i0} := EPS_{i0}

z1 := regress(TAU, EPS, kt)

fi(x) := interp(z1, TAU, EPS, x)

coefs := submatrix(z1, 3, length(z1) - 1, 0, 0) GL0_i := fi(TAU_i)

coefs^T = ■

Шукана функція може бути представлена, як:

$$e = 0,262 - 3,132 \cdot \tau + 13,128 \cdot \tau^2 - 21,542 \cdot \tau^3 + 16,101 \cdot \tau^4 - 4,447 \cdot \tau^5$$

Графік залежності уявляє з себе рис. 2.48.

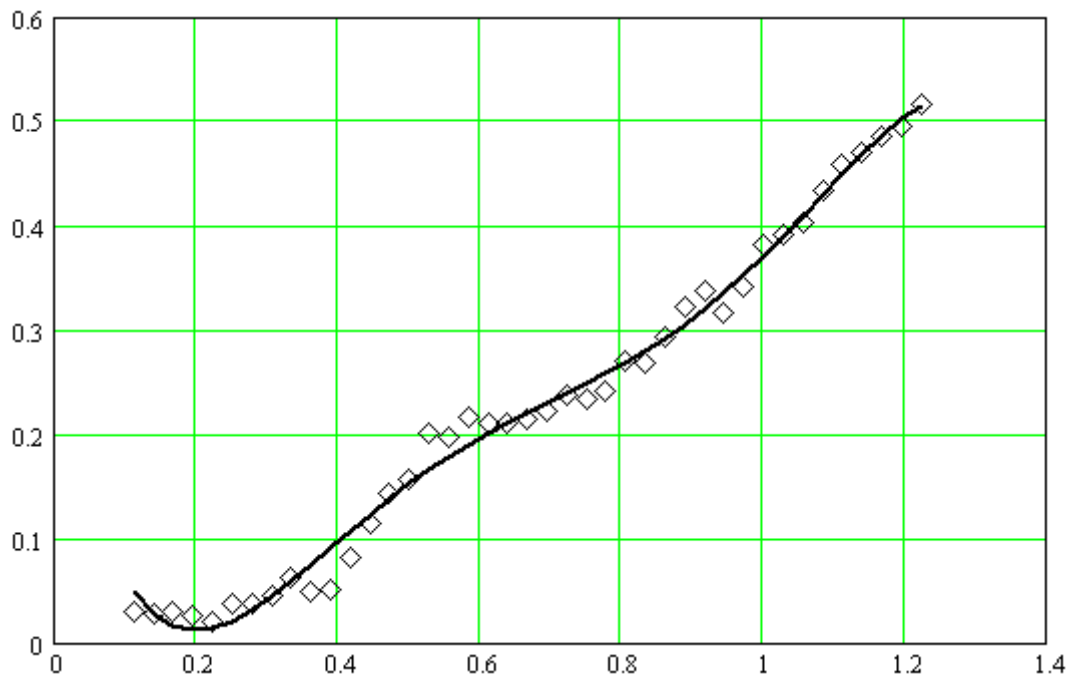


Рис. 2.48. Апроксимація функцією п'ятого порядку

Для апроксимації функцією сьомого порядку програма в середовищі Маткад буде мати вигляд:

kt := 7

TU0_{i0} := TAU_{i0} LU0_{i0} := EPS_{i0}

z1 := regress(TAU, EPS, kt)

fi(x) := interp(z1, TAU, EPS, x)

coefs := submatrix(z1, 3, length(z1) - 1, 0, 0) GL0_i := fi(TAU_i)

coefs^T = ■

Шукана функція може бути представлена, як:

$$e = -0,329 + 7,3 \cdot \tau - 55,077 \cdot \tau^2 + 197,937 \cdot \tau^3 - 368,124 \cdot \tau^4 + 368,326 \cdot \tau^5 - 188,231 \cdot \tau^6 + 38,58 \cdot \tau^7$$

Графік залежності уявляє з себе рис. 2.49, який вже досить добре відображає процес.

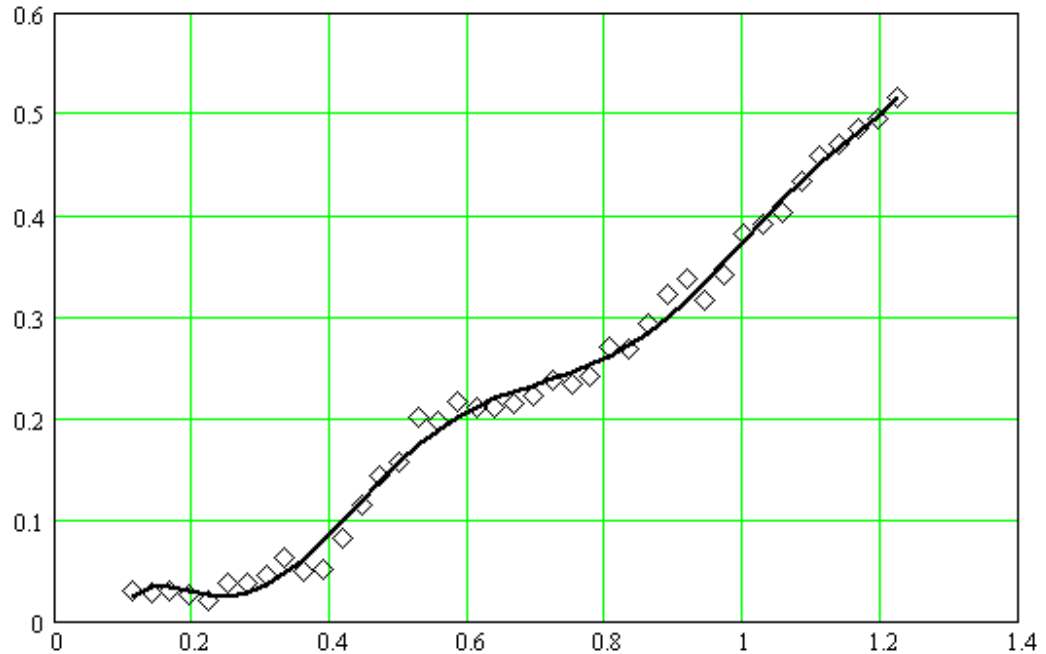


Рис. 2.49. Апроксимація функцією сьомого порядку

Подальший аналіз показує, що функції більш високого порядку не дають значного поліпшення. На рис. 2.50 показані залежності для різних сил.

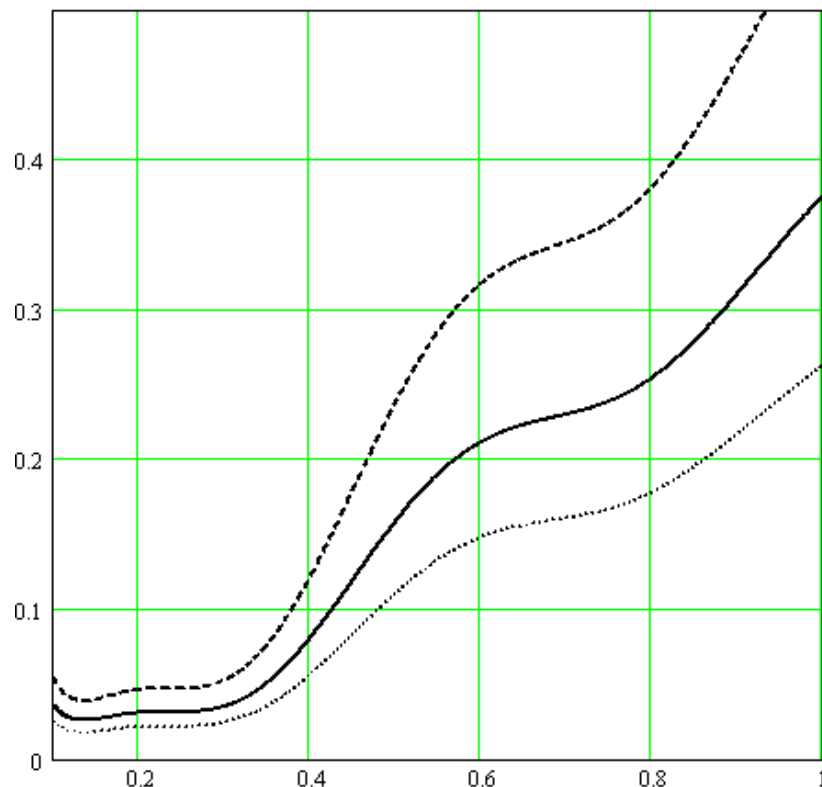


Рис. 2.50. Залежності деформацій від температури для різних сил

Зворотна залежність температури від деформації знаходимо, використовуючи програму Маткаду:

```

kt := 5

TU0i0 := TAUi0    LU0i0 := EPSi0

z2 := regress(EPS,TAU,kt)

gi(x) := interp(z2, EPS,TAU,x)

C := submatrix(z2,3,length(z2) - 1,0,0)      GT0i := gi(EPSi)

 $C^T = (-0.016 \quad 10.003 \quad -89.945 \quad 427.912 \quad -883.63 \quad 653.715)$ 

```

В даному випадку використовувалася функція п'ятого порядку, яка може бути виражена рівнянням:

$$\tau = -0,016 + 10,003 \cdot e - 89,945 \cdot e^2 + 427,912 \cdot e^3 - 883,63 \cdot e^4 + 653,715 \cdot e^5.$$

До речі, графік цієї функції (рис. 2.51) дає вже досить близьке наближення до експериментальних даних.

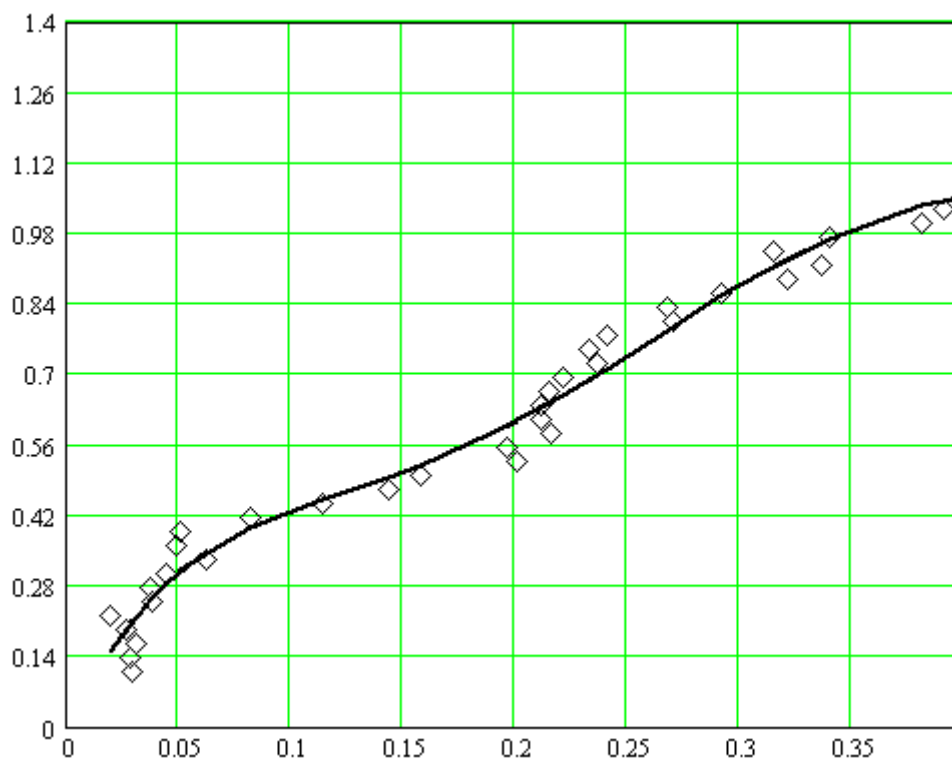


Рис. 2.51. Залежність температури від деформації п'ятого порядку

Для різних сил сімейство графіків буде мати вигляд, представлений на рис. 2.52.

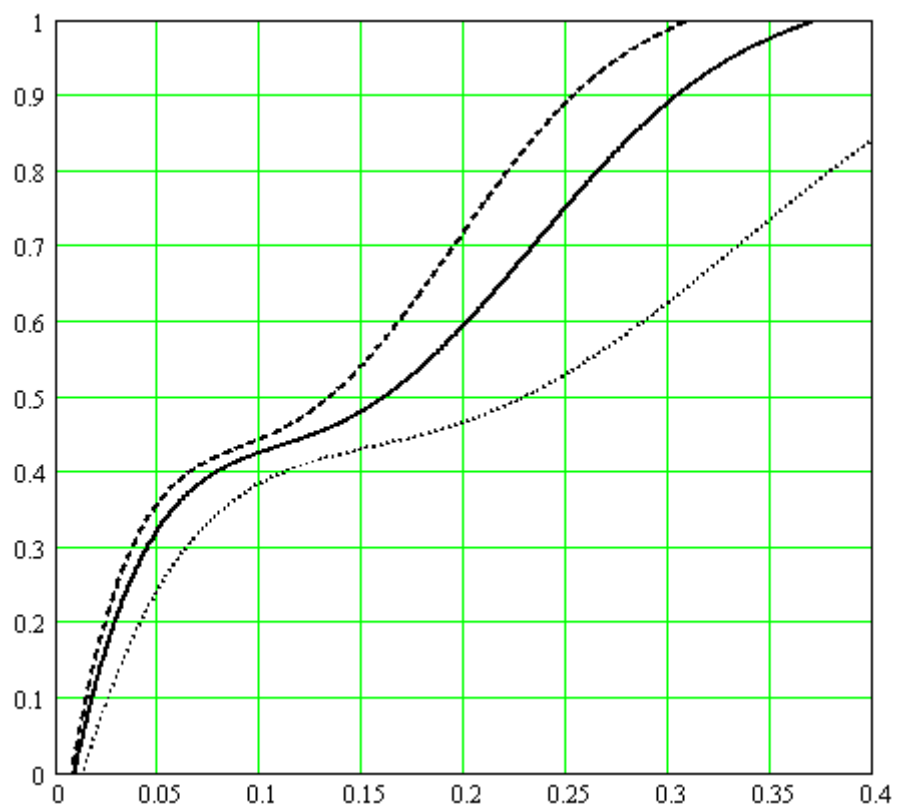


Рис. 2.52. Залежність температури від деформації для різних сил

ЛІТЕРАТУРА

1. Р.В. Луцик, О.А. Матвиенко, О.А. Романюк. Энергоресурсосберегающие технология формирования деталей изделий легкой промышленности //Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс - 2002): Тезисы докладов международной научно-технической конференции. Иваново, 2002.
2. «Экструзия профильных изделий из термопластов» ред. В.П. Володин, издательство Профессия, Спб 2005.
3. Бузов Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): Учебник для студ. высш. учеб. заведений/ Б.А.Бузов, Н.Д.Алыменкова; Под ред. Б.А.Бузова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.- 448 с.
4. Бузов Б.А. Практикум по материаловедению швейного производства: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ Б.А.Бузов, Н.Д.Алыменкова, Д.Г.Петропавловский. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 416 с.
5. Текстильное материаловедение: (Волокна и нити). Учебник для вузов. /Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, А.Н. Кобляков. Под редакцией Г.Н. Кукина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 349 с.
6. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н. Текстильное материаловедение: (Исходные текстильные материалы). Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 214 с.
7. ГОСТ 9733.0 – 83 Материалы текстильные. Общие требования к методам испытаний устойчивости окрасок к физико-химическим воздействиям.
8. ГОСТ 9733.27 – 83 Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к трению.
9. ГОСТ 9733.5 – 83 Материалы текстильные. Метод испытаний устойчивости окраски к дистиллированной воде.
10. ГОСТ 9733.6 – 83 Материалы текстильные. Методы испытаний устойчивости окрасок к "поту".
11. ГОСТ 9733.7 – 83 Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к глажению.
12. Виноградов Г.В., Малкин А. Я. Реология полимеров. М.: Химия, 1977. – 440 с.
13. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов). М.: Хімія, 1977. – 464 с.
14. Грановский Т.С. Строение и анализ тканей. – М.: Легпробытиздат, 1988. – 94 с.

15. Жихарев А.П., Краснов Б.Я., Петропавловский Д.Г. Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 464с.
16. Конфекціювання матеріалів для одягу: Навч. посіб./ Н.П.Супрун, Л.В.Орленко, Е.П.Дрегуляс, Т.О.Волинець. – К.: Знання, 2005. – 159 с.
17. Лазур К.Р. Швейне матеріалознавство: підручник. – Львів: Світ, 2003. – 240с.
18. Мальцева Е. П. Материаловедение швейного производства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 232с.
19. Матеріалознавство швейного виробництва. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт №8-10 /частина III/ для студентів спеціальності 6.010104 Професійне навчання. Технологія текстильної та легкої промисловості: / Упорядники: проф. С.М.Вілков, ас. С.В.Челишева/ - Харків: УПА, 2003. – 32с.
20. Патлашенко О.А. Матеріалознавство швейного виробництва: навч. пос. – друге видання. – К.: Арістей, 2007. – 288с.
21. Н.А.Савостицкий, Э.К.Амирова. Материаловедение швейного производства/ Серия «Учебники, учебные пособия». - Ростов-на-Дону : Феникс, 2002. – 288с.
22. Технологии: электронные ресурсы науки и техники: (SILTER –Что такое ВТО) / [электронные ресурсы]/2008г. <http://www.silter.ru/tehnology.htm>
23. Химик: електронні ресурси науки та освіти: (стаття про поліефірні волокна) [електронні ресурси]/ 2002.<http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3616.html>
24. «ЦНИИШП»: электронные ресурсы науки и образования: (Оборудование для влажно-тепловой обработки одежды. Справочник) / [электронные ресурсы]/ В.Е. Кузьмичев – 2004г.
<http://www.cniishp.ru/index.php?pp=normdoc/sproborvto>
25. «ЦНИИШП»: электронные ресурсы науки и образования: (Разработка и использование энергосберегающей технологии на предприятиях швейной отрасли)/ [электронные ресурсы]/ Воронин Б.И.
<http://www.cniishp.ru/index.php?pp=stat/razriispen>

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВОЛОГО-ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ.....	4
1.1. Забезпечення форми методами вирізання матеріалу.....	4
1.2. Формування деталей одягу в процесі безниткового з'єднання.....	5
1.3. Теорія деформації текстильного матеріалу.....	7
1.4. Методи і прилади оцінки одноциклових характеристик при розтягуванні (компонентів деформації при розтягуванні) – релаксації.....	20
1.5. Вплив різних чинників на прояв деформаційних характеристик.....	26
1.6. Прилади для визначення деформаційних характеристик.....	28
РОЗДІЛ 2. ОДЕРЖАННЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ КРИВИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	29
2.1. Методи апроксимації експериментальних даних.....	29
2.2. Методика визначення термомеханічних залежностей.....	34
2.3. Визначення рівнянь регресії для реальних термомеханічних залежностей.....	35
ЛІТЕРАТУРА.....	68

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Рябчиков Микола Львович
Челишева Світлана Вікторівна
Вілков Сергій Михайлович

МЕТОДИ АПРОКСИМАЦІЇ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Монографія

ППВ «Нове слово» 61036, м. Харків, вул. Войкова, 1а
Свідоцтво про реєстрацію ДК № 986 від 22.07.2002 р.

Підписано до друку 15.05.2011 р.

Формат видання 60×90/16.

Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний.

Друк – ризограф. Ум. друк. аркушів 9,0

Наклад 300 прим. Зам. № 389423

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.

Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.