

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

З ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ І
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО» ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО
ПРАКТИКУМУ З РОЗДІЛУ «ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ТЕРМІЧНОЇ
ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ЧАСТИНА І
(ВПЛИВ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛЕВИХ І
ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ)»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства
Протокол № 13 від 23.05.2012

Методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Вплив деформації та термічної обробки на структуру та властивості матеріалів, частина I (Вплив пластичної деформації на властивості металевих і полімерних матеріалів)” для студентів усіх форм навчання / Укл.: В.В. Трофименко, О.П. Клименко, В.І. Овчаренко. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2013. – 27 с.

Укладачі: В.В. Трофименко, канд. техн. наук
О.П. Клименко, канд. техн. наук
В.І. Овчаренко, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Вплив деформації та термічної обробки на структуру та властивості матеріалів, частина I (Вплив пластичної деформації на властивості металевих і полімерних матеріалів)” для студентів усіх форм навчання.

Укладачі: ТРОФИМЕНКО Віталій Васильович
КЛИМЕНКО Олександр Павлович
ОВЧАРЕНКО Володимир Іванович

Редактор Л.М. Тонкошкур
Коректор В.П. Синицька

Підписано до друку 28.08.13. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф. Умов. друк. арк.1,23. Обл.-вид. арк. 1,34. Тираж 50 прим. Зам. № 427. Свідоцтво ДК № 303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ, 5, просп. Гагаріна, 8

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ВСТУП

ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ МЕТАЛІВ

Деформацією називається зміна форми і розмірів тіла під дією зовнішніх навантажень.

Деформація, що виникає при порівняно невеликих навантаженнях і зникає після зняття їх, називається **пружною**, а така, що зберігається, **залишковою** або **пластичною** (рис. 1). При збільшенні навантаження деформація може скінчитися *руйнуванням*.

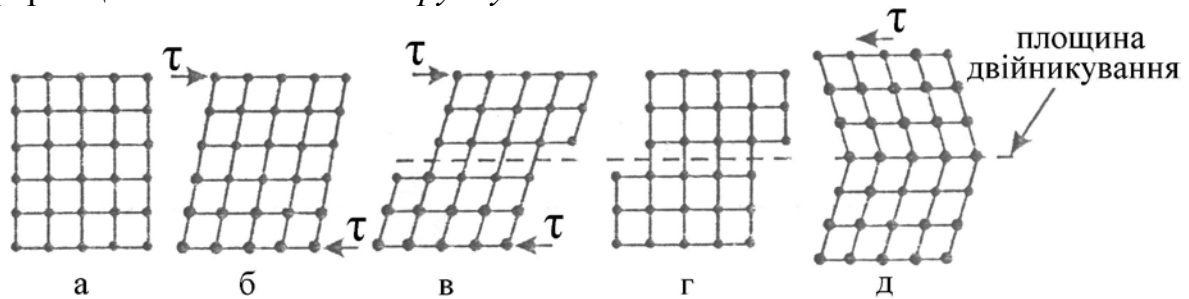


Рис. 1. Схема пружної (б) та пластичної (в, г, д) деформації:
а – вихідна структура; в, г – деформації ковзанням;
д – деформація двійникуванням

При пружній деформації відбувається зворотне зміщення атомів з положень рівноваги у кристалічних ґратах. Після зняття навантаження атоми, що змістилися під дією сил міжатомної взаємодії повертаються у вихідний рівноважний стан і кристали набувають первинної форми і розміру.

Процес пластичної деформації звичайно є процесом ковзання однієї частини кристалу відносно іншої по кристалографічних площинах з найбільшою щільністю пакування атомів (рис. 1, в, г). Існують й інші механізми пластичної деформації (наприклад, двійникуванням (рис. 1, д)). Проте ковзання, що реалізується за рахунок пересування дислокацій, як правило, є переважним.

ЗМІНИ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛУ ПРИ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ

У полікристалічних матеріалах, якими є метали і сплави, зерна внаслідок деформації змінюють свою форму та орієнтування, утворюючи волокнисту структуру з переважним орієнтуванням кристалів. Відбувається поворот безладно орієнтованих зерен осями найбільшої міцності вздовж напрямку деформації. Зерна деформуються та сплющуються, подовжуючись у напрямках плину металу (рис. 2).

Переважає кристалічне орієнтування зерен вздовж напрямку деформації називається **текстурою деформації металу**. Утворення текстури сприяє виникненню анізотропії властивостей вздовж та поперек волокон.

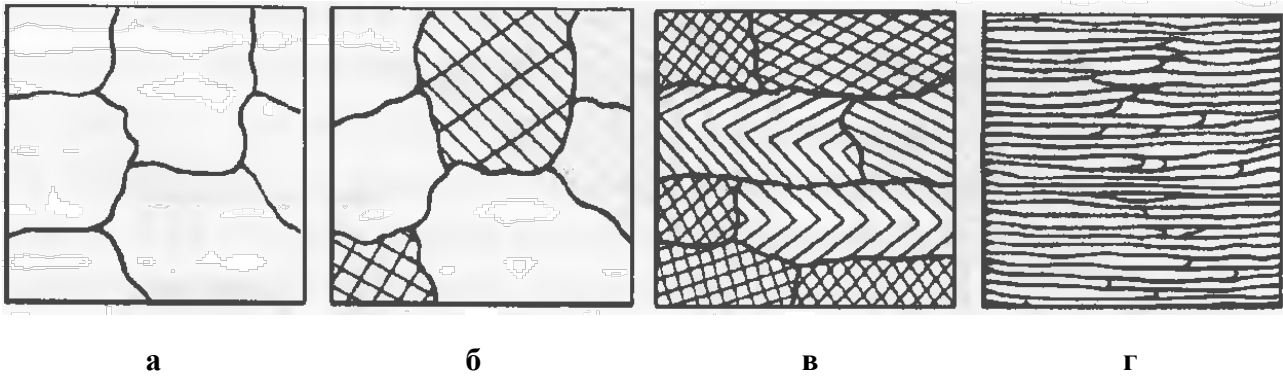


Рис. 2. Схема зміни мікроструктури полікристалічного металу при деформації:
а – вихідний стан, $\epsilon=0\%$; б – $\epsilon=1\%$; в – $\epsilon=40\%$; г – $\epsilon=80\ldots 90\%$

Більшість властивостей металу – механічних, фізичних, хімічних – є **структурно чутливими** і суттєво змінюються при пластичній деформації (рис. 3)

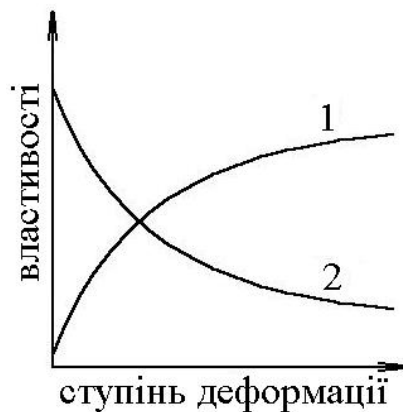


Рис. 3. Схема зміни властивостей металу при пластичній деформації

Крива 1 (рис. 3) – фізична межа текучості, умовна межа текучості, межа міцності, твердості, коерцетивна сила, питомий електроопір, травимість тощо – у процесі деформації збільшуються, поки не відбудеться насичення.

Крива 2 (рис. 3) – відносні подовження та звуження, ударна в'язкість, густина, магнітна проникність, теплопровідність тощо, – навпаки, зменшуються внаслідок пластичної деформації.

До структурно нечутливих властивостей металу, які не залежать від ступеня його деформації, належать валентність, періоди гратки, температура плавлення, модуль пружності, інтенсивність намагнічування, теплоємність та деякі інші.

Отже, пластична деформація металу призводить до суттєвих і глибоких змін в його структурі та властивостях.

Зміцнення при наклепі використовується для підвищення механічних властивостей деталей. Так, наприклад, наклеп поверхневого шару роликami, зміцнення поверхні струменем дробу, ультразвукова обробка кульками тощо підвищує опір втомі. І, навпаки, зниження пластичності при наклепі використовується з метою покращення обробки різанням в'язких пластичних матеріалів: латуней, сплавів алюмінію та інших.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВПЛИВ ХОЛОДНОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Мета роботи: за діаграмою розтягу та результатами вимірювання зразків проаналізувати залежність показників міцності та пластичності сталі 08кп від впливу холодної пластичної деформації.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

За технічною діаграмою розтягування можливо визначити вплив деформації та термічної обробки на характеристики механічних властивостей сталей і сплавів (рис. 1.1).

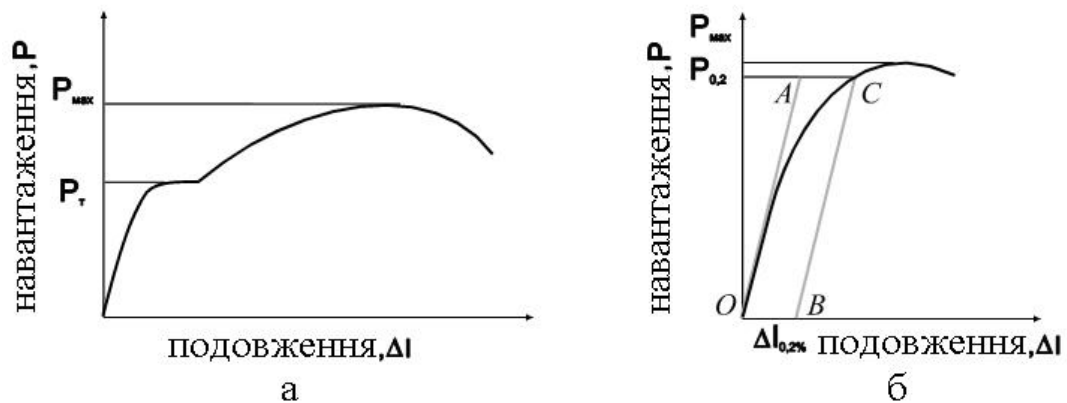


Рис. 1.1. Діаграми розтягування сталей:

а – відпалена вуглецева сталь; б – холоднодеформована вуглецева сталь

Технічна діаграма розтягування відображає зміни тонкої структури металів у процесі деформації рис. 1.2.

Заготівкою для холодної обробки тиском служить відпалений метал. У відпаленій сталі на ділянці до точки 1 деформація пружна, потім в окремих зернах починається пластична деформація переміщенням дислокацій.

На ділянці 1–2 опір генерації й руху дислокацій незначний, тому деформація відбувається при постійному навантаженні P_T , з'являється *площадка текучості*.

Нагромадження дислокацій на ділянці 2–4 приводить до зміцнення металу. Структура на ділянці 4 характерна для стадій деформації, коли вичерпані можливості переміщення дислокацій за головною системою площин легкого ковзання. Деформація переходить на нові системи площин ковзання.

При значній густині дислокацій виникають початкові осередки руйнування зразка (ділянка 6), навантаження P_{max} .

Відсутність площадки текучості на діаграмі показує, що в металі немає умов для легкого ковзання дислокацій. Пластична деформація починається відразу зі стадії зміцнення. Такий вид діаграми характерний для металу, який зазнав холодної пластичної деформації.

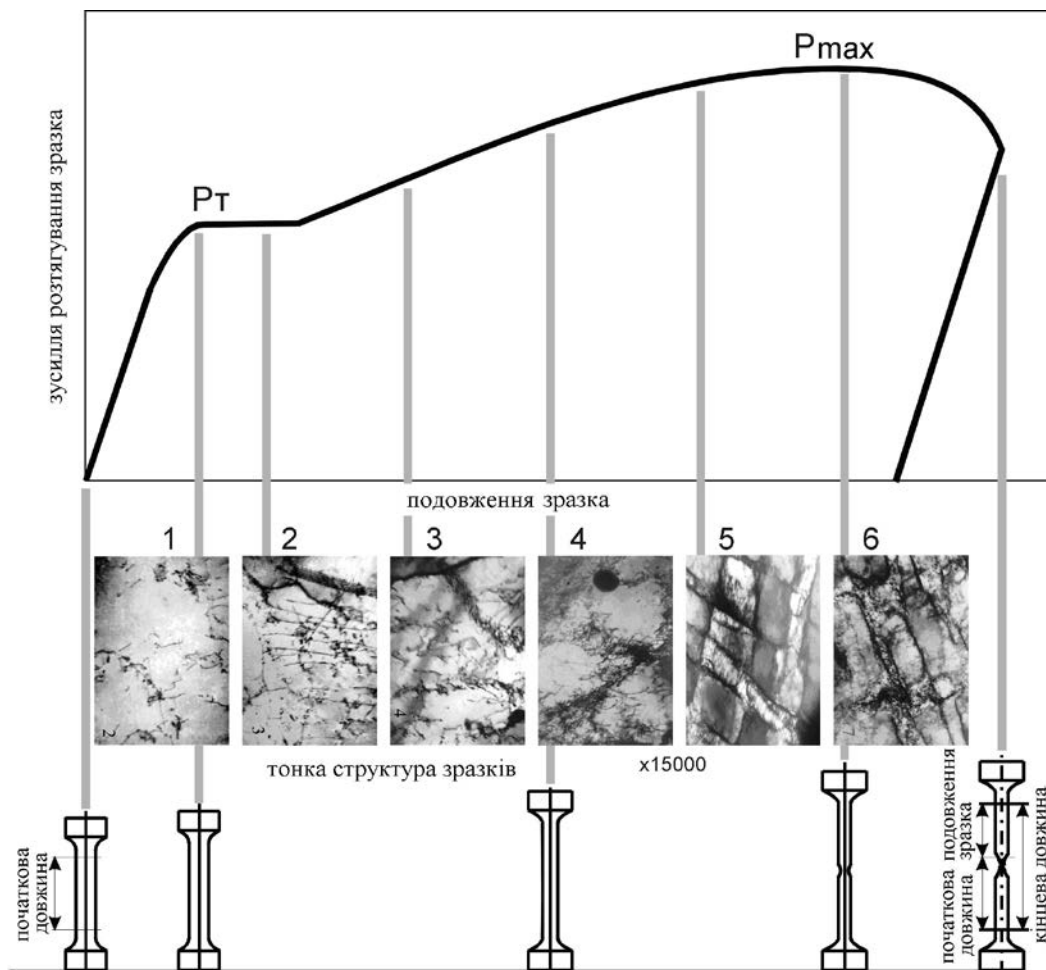


Рис. 1.2. Технічна діаграма розтягування відпаленої сталі та зміна тонкої структури зразок, x15000

У холоднодеформованому металі через підвищену густину дефектів кристалічної будови ускладнено ковзання наявних і генерування нових дислокацій. Границі субзерен служать бар'єрами для дислокацій, що ковзають (рис. 1.3).

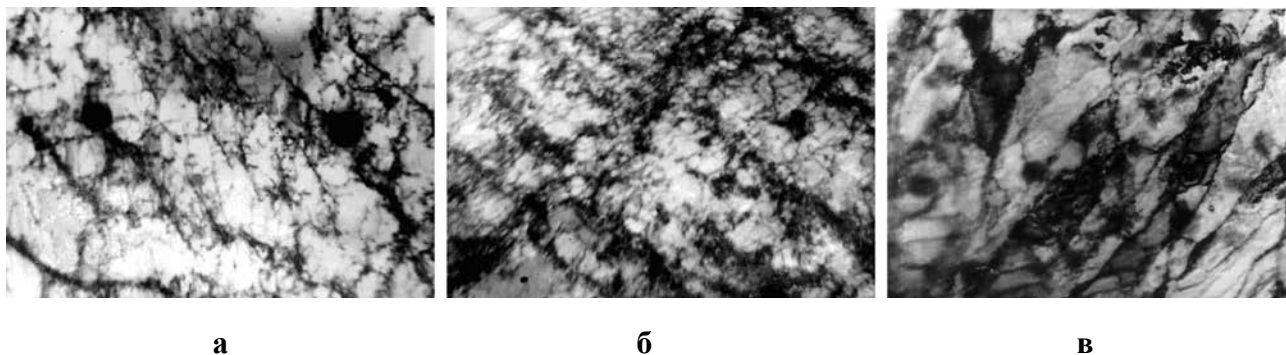


Рис. 1.3. Вплив пластичної деформації прокаткою на тонку структуру армко-заліза, x15000:
а – $\epsilon=10\%$; б – $\epsilon=20\%$; в – $\epsilon=50\%$

Зі збільшенням ступеня холодної деформації показники міцності – тимчасовий опір, межа текучості й твердість зростають, а показники пластичності – відносне подовження й звуження знижуються (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Вплив ступеня холодної деформації на характеристики механічних властивостей сталі 08кп:

1 – межа текучості; 2 – тимчасовий опір; 3 – відносне подовження й звуження

Деформація металу на 50–70% залежно від природи металу й виду обробки тиском збільшує тимчасовий опір і твердість в 1,5–3 рази, при цьому відносне подовження зменшується в 10–30 разів.

Роботу виконують на плоских зразках (рис. 1.5).

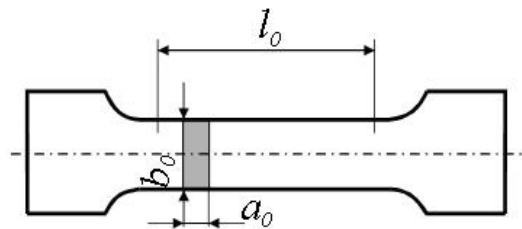


Рис. 1.5. Плоский зразок для випробувань на розтягування

Плоский зразок для випробувань на розтягування характеризується:

- початковою товщиною a_0 ;
- початковою шириною b_0 ;
- початковою розрахунковою довжиною l_0 .

Показники міцності

Межа текучості фізична σ_T (МПа) визначається за технічною діаграмою розтягування відпалених зразків (див. рис. 1.1, а) (1.1):

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}, \quad (1.1)$$

де P_T – навантаження, що відповідає площадці текучості, H .

Межа текучості умовна $\sigma_{0,2}$ (МПа) визначається за технічною діаграмою розтягування зразків, зміцнених холодною пластичною деформацією (1.2):

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} \quad (1.2)$$

Визначення $P_{0,2}$:

- провести через точку початку запису пряму ОА (див. рис. 1.1, б), що збігається із прямолінійною ділянкою технічної кривої розтягування;
- по осі подовження відкласти відрізок ОВ, величина якого дорівнює 0,2% від початкової розрахункової довжини зразка l_0 у масштабі діаграми;
- із точки В провести пряму ВР, паралельну прямій ОА;
- точка перетинання прямої ВР із технічною діаграмою розтягування визначить ординату навантаження $P_{0,2}$.

Тимчасовий опір σ_B (МПа) (1.3):

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}, \quad (1.3)$$

де $P_{\max}$ – найбільше навантаження за технічною діаграмою розтягування зразка, Н.

Показники пластичності

Відносне подовження δ (%) (1.4):

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} 100, \quad (1.4)$$

де l_K – довжина зразка після розриву, мм;

l_0 – початкова розрахункова довжина зразка, мм.

Для визначення l_K обидві частини зразка після розриву щільно прикладають одну до іншої. Якщо в місці розриву утвориться зазор, то він включається в довжину l_K .

l_K визначають виміром відстані між смугами, що обмежують розрахункову довжину на розірваному зразку.

Відносне звуження Ψ (%) (1.5):

$$\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} 100, \quad (1.5)$$

де F_0 – початкова площа поперечного переріза зразка, мм²;

F_K – площа поперечного переріза зразка в місці розриву, мм².

При розтяганні в місці розриву зменшується поперечний переріз зразка й утвориться *шийка*. У місці розриву вимірюють найменшу товщину a_K і найменшу ширину b_K зразка в міліметрах.

Площа поперечного переріза в місці розриву плоского зразка F_K визначають за формулою (1.6):

$$F_K = a_K \cdot b_K \quad (1.6)$$

1.1. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Розривні зразки відпаленої та деформованої сталі 08кп, штангенциркулі ШЦ-1, мікрометри, калькулятори, розривна випробувальна машина 2166 Р-5.

Розривна машина 2166 Р-5 призначена для випробування на розтягування зразків металів, пластмас, гуми, тканин (рис. 1.6):

- найбільше граничне навантаження випробування 5000Н (500 кгс);
- швидкість робочого ходу активного захвата 1–1000 мм/хв;
- діапазон переміщення захвата 0–1000 мм;
- робоча ділянка системи виміру деформації зразка 25–50 мм.

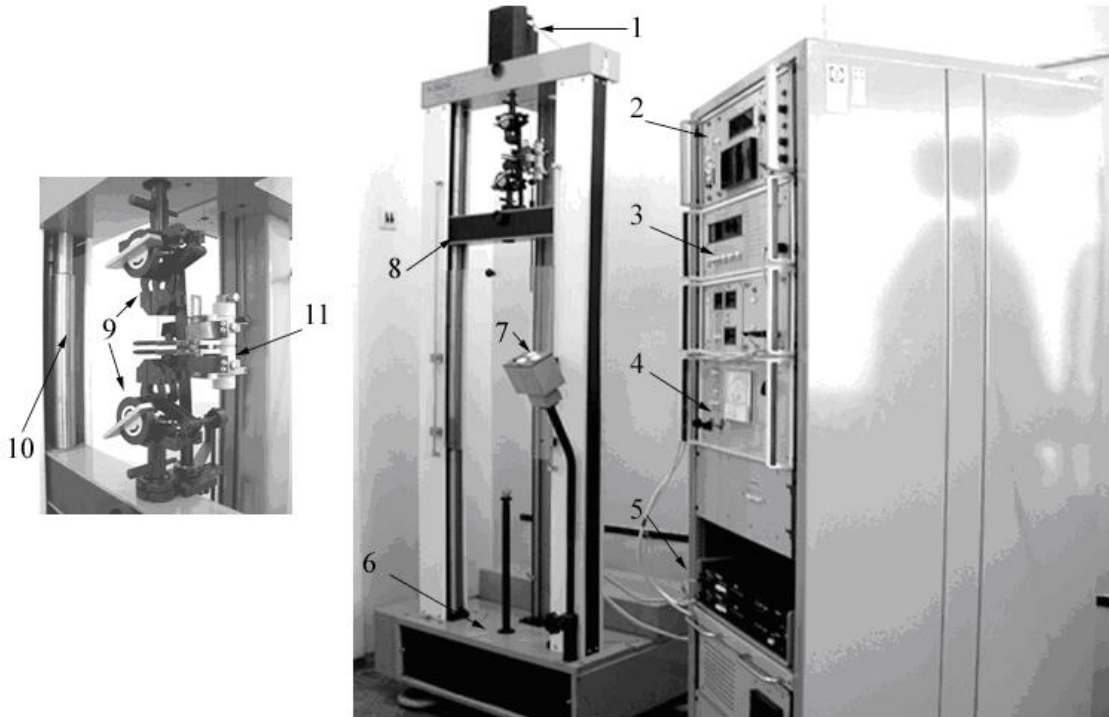


Рис. 1.6. Розривна машина 2166 Р-5:

- 1 – вимірювач сили; 2 – блок вимірювання сили; 3 – блок індикації подовження;
4 – блок управління швидкістю випробування; 5 – графобудівник; 6 – привод;
7 – пульт управління переміщенням траверси; 8 – рухома траверса; 9 – захвати;
10 – ходові гвинти; 11 – пристрій вимірювання деформації зразка

1.2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. На вихідних зразках сталі 08кп визначити початкову робочу довжину, товщину й ширину зразка в робочій частині.

2. Визначити початкову площу поперечного переріза зразка F_0 .

3. На діаграмі розтягування відпаленого зразка визначити величину навантаження, що відповідає початку пластичного плину P_T і максимальне навантаження P_{max} .

4. На діаграмі розтягування холоднодеформованого зразка визначити величину навантаження, що відповідає початку пластичного плину $P_{0,2}$ і максимальне навантаження P_{max} (рис. 1.7).

5. За величиною навантаження й початкової площі робочої частини зразка

визначити фізичну межу текучості σ_T (МПа) відпаленого зразка.

6. За величиною навантаження й початкової площі робочої частини зразка визначити умовну межу текучості $\sigma_{0,2}$ (МПа) холоднодеформованого зразка.

7. Визначити тимчасовий опір руйнуванню зразка σ_B (МПа).

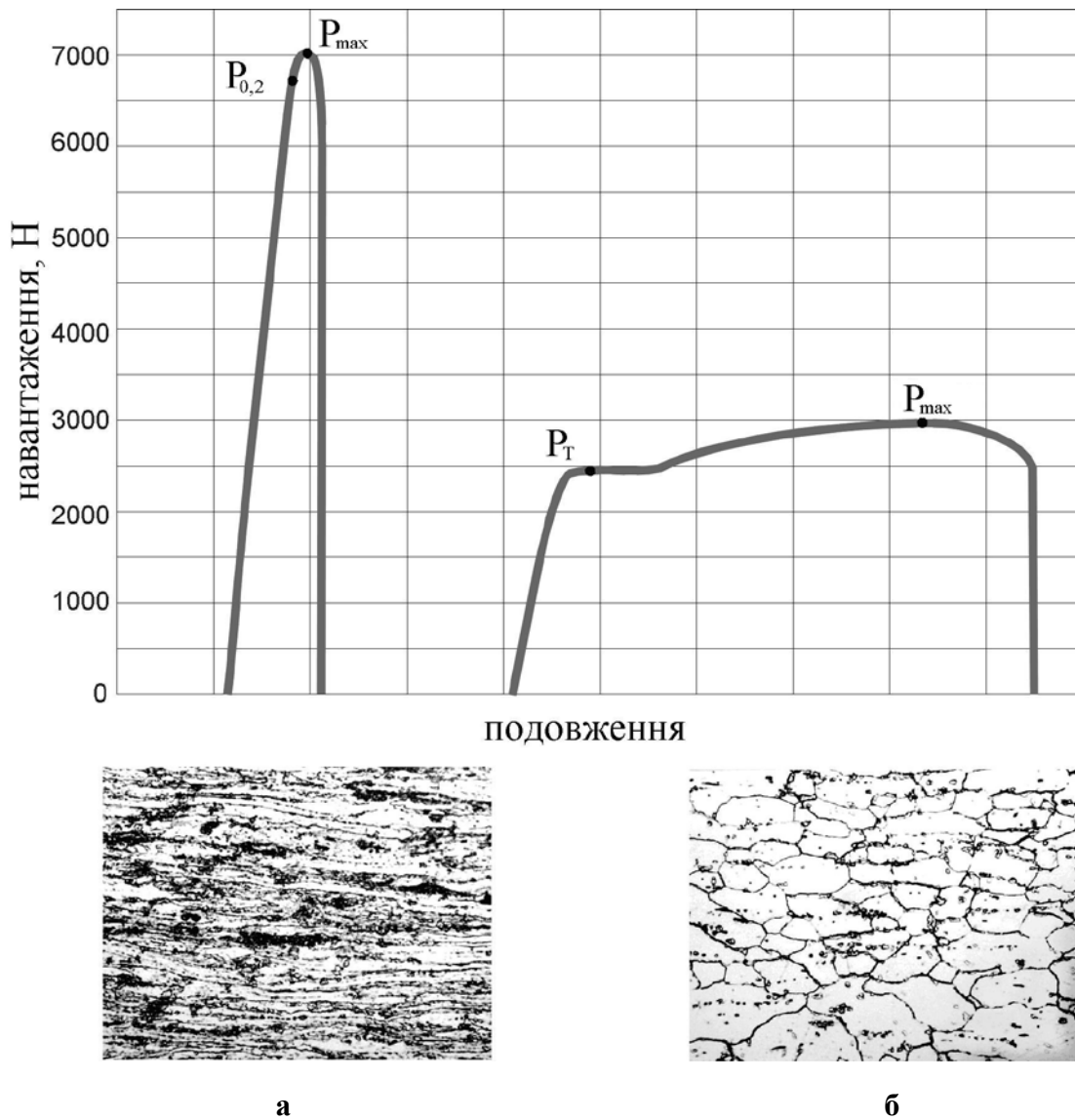


Рис. 1.7. Діаграми розтягування й мікроструктура стали 08кп, x500

а – холодна деформація; б – відпал

8. Визначити кінцеву довжину зразків і робочі розміри в місці руйнування.

9. За зміною початкової робочої довжини й площі робочої частини зразка визначити величину відносного подовження δ (%) і відносного звуження Ψ (%) зразків.

10. Результати вимірів і розрахунків занести в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

Дані для розрахунку механічних властивостей сталі 08кп

Обробка	Розміри зразка, мм (мм ²)								Навантаження, Н		Показники міцності, МПа		Показники пластичності, %	
	до випробування				після розтягнення									
	l ₀	a ₀	b ₀	F ₀	l _к	a _к	b _к	F _к	R _T R _{0,2}	P _{max}	σ _T σ _{0,2}	σ _B	δ	ψ
Відпал														
Холодна прокатка														

11. Зробити висновки про вплив пластичної деформації на характеристики міцності й пластичності сталі.

1.3. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи та висвітлити мету роботи.
2. Основні положення загальних відомостей.
3. Навести схеми технічних діаграм розтягування для відпаленої та холоднодеформованої низьковуглецевої сталі.
4. Навести формули для визначення показників міцності та пластичності відпалених та зміцнених холодною пластичною деформацією зразків.
5. Заповнити протокол випробування та зробити висновок щодо результатів визначення показників міцності та пластичності сталі 08кп від впливу холодної пластичної деформації.

1.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що характеризує технічна діаграма розтягування металу?
2. Що відбувається в металі з появою на діаграмі розтягування площадки текучості?
3. Що відбувається в металі при його зміцненні?
4. Що показує відсутність площадки текучості на діаграмі розтягування?
5. Чим відрізняється загальний вид діаграми розтягування для відпаленого металу від діаграми розтягування для холоднодеформованого?
6. Як впливає підвищення ступеня деформації металу на показники міцності?
7. Як впливає підвищення ступеня деформації металу на твердість?
8. Як впливає підвищення ступеня деформації металу на показники пластичності?
9. Якими початковими параметрами характеризується плоский зразок для випробувань на розтягування?
10. Поняття текстури деформації металу.
11. Поняття структурночутливих властивостей та їх зміна при пластичній деформації.

12. Методика визначення тимчасового опору розриву металу за технічною діаграмою розтягування.
13. Характеристики розривної машини 2166 Р-5.
14. Порядок виконання роботи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РЕКРИСТАЛІЗАЦІЇ ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНОЇ СТАЛІ

Мета роботи: визначити взаємозв'язок стадій процесу рекристалізації зі змінами мікроструктури та властивостей сталі.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

ВПЛИВ НАГРІВУ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНОГО МЕТАЛУ

Усі внутрішні зміни під час пластичної деформації, такі як викривлення кристалічних ґраток, зростання щільності дислокацій та вакансій, зміни макро- і мікроструктури, поява текстури деформації, викликають зміцнення металу. При цьому характеристики міцності (σ_B , σ_T , $\sigma_{0,2}$, твердість) зростають, а характеристики пластичності (δ , ψ) – знижуються. Зміцнення металу під дією пластичної деформації називають наклепуванням (нагартовуванням).

Деформований (наклепаний) метал є термодинамічно нестійким і тому намагається перейти у більш рівноважний стан з меншим рівнем вільної енергії. Процеси, за допомогою яких може відбутися цей перехід, здійснюються шляхом дифузії атомів в металі. Тому вирішальна роль у розвитку цих процесів належить температурі, з підвищенням якої зростає рухливість атомів і спроможність наклепаного металу до самодовільної перебудови структури.

Для зняття структурної нестабільності, спричиненої наклепуванням, застосовують відновлювальні термічні процеси, які дають змогу усунути деформаційні зміцнення й підвищити пластичні властивості сплаву. Залежно від температурного впливу на деформовані структури умовно розрізняють такі відновлювальні процеси: *відпочинок*, *полігонізація*, *рекристалізація*.

Відпочинок і полігонізацію називають відновою. Для цих стадій характерно лише часткове відновлення властивостей (рис. 2.1).

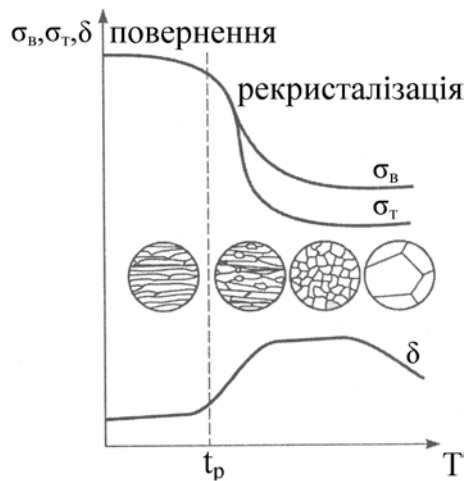


Рис. 2.1. Зміна характеристик міцності ($\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{0,2}$) і пластичності (δ) наклепаного металу при нагріванні; t_p – температура початку рекристалізації

- *відпочинок* (повернення) – здійснюється при низьких температурах нагрівання $(0,1 \dots 0,3)T_{\text{пл}}$; дає змогу частково (на 10...30%) зняти деформацію зміцнення. Перерозподіл та зменшення кількості точкових дефектів супроводжується зниженням рівня пружних деформацій. Основна частина пружної енергії, внесеної деформацією, пов'язана з високою густиною дислокацій, рухомість яких при температурах відпочинку обмежена. Структурні зміни відбуваються на субмікроскопічному рівні й простежуються за результатами дослідження фізико-механічних властивостей.

- *полігонізація* – розвивається при підвищенні температури нагрівання $(0,3 \dots 0,4)T_{\text{пл}}$. Звільнившись від атомів домішок, дислокації починають рухатися, при цьому їх щільність значно зменшується. Надлишкові крайові дислокації трансформуються в мало кутові межі, що поділяють кожне зерно на субзерна (комірки). Утворюється стабільна дислокаційна структура – полігональних меж, яка при певних умовах в сплавах складної композиції може бути стабільною та сприяє збільшенню довготривалої міцності при високих температурах (жароміцності).

На стадії **віднови** видимих змін в мікроструктурі не спостерігається (розмір та форма деформованих зерен зберігається). Проте відновлюється рівень електричного опору, підвищується щільність металу та частково зменшується твердість і міцність (рис. 2.1). Зміну в дислокаційній структурі можна виявити лише при великих збільшеннях за допомогою електронного мікроскопа.

- *рекристалізація* – процес утворення нових зерен, який відбувається за підвищених температур. Рекристалізація знімає деформаційне наклепування, метал набуває рівноважної структури з мінімальною кількістю дефектів і підвищеною в'язкістю. Формула А.А. Бочвара зв'язує температуру початку рекристалізації $T_{\text{рек}}$ із температурою плавлення металу $T_{\text{пл}}$, К (2.1):

$$T_{\text{рек}} = \alpha \cdot T_{\text{пл}}, \quad (2.1)$$

де α – коефіцієнт, що залежить від чистоти металу: чим чистіше метал, тим нижча температура початку рекристалізації.

Для технічно чистих металів $\alpha = 0,3 \dots 0,4$;
для сплавів $\alpha = 0,5 \dots 0,6$.

Процес рекристалізації протікає у дві стадії. Розрізняють рекристалізацію *первинну* (або оброблення) та *вторинну* (збірну).

Первинною рекристалізацією називають процес утворення нових рівноважних зерен на місці деформованих, витягнутих. Пластично деформовані метали можуть рекристалізуватися тільки після деформації, ступінь якої перевищує певну мінімальну величину – критичний ступінь деформації. Якщо ступінь деформації менший від критичного, то нові зерна при нагріванні не утворюються. Критичний ступінь деформації невеликий (2–8%). Наприклад: для Fe – 5%, Al – 2%. Існує також температурний поріг рекристалізації – це найменша температура нагрівання, при якій зароджуються нові зерна (формула А.А. Бочвара (2.1)).

Чим вищий ступінь деформації ε (2.2), чим більше спотворена структура, тим менш вона стійка, тим сильніше її прагнення набутти стійкого стану.

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

де F_0 і F_1 – площі перерізу відповідно до деформування і після нього.

Отже високий ступінь деформації полегшує процес рекристалізації і знижує мінімальну температуру рекристалізації.

Вторинна рекристалізація. Після завершення первинної рекристалізації у ході подальшого нагрівання (підвищення температури) відбувається зростання одних кристалів (зерен) за рахунок інших. При цьому зерна з увігнутими межами “поїдають” зерна з опуклими межами.

Даний процес обумовлений прагненням системи зменшити запас вільної енергії завдяки збільшенню зерен і скорочення сумарної поверхні.

Розмір зерна після рекристалізації суттєво впливає на властивості металу. Метали та сплави з дрібним зерном значно міцніші.

Температура рекристалізації має важливе практичне значення. Щоб відновити структуру і властивості наклепаного металу (наприклад, у разі необхідності продовжити обробку тиском, прокатуванням, волочінням тощо), його нагрівають вище температури рекристалізації. Таку обробку називають рекристалізаційним відпалом.

Пластична деформація вище температури рекристалізації до певної міри зміцнює метал, проте ефект цей нівелює подальша рекристалізація. Обробку металу тиском (вище температури рекристалізації), при якій немає зміцнення (наклепування), називають **гарячою обробкою тиском**. Обробку тиском нижче температури рекристалізації, що спричиняє *наклепування*, називають **холодною**.

2.1. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Зразки сталі 08кп, лабораторний прокатний стан, піч, термопари, АЦП ADAM 4019+/4020, комп'ютер, програма "Excel", розривна машина 2166 Р-5, набір фотографій мікроструктур.

2.2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Зразки сталі 08кп піддають холодній прокатці на лабораторному стані зі ступенем деформації 50% (додаток А).

2. Один із зразків холоднодеформованої сталі закріпити на комбінованій термопарі та установити в піч (додаток А).

3. Включити АЦП "ADAM", запустити програму "ADAM Net Utility". Установити число каналів і межі вимірювань. Установити частоту вимірювань 1 с.

4. Реєструвати криві нагрівання зразка та еталона до температури 750°C.

5. В програмі "Excel" за одержаними даними побудувати графік в координатах температура нагрівання–різність температур зразка та еталона (рис. 2.2).

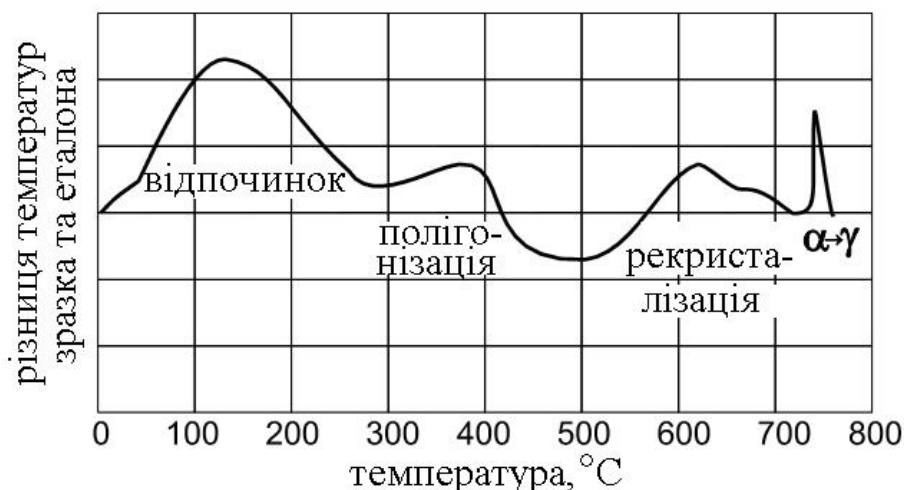


Рис. 2.2. Діаграма нагрівання холоднодеформованої сталі 08кп, визначення температурних стадій відпочинку, полігонізації та рекристалізації

6. За різністю температур зразка і еталона визначити температурні інтервали проходження процесів *відпочинку*, *полігонізації* і *рекристалізації* в зразках холоднодеформованої сталі 08кп.

7. Провести відпал холоднодеформованих зразків сталі 08кп при температурах, відповідних до проходження процесів відпочинку, полігонізації та рекристалізації тривалістю 60 хв.

8. На зразках визначити початкову робочу довжину, товщину і ширину.

9. Провести випробування зразків сталі 08кп на розтягування на машині 2166 Р-5 (рис. 1.6).

10. За технічними діаграмами розтягування холоднодеформованого і відпаленого при температурах відпочинку, полігонізації та рекристалізації

зразків, визначити навантаження, відповідне до початку пластичного пливу $R_{0,2}$ і максимального R_{max} навантаження (рис. 2.3).

11. За величиною навантаження та початкової площини робочої частини зразків визначають умовну межу плинності $\sigma_{0,2}$ (МПа).

12. Визначити тимчасовий опір руйнуванню зразків σ_B (МПа).

13. Визначити кінцеві довжини зразків.

14. За зміною початкової робочої довжини визначити величини відносного подовження δ зразків.

15. Результати вимірювань і розрахунки занести в табл. 2.1.

16. Зробити висновки про вплив температурних режимів відпалу на характеристики міцності і пластичності холоднодеформованої сталі 08кп.

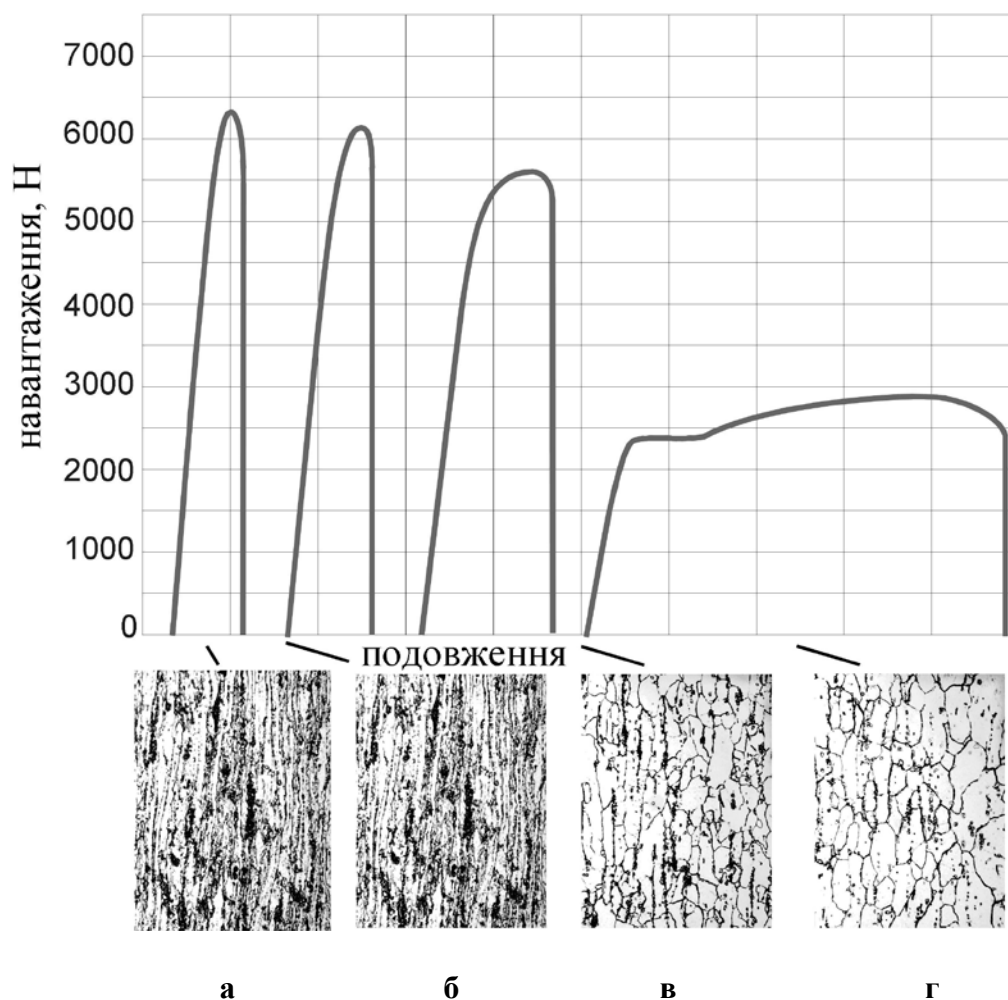


Рис. 2.3. Діаграми розтягування і мікроструктури сталі 08кп, $\times 500$:

а – холодна деформація; б – відпочинок;

в – полігонізація; г – рекристалізація

Таблиця 2.1

Дані для розрахунку механічних властивостей сталі 08кп

Вид обробки	Розміри зразка								Навантаження при випробуванні	Показники міцності		Показники пластич- ності		
	до випробування				після випробування									
	l ₀ , мм	a ₀ , мм	b ₀ , мм	F ₀ , мм ²	l _K , мм	a ₀ , мм	b ₀ , мм	F ₀ , мм ²	P _{0,2} , МПа	P _{max} , МПа	σ _{0,2} , МПа	σ _B , МПа	δ, %	Ψ, %
Холодна прокатка ε=50%														
Відпочинок														
Полігоні- зація														
Рекриста- лізація														

17. Зробити висновок про наявність ефекту деформаційного старіння в досліджуваній марці сталі.

2.3. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи та висвітлити мету роботи.
2. Основні положення загальних відомостей.
3. Побудувати графік в програмі "Excel" в координатах температура нагрівання—різниці температур зразка та еталона.
4. За різницею температур зразка і еталона визначити температурні інтервали проходження процесів *відпочинку*, *полігонізації* і *рекристалізації* в зразках холоднодеформованої сталі 08кп.
5. Навести необхідні пояснення і характеристики структури.

2.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке наклепування?
2. Як змінюються показники міцності і пластичності наклепаного металу при нагріванні?
3. Який процес називають відпочинком?
4. Що таке полігонізація?
5. Який процес називають рекристалізацією на місці?
6. Що таке первинна рекристалізація?
7. Що таке вторинна рекристалізація?
8. Як впливає ступінь деформації на температуру рекристалізації?
9. Який зв'язок між температурою початку рекристалізації і температурою плавлення?

10. Як залежить температура рекристалізації від чистоти металу?
11. Що таке температурний поріг рекристалізації?
12. Який процес називають збиральною рекристалізацією?
13. Що називають рекристалізаційним відпалом?
14. Яку обробку металу тиском називають гарячою?
15. Яку обробку металу тиском називають холодною?
15. Порядок виконання роботи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ВПЛИВ ТЕКСТУРИ НА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: Ознайомитися з методикою побудови термомеханічних кривих полімерів, визначити взаємозв'язок ступеню текстурованості матеріалу та неоднорідності його механічних властивостей.

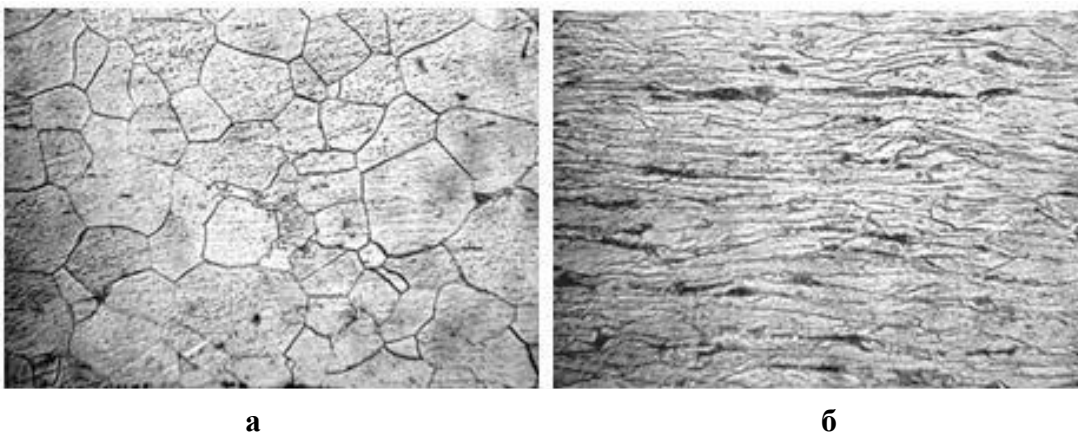
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Текстура матеріалів – переважне просторове орієнтування елементів матеріалу:

- *текстура металів* – орієнтування зерен полікристалів, виникає при направлених кристалізації, обробці тиском, відпалі (рис. 3.1);
- *текстура кераміки* – орієнтування кристалічної фази;
- *текстура термопластів* – орієнтування молекул полімеру (рис. 3.2);
- *текстура композиційних матеріалів* – орієнтування волокнистих або шаруватих армуючих елементів.

Текстура викликає неоднорідність властивостей матеріалу. Механічні властивості листа прокату в поперечному напрямку нижче, ніж в повздовжньому. Найбільш низький рівень характеристик механічних властивостей у напрямку, перпендикулярному площині листа.

Одним із способів виробництва виробів із термопластичних полімерів є видування тонкостінної оболонки з заготовок, одержаних литтям під тиском.

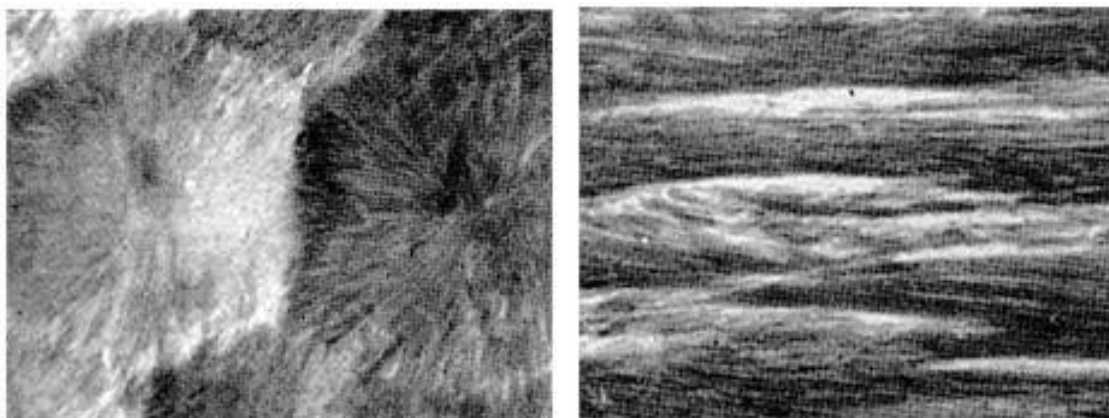


а

б

Рис. 3.1. Мікроструктура сталі 08кп, $\times 500$

а – після відпалу; б – після холодної прокатки зі ступенем деформації 75%



а

б

Рис. 3.2. Структура поліпропілену $\times 13800$
а – до деформації; б – після розтягування на 230%

Металеву оправку розміщують у формі, встановленій на ливарній машині, і одержують вилівок заготовки. Потім заготовку переміщують у форму для видування. Стисле повітря, що подається через оправку, розтягують полімерну оболонку, притискуючи її до стінок форми. Виріб набуває форму, потім охолоджується. Його вилучають після розкриття форми, складаючи стислим повітрям з оправки, або за допомогою штовхачів. На рис. 3.3 наведена схема технологічного процесу:

- а) встановлення оправки в форму для лиття;
- б) вприскування розплаву та витримування;
- в) розмикання литої форми;
- г) змикання форми для видування;
- д) видування виробу;
- е) розмикання форми та вилучення виробу.

Виготовлення порожніх виробів видуванням із ливарних заготовок скорочує використання матеріалу, на деталях відсутні шви, їх міцність підвищується.

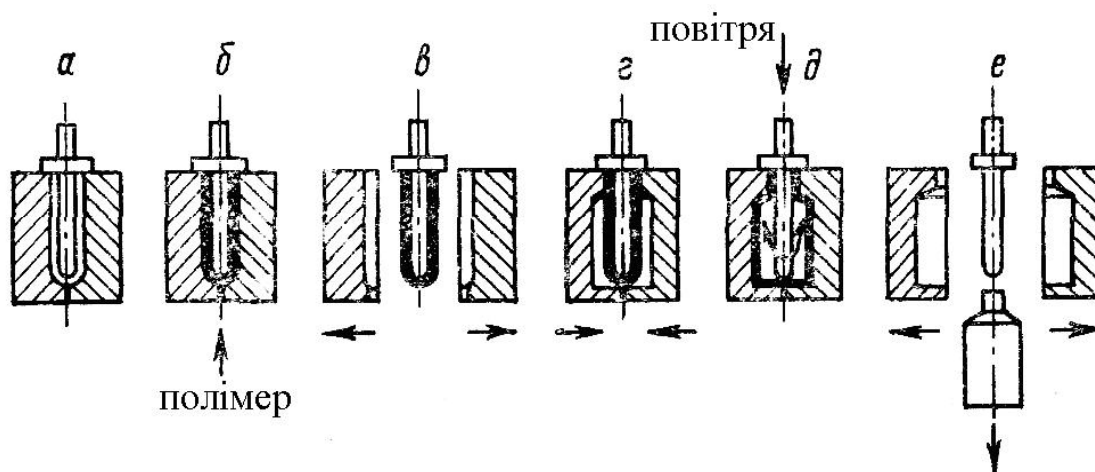


Рис. 3.3. Схема процесу видування виробів

Процес перебудови структури при розтягуванні протікає за двома схемами:

- поворот структур без їх руйнування;
- розпад вихідних елементів і утворення нових форм.

Спочатку витягуються прохідні ділянки макромолекул, розташовані в аморфних областях. По мірі збільшення ступеню деформації починається зсув ламелей однієї відносно другої, розворот їх та розкручування в площині, перпендикулярної напрямку витяжки. Можлива рекристалізація структур, які не можуть розвернутися відносно вісі витяжки. Утворюється текстура, з'являється анізотропія характеристик механічних властивостей та інших фізичних показників.

При одноосному розтягуванні структура складається з майже випрямлених ділянок прохідних молекул і ламелей, розташованих своїми площинами перпендикулярно вісі витяжки рис. 3.4.

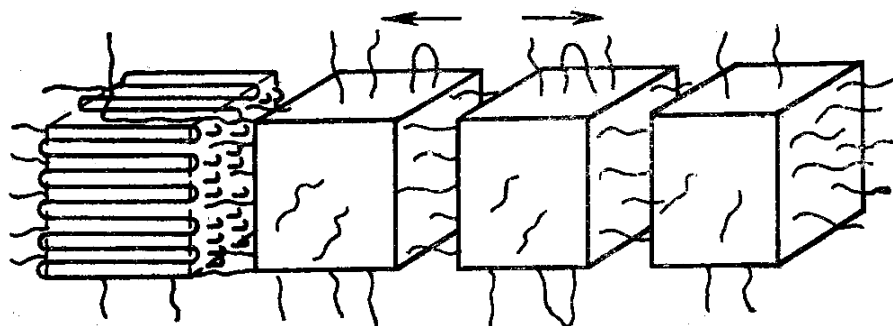


Рис. 3.4. Схема будови полімеру, деформованого розтягом в напрямку, вказаному стрілками

В площині розтягу розташована найбільша кількість прохідних молекул, що обумовлює високу міцність вздовж орієнтації. Міцність виробів у перпендикулярному напрямку значно нижче.

Характер текстури і ступінь анізотропії характеристик механічних властивостей у виробі визначається матеріалом виробу, температурним режимом і швидкістю роздування заготовки, а також співвідношенням ступенів деформації заготовки в осьовому і тангенціальному напрямі.

Різність ступенів деформації литої заготовки при видуванні виробу в повздовжньому і тангенціальному напрямках визначають по термомеханічним кривим (рис. 3.5).

Термомеханічні криві показують залежність деформації зразка ε від температури t при сталому малому навантаженні ($P = \text{const}$).

Для плівок та листів товщиною до 1,5 мм термомеханічні криві будують в умовах розтягу. Випробування проводять в рідині або в газовому середовищі. Нагрівання ведуть із швидкістю 2°C/хв. Зразок знаходиться під навантаженням 0,35 МПа. Зразки – стрічки завширшки 6–25 мм, довжиною 50–180 мм. Зразки тонких матеріалів складають з декількох шарів.

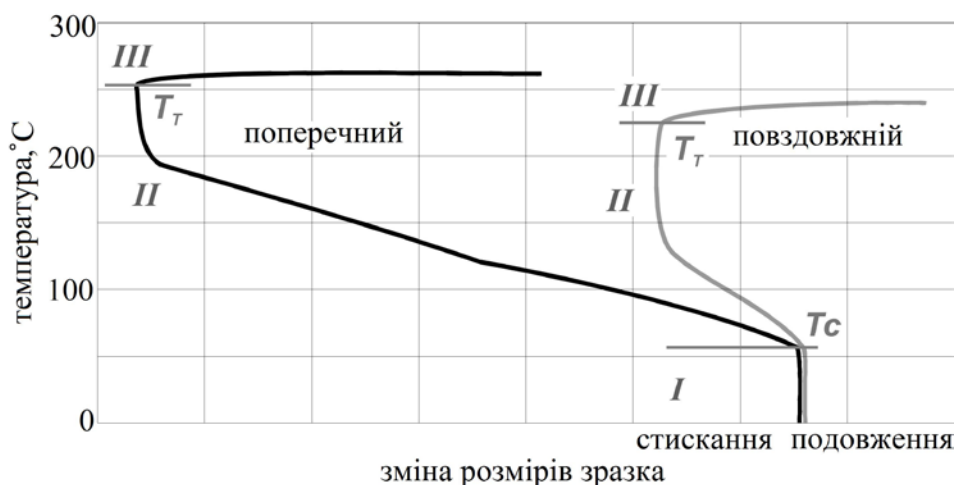


Рис. 3.5. Термомеханічні криві зразків полімерів із виробу, одержаного роздуванням литої заготовки

Ділянки кривих відповідають фізичним станам полімерів:

I – нижче температури склування T_c полімер знаходиться в склоподібному стані;

II – вище температури склування T_c полімер знаходиться в високоеластичному стані.

III – вище температури плинності T_T , полімер знаходиться в в'язко-плинному стані.

Якщо при одержанні виробу вихідна заготовка деформована розтягуванням, то при побудові ТМК в температурному інтервалі, високоеластичного стану відбувається стискання зразків, на величину відповідну попередній.

Текстура матеріалу виробу викликає різницю в характері деформації повздовжніх і поперечних зразків при випробуванні на розтягування та розкид характеристик механічних властивостей. (рис. 3.6).

Випробувальні машини реєструють *технічну діаграму розтягування* – криву змінення зусиль від абсолютного подовження зразка Δl , мм.

При випробуванні на розтягування визначають показники міцності та пластичності матеріалу.

Показники міцності – напруження, які викликають деформацію та руйнування зразка.

Межа плинності при розтягуванні σ_{PT} (МПа) (3.1):

$$\sigma_{PT} = \frac{F_{PT}}{A_0}, \quad (3.1)$$

де F_{PT} – навантаження при досягненні межі плинності, Н;

A_0 – початковий поперечний перетин зразка, мм².

Межа плинності умовна σ_{PTY} (МПа) (3.2):

$$\sigma_{PTY} = \frac{F_{PTY}}{A_0}, \quad (3.2)$$

де F_{PTY} – навантаження при досягненні умовної межі плинності, Н.

F_{PTU} визначають графічно за точкою перетину технічної діаграми розтягування з прямою, проведеною паралельно до прямолінійної початкової ділянки діаграми, на відстані від початку запису, відповідному подовженню 1%.

Міцність при розтягуванні σ_{PM} (МПа) (3.3):

$$\sigma_{PM} = \frac{F_{PM}}{A_0}, \quad (3.3)$$

де F_{PM} – максимальне навантаження при випробуваннях на розтягування, Н.

Показники пластичності – змінення розмірів зразка в результаті деформації.

Відносне подовження на межі плинності ε_{PT} (%) (3.4):

$$\varepsilon_{PT} = \frac{\Delta l_{PT}}{l_0} \cdot 100, \quad (3.4)$$

де Δl_{PT} – змінення розрахункової довжини зразка на межі плинності, мм;

l_0 – первинна розрахункова довжина зразка, мм.

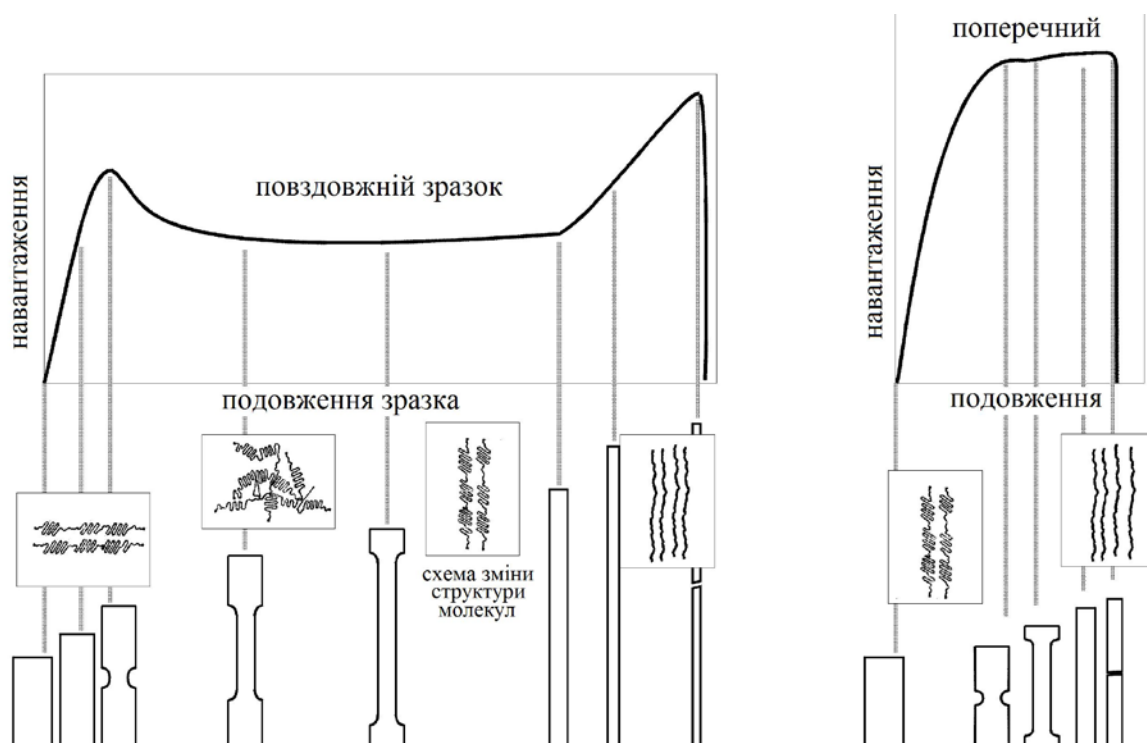


Рис. 3.6. Вплив текстури матеріалу виробу на характер деформації повздовжніх і поперечних зразків при випробуваннях на розтягування

Відносне подовження при максимальному навантаженні ε_{PM} (%) (3.5):

$$\varepsilon_{PM} = \frac{\Delta l_{PM}}{l_0} \cdot 100, \quad (3.5)$$

де Δl_{PM} – змінення розрахункової довжини зразка в момент досягнення максимального навантаження, мм.

Відносне подовження при розриві ε_P (%) (3.6):

$$\varepsilon_P = \frac{\Delta l_P}{l_0} \cdot 100, \quad (3.6)$$

де Δl_P – змінення розрахункової довжини зразка в момент розриву, мм.

3.1. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Набір зразків полімерних матеріалів, установка для реєстрації термомеханічних кривих, потенціометр ЛКД-4-003, розривна машина 2166 Р-5.

Лабораторна установка для побудови термомеханічних кривих наведена на рис. 3.7. Реєстрацію термомеханічних кривих проводять двокоординатним потенціометром ЛКД-4-003. Датчик подовження зразка виготовлено за мостовою схемою з живленням постійного струму від блоку "Б5-47". Контроль температури зразка ведеться термопарою хромель-алюмель.

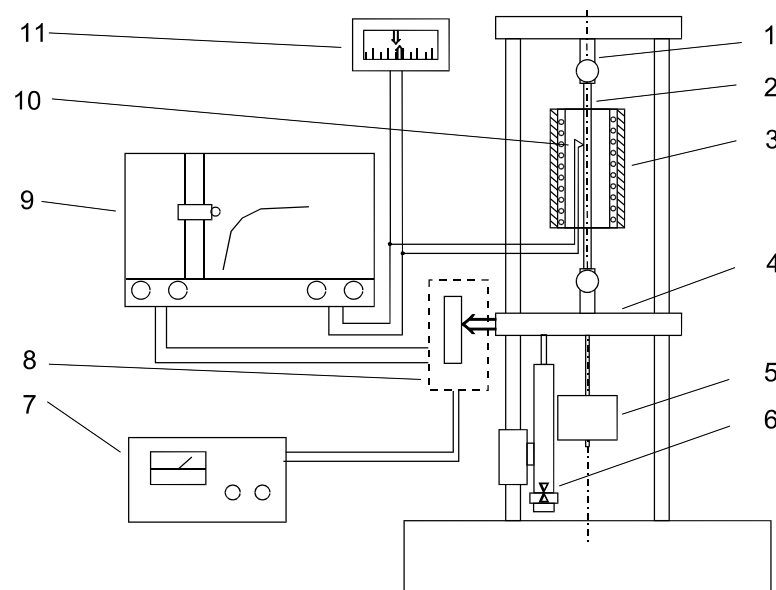


Рис. 3.7. Схема лабораторної установки для визначення теплостійкості полімерів при розтягуванні:

- 1 – нерухомий захват; 2 – зразок; 3 – піч; 4 – рухомий захват; 5 – ваги;
- 6 – пристрій для градування датчика деформації; 7 – блок живлення Б5-47;
- 8 – датчик деформації зразка; 9 – двокоординатний самописець ЛКД-4-003;
- 10 – термопара; 11 – блок управління піччю

3.2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Підготувати зразки полімерних матеріалів. Вирізати з виробу повздовжні та поперечні зразки:

- для побудови ТМК шириною 6 мм, довжиною 140 мм;
- для побудови на розтягування шириною 5 мм, довжиною 70 мм.

2. Визначити площу перетину зразків.

3. Підібрати випробувальне навантаження для побудови ТМК. Питоме навантаження згідно з ГОСТ 0,35МПа (35 г/мм²).

4. Підготувати установку до проведення випробувань.
5. Встановити зразок 6×170 мм в захвати установки.
6. Провести реєстрацію термомеханічних діаграм.
7. Визначити температурні межі областей стану полімерів.
8. Визначити деформації стискання зразків в повздовжньому і поперечному напрямках.
9. Визначити співвідношення деформацій заготовки в повздовжньому і поперечному напрямках при видуванні виробу.
- Показники міцності та пластичності матеріалів визначають за технічними діаграмами розтягування, які реєструються в процесі випробування.
10. Зразок матеріалу 5×70 мм встановити в захвати розривної машини.
11. Кнопками панелі блоку вимірювання сили встановити необхідний діапазон вимірювання зусилля.
12. Кнопками панелі блоку індикації встановити режим вимірювання подовження зразка.
- Початкову робочу довжину зразків відраховують за відстанню поміж захватами машини. Подовження при розриві визначають по зміні положення рухомої траверси.
13. Швидкість випробування встановити перемикачем панелі блоку автоматики.
14. На технічній діаграмі розтягування зразка матеріалу помітити значення максимального зусилля випробування та величини подовження зразка.
15. За технічною діаграмою розтягування повздовжнього і поперечного зразків визначають:
 - величину фізичної σ_{RT} або умовної σ_{RTU} межі плинності, залежно від виду діаграми (формули 3.1 і 3.2);
 - величину границі міцності σ_{PM} (формула 3.3);
 - величину відносного подовження ε_P (формула 3.6).
16. Результати випробувань занести в табл. 3.1

Таблиця 3.1

Механічні та теплофізичні властивості поліетилентерефталату

Зразок	Розміри зразка					Навантаження		Показники міцності		Пластичності	ТМК		
	до випробування				після								
	l ₀ , мм	a ₀ , мм	b ₀ , мм	A ₀ , мм ²	l _k , мм	F _{RT} , Н	F _{PM} , Н	σ _{RT} , МПа	σ _{PM} , МПа	ε _p , %	T _c , °C	T _t , °C	Стискання, %
повздовжній													
поперечний													

17. Визначити вплив текстури матеріалу на анізотропію характеристик механічних властивостей.

3.3. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи та висвітлити мету роботи.
2. Проаналізувати схему виробництва виробів із термопластичних полімерів.
3. Пояснити процес перебудови структури полімеру деформованого розтягом.
4. Провести реєстрацію термомеханічних діаграм.
5. Визначити деформації стискання зразків в повздовжньому і поперечному напрямках.
6. Визначити співвідношення деформацій заготовки в повздовжньому і поперечному напрямках при видуванні виробу.
Показники міцності та пластичності матеріалів визначають за технічними діаграмами розтягування, які реєструються в процесі випробування.
7. На технічній діаграмі розтягування зразка матеріалу помітити значення максимального зусилля випробування та величини подовження зразка.
8. Таблиця 3.1, висновки і пояснення впливу текстури поліетилентерефталату на анізотропію характеристик механічних властивостей.

3.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке текстура матеріалів?
2. Чим характеризується текстура металів?
3. Чим характеризується текстура кераміки?
4. Чим характеризується текстура термопластів?
5. Чим характеризується текстура композиційних матеріалів?
6. Як впливає виникнення текстури на властивості матеріалів?
7. Опишіть спосіб виготовлення виробів з термопластичних полімерів видуванням.
8. За якими схемами протікає процес перебудови структури термопластичних полімерів при розтягуванні.
9. Що характеризують термомеханічні криві?
10. Які показники міцності визначаються при випробуванні на розтягування термопластичних полімерів?
11. Які показники міцності визначаються при випробуванні на розтягування термореактивних полімерів?
12. Конструкція лабораторної установки для побудови термомеханічних кривих.
13. Порядок виконання роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко, А.П. Материаловедение: Практикум [Текст]: учебное пособие / А.П. Клименко, В.И. Овчаренко, В.В. Трофименко. – Днепропетровск: Пороги, 2011. – 186 с.
2. Бялік, О.М. Матеріалознавство [Текст]: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2008. – 384 с.
3. Черниш, І.Г. Неметалеві матеріали [Текст]: навчальний посібник / І.Г. Черниш, П.І. Лобода, С.І. Черниш. – К.: Кондор, 2008. – 406 с.
4. Горелик, С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов [Текст]: монография / С.С. Горелик. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1978. – 568 с.
5. Губенко, С.И. Физические основы пластической деформации металлов [Текст]: учебное пособие / С.И. Губенко, В.И. Большаков. – Днепропетровск: ПГАСА, 2004. – 126 с.
6. Бельченко, Г.И. Изменение структуры и свойств стали при деформации и рекристаллизации [Текст]: учебное пособие / Г.И. Бельченко, С.И. Губенко. – Днепропетровск: ДМетИ, 1978. – 116 с.
7. Малкин, А.П. Методы измерения механических свойств полимеров [Текст]: учебник для вузов / А.Я. Малкин, А.А. Аскадский, В.В. Коврига. – М.: Химия, 1978. – 336 с.

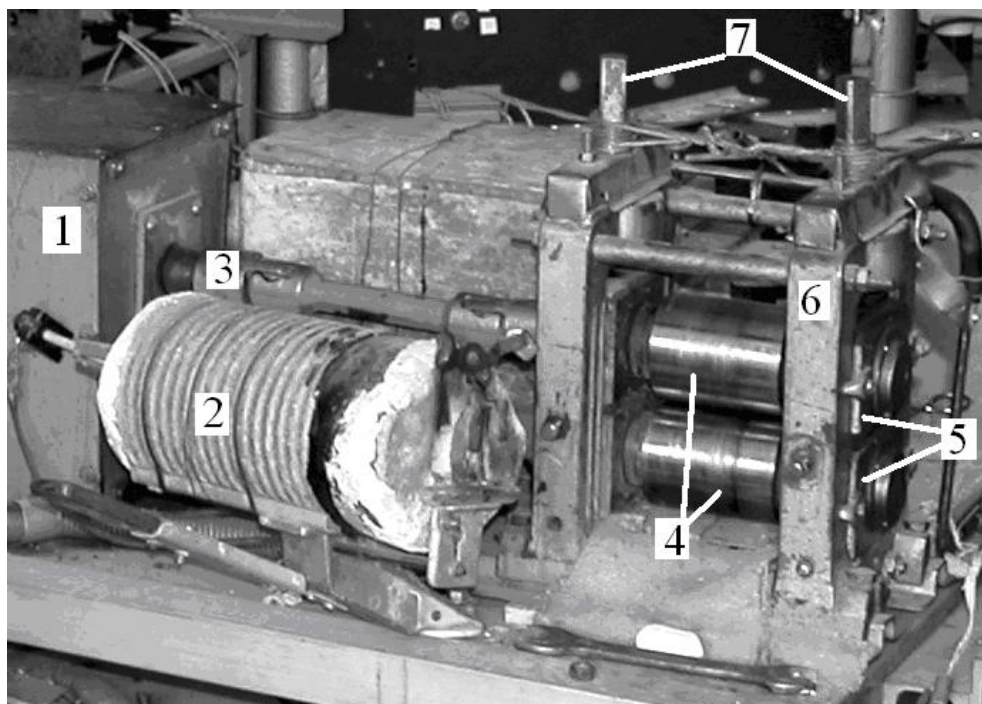


Рис. А.1. Лабораторний прокатний стан:
1 – редуктор; 2 – піч; 3 – шпиндель; 4 – валки;
5 – подушки; 6 – кліть; 7 – регулюючі гвинти

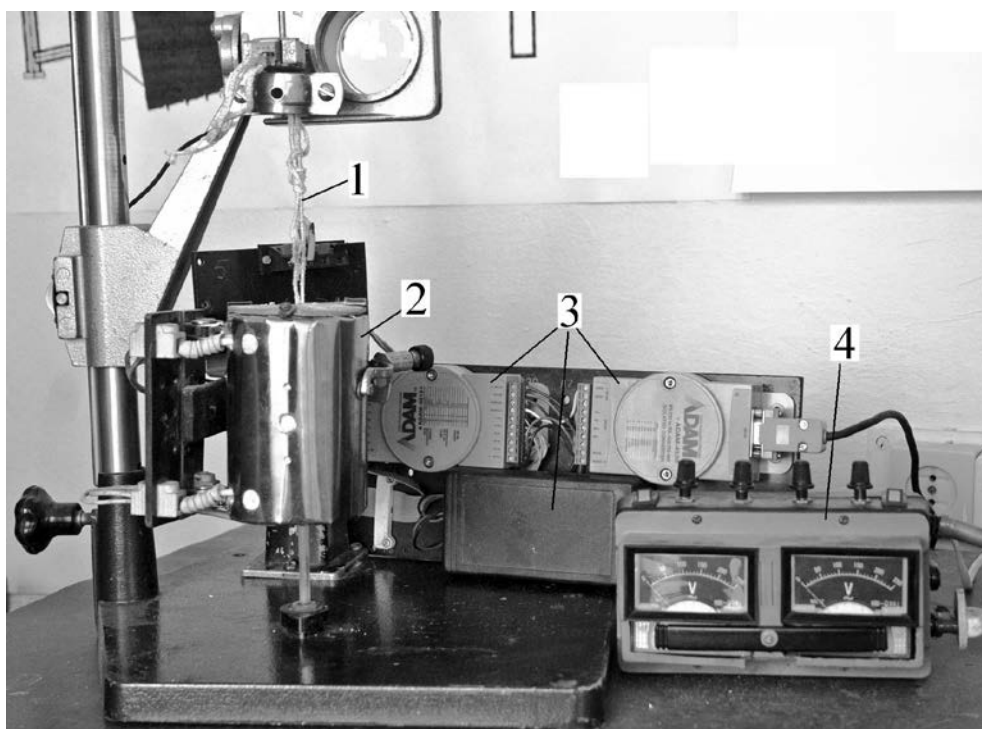


Рис. А.2. Лабораторна піч
1 – термопара; 2 – піч; 3 – аналого-цифровий перетворювач;
4 – блок управління піччю