

**Міністерство освіти і науки України**  
**Луцький національний технічний університет**



## **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО і ТКМ**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво,  
ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи»,  
ОП «Прикладна механіка», спеціальності G9 Прикладна механіка  
денної та заочної форм навчання

УДК 620.672.678  
З 12

Рекомендовано до видання вченою радою факультету транспорту та механічної інженерії ЛНТУ,  
протокол № \_\_\_\_\_ від «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 року.

Голова вченої ради факультету транспорту та механічної інженерії  
\_\_\_\_\_ І. МУРОВАНИЙ

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій  
ЛНТУ. Директор бібліотеки \_\_\_\_\_ Н.П. ПОЛЩУК

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри прикладної механіки та мехатроніки  
ЛНТУ, протокол № \_\_\_\_\_ від «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 року.

Завідувач кафедри прикладної механіки та мехатроніки \_\_\_\_\_ Р. РЕДЬКО

Укладач: \_\_\_\_\_ О.ЗАБОЛОТНИЙ,  
к.т.н., доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ.

Рецензент: \_\_\_\_\_ В.П.Кашицький, к.т.н., професор кафедри  
Матеріалознавства ЛНТУ.

Відповідальний за випуск: \_\_\_\_\_ Р. РЕДЬКО, к.т.н., доцент, завідувач  
кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ

**З 12 Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів:**  
Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 6 Інженерія,  
виробництво та будівництво ОП «Прикладна механіка», ОП  
«Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи»  
спеціальності G9 Прикладна механіка денної та заочної форм навчання /  
уклад. О.Заболотний – Луцьк: ЛНТУ, 2026.– 56 с.

Видання містить методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
відповідно до програми дисципліни «Матеріалознавство і технологія  
конструкційних матеріалів» призначене для студентів спеціальності G9  
Прикладна механіка

© О.ЗАБОЛОТНИЙ 2026

## ВСТУП

В наш час в зв'язку з бурхливим розвитком машинобудування, авіації, ракетної техніки, приладобудування, електроніки з'явилися і швидко поширилися безліч нових металевих сплавів і різноманітних неметалевих матеріалів. Властивості матеріалів визначаються їх складом і структурою. При заданому складі властивості можна суттєво змінювати шляхом пластичної деформації, термічної або термомеханічної обробки.

Раціональний підбір матеріалів при конструюванні машин, приладів та устаткування забезпечує надійність і довговічність конструкції, підвищує точність в роботі, знижує матеріаломісткість і масу виробу, поліпшує його експлуатаційні властивості та конкурентоздатність на внутрішньому та світовому ринках. Для машинобудування необхідні високоякісні матеріали, що мають високу конструкційну міцність.

Матеріалознавство вивчає різноманітні металічні і неметалічні матеріали, взаємозв'язок між їх складом, будовою і властивостями, а також різноманітні методи впливу на їх властивості шляхом обробки.

Метали та сплави на їх основі на сьогоднішній день займають домінуюче положення серед інших матеріалів завдяки своїм унікальним властивостям. Високі технологічні показники та міцнісні характеристики дозволили використання металів в різних галузях народного господарства. Вивчення будови та властивостей значно розширило область застосування металів, створило передумови до впровадження їх у важкодоступних місцях за складних умов експлуатації.

## МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСУ

**Мета вивчення дисципліни** – отримання базових знань в галузі матеріалознавства про структуру, властивості та технології обробки матеріалів, а також забезпечити набуття навичок з підготовки майбутніх інженерів високої кваліфікації, здатних здійснювати соціально-професійну та виробничо-технологічну діяльність в результаті власного особистісного та професійного саморозвитку.

### **Завдання вивчення дисципліни**

- засвоєння теоретичних основ матеріалознавства;
- ознайомлення з основними етапами розвитку інженерної діяльності;
- отримання знань про структуру та властивості конструкційних матеріалів;
- вивчення методів зміцнення матеріалів, принципів раціонального вибору матеріалу і способів його обробки;
- вивчення чорних та кольорових сплавів, сплавів з особливими властивостями, композитних та неметалевих матеріалів;
- забезпечення професійної підготовки здобувачів та підвищення ефективності їх роботи у сфері наукової та виробничої діяльності.

### **Шкала оцінювання:**

<b>За шкалою ЛНТУ</b>	<b>За національною шкалою</b>	<b>За шкалою ECTS</b>
90–100	відмінно	A (відмінно)
85–89	добре	B (дуже добре)
75-84		C (добре)
65-74	задовільно	D (задовільно)
60-64		E (достатньо)
35-59	незадовільно	FX (незадовільно з можливістю повторного складання)
1-34		F (незадовільно з обов'язковим повторним курсом)

## Лабораторне заняття № 1

### ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТОДОМ БРІНЕЛЛЯ

**Мета роботи:** отримати навички вимірювання твердості сталей на твердомірах Брінелля.

#### 1. Теоретичні відомості

Твердістю називають опір поверхневих шарів металу локальній пластичній деформації, що виникає під час втискування в поверхню металу більш твердого тіла (індентора).

Значення твердості дає можливість оцінити механічні властивості металів і їх придатність для роботи в конструкціях.

В залежності від твердості випробуваного металу і розмірів зразка застосовуються різні методи визначення твердості. **Чим більша глибина проникнення індентора, тим менша твердість металу.**

Суть методу Брінелля полягає у втискуванні сталюї загартованої кульки в зразок під дією навантаження, прикладеного перпендикулярно до поверхні зразка, протягом певного часу і вимірюванні діаметра відбитку після зняття навантаження. Для випробовувань застосовуються сталюї загартовані кульки діаметрів 1; 2; 2,5; 5; 10 мм. Витримка під навантаженням повинна бути від 10 с до 15 с для чорних металів і від 10 с до 60 с для кольорових металів.

Твердість за Брінелем позначається **HB** і визначається відношенням навантаження  $P$  до площі поверхні  $A$  сферичного сегмента:

$$HB = \frac{P}{A}, \quad (1.1)$$

де  $P$  - навантаження (Н, кГс),  $A = \pi Dh$ ,  $D$  - діаметр кульки,  $h$  - глибина відбитка (сферичного сегмента), яку можна виразити через діаметр кульки  $D$  і діаметр відбитка  $d$ .

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \quad (1.2)$$

Підставивши значення  $h$  у формулу (1.1), одержимо вираз для розрахунку твердості:

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \text{ кГс/мм}^2 \quad (1.3)$$

### Методика роботи на твердомірі Брінеля

1. Підготувати твердомір ТШ-2М (рис. 1.1) до роботи, для чого встановити відповідний індентор 3, необхідний вантаж 4, а також час витримки за допомогою електронного керування.

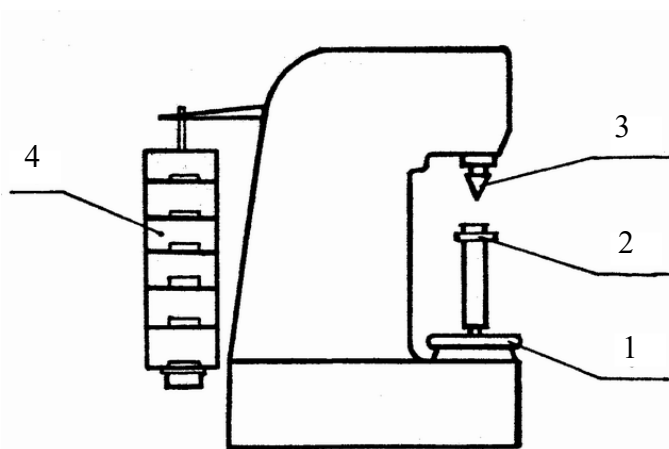


Рис. 1.1. Твердомір Брінеля ТШ-2М  
1 – маховик  
2 – столик  
3 – індентор  
4 – вантажі

2. Зачищений зразок для випробування встановити на столі 2. Обертанням за годинниковою стрілкою маховика 1 підвести зразок до дотику з кулькою 3 і, продовжуючи обертання маховика, довести до переміщення малої стрілки до мітки, створюючи попереднє навантаження.

3. Натиснувши кнопку, ввімкнути електродвигун. Прикладання основного, навантаження, витримка під навантаженням і зняття навантаження здійснюється автоматично. Після зупинки електродвигуна обертанням маховика проти годинникової стрілки опустити столик 2 і вивільнити зразок.

4. Провести три випробування на одному і тому самому зразку.

Вимірювання діаметра відтиску. Діаметр відтиску вимірюють відліковим мікроскопом (рис. 1.2).

У корпус 6 мікроскопа вставлено тубус 3 оптичної системи, у який вмонтовано окуляр 1, об'єктив 5 та сітка зі шкалою 2 для вимірювання діаметра відтисків. Обертанням окуляра 1 в протилежних напрямках піднімають або

опускають його відносно шкали, досягаючи чіткого зображення. Обертанням кільця 4, що забезпечує піднімання чи опускання тубуса 3, регулюється чіткість зображення контуру відтиску.

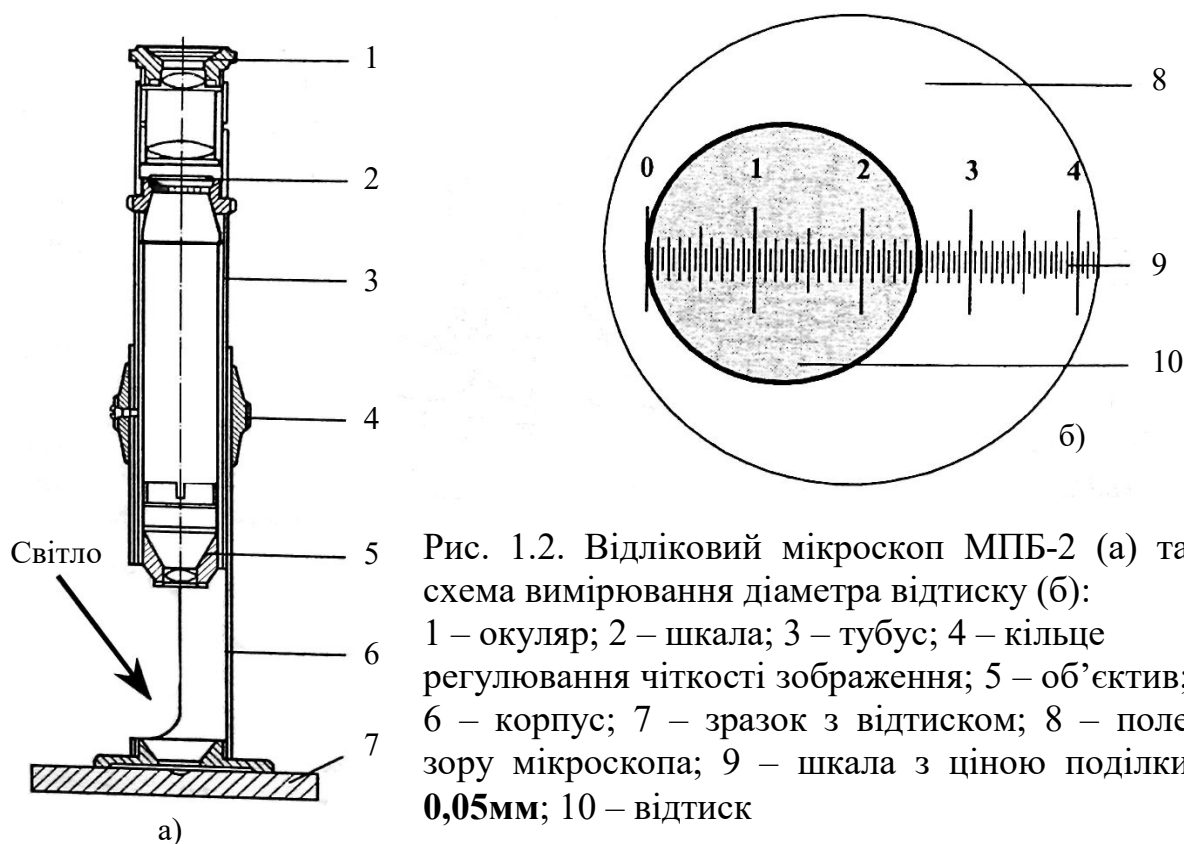


Рис. 1.2. Відліковий мікроскоп МПБ-2 (а) та схема вимірювання діаметра відтиску (б):  
 1 – окуляр; 2 – шкала; 3 – тубус; 4 – кільце регулювання чіткості зображення; 5 – об’єктив; 6 – корпус; 7 – зразок з відтиском; 8 – поле зору мікроскопа; 9 – шкала з ціною поділки **0,05мм**; 10 – відтиск

## 2. Порядок виконання роботи

1. Заміряти діаметри відбитків на шкалі мікроскопа МПБ-2 (рис. 1.2).  
 Знайти середнє значення з трьох вимірювань.

2. За середнім значенням діаметра відбитка:

- розрахувати твердість за формулою (1.3) за середнім діаметром відбитка  $d_{\text{ср}}$ ;
- знайти відповідну твердість за таблицею (додаток 1).

Таблиця 1.1. Визначення твердості за Брінелем

Матеріал, товщина зразка	Діаметр кульки D, мм	Навантаження, Н	Діаметр відбитка, мм	$d_{\text{ср}}$ , мм	НВ, МПа	
					за формулою	за таблицею

Додаток 1. Визначення твердості за Брінелем

Діаметр відбитку d10 або 2d5, або 4d2,5 мм	Число твердості НВ при навантаженні Р, Н			Діаметр відбитку d10 або 2d5, або 4d2,5 мм	Число твердості НВ при навантаженні Р, Н		
	300 D <sup>2</sup>	100 D <sup>2</sup>	25 D <sup>2</sup>		300 D <sup>2</sup>	100 D <sup>2</sup>	25 D <sup>2</sup>
2,90	4440	-	-	4,50	1790	595	149
2,95	4290	-	-	4,55	1740	581	145
3,00	4150	-	346	4,60	1700	568	142
3,05	4010	-	334	4,65	1670	555	139
3,10	3880	1290	323	4,70	1630	543	136
3,15	3750	1250	313	4,75	1590	530	133
3,20	3630	1210	303	4,80	1560	519	130
3,25	3520	1170	293	4,85	1520	507	127
3,30	3410	1140	284	4,90	1490	496	124
3,35	3310	1100	276	4,95	1460	486	122
3,40	3210	1070	267	5,00	1430	475	119
3,45	3110	1040	259	5,05	1400	465	116
3,50	3020	1010	252	5,10	1370	455	114
3,55	2930	977	245	5,15	1340	446	112
3,60	2850	950	237	5,20	1310	437	109
3,65	2770	923	231	5,25	1280	428	107
3,70	2690	897	224	5,30	1260	419	105
3,75	2620	872	218	5,35	1230	410	103
3,80	2550	849	212	5,40	1210	402	101
3,85	2480	826	207	5,45	1180	394	98,6
3,90	2410	804	201	5,50	1160	386	96,6
3,95	2350	783	196	5,55	1140	379	94,6
4,00	2290	763	191	5,60	1110	371	92,7
4,05	2230	743	186	5,65	1090	364	91,0
4,10	2170	724	181	5,70	1070	357	89,3
4,15	2120	706	176	5,75	1050	350	87,6
4,20	2070	688	172	5,80	1030	343	85,9
4,25	2010	671	168	5,85	1010	337	84,3
4,30	1970	655	164	5,90	992	331	82,6
4,35	1920	639	160	5,95	973	324	81,1
4,40	1870	624	156	6,00	955	318	79,6
4,45	1830	609	152				

Примітка. Розмірність твердості подана в МПа. Діаметр відтисків дані для кульки діаметром 10 мм. Для визначення за таблицею числа твердості при випробуванні кулькою діаметром 5 мм діаметр відтиску потрібно помножити на 2, а при випробуванні кулькою діаметром 2,5 мм – на 4.

## Лабораторне заняття № 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

**Мета роботи:** отримати навички вимірювання твердості металів на твердомірі Роквелла.

#### 1. Теоретичні відомості

Твердість за Роквеллом – безрозмірна величина, поміряна в умовних одиницях твердості. **За умовну одиницю твердості прийнято величину, що відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002мм (2мкм). Індентором є алмазний конус з кутом у вершині 120° або загартована кулька діаметром D= 1,588 мм.**

Загальне навантаження на індентор рівне сумі попереднього навантаження  $P_0$  і основного навантаження  $P_1$ .

$$P = P_0 + P_1 \quad (2.1)$$

Попереднє навантаження  $P_0$  завжди рівне 10 кГс (100 Н).

**На індикаторі приладу є дві шкали А і С - чорна зовнішня та шкала В - червона внутрішня.** Для вимірювання твердості за шкалами А і С індентором є алмазний конус, а за шкалою В – загартована кулька.

Твердість за Роквеллом не обчислюють за формулою, а вимірюють безпосередньо за шкалою індикаторного приладу (рис. 2.1). На його циферблаті нанесено дві шкали: червона В і чорна С і А, що мають по 100 поділок кожна. Шкала В зміщена відносно нуля шкали С на 30 поділок. Це викликано тим, що під час випробування кулькою глибина лунки не буває менше 0,06 мм.

Число твердості вказується безпосередньо за символом, що позначав метод вимірювання і відповідну шкалу: HRA, HRB, HRC. Матеріали та межі вимірювання твердості наведені в табл. 1. Вибір шкали залежить від виду матеріалу.

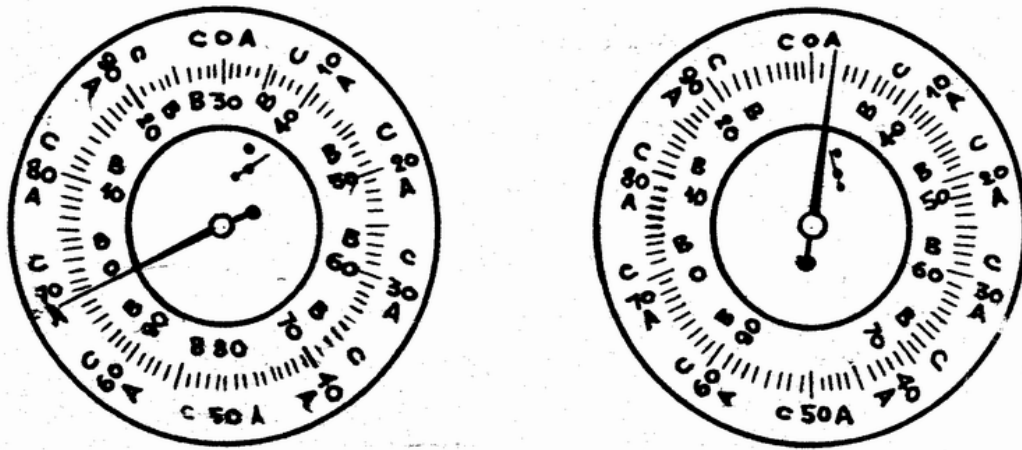


Рис. 2.1. Послідовність переміщення стрілок на індикаторі приладу ТК-2 (Роквелл) при втискуванні алмазного конуса

Таблиця 2.1. Матеріали та межі вимірювання твердості

Позначення шкали	Величина твердості	Індентор	Навантаження			Межа вимір. твердості	Матеріал
			P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P		
А-чорна зовнішня	HRA=100-e	Алмазний конус	100	500	600	70...85	Тверді сплави, тонкі листи, тонкі шари поверхні.
С-чорна зовнішня	HRC=100-e	Алмазний конус	100	1400	1500	20...67	Термічно оброблені поверхні.
В-червона внутрішня	HRB=130-e	Кулька	100	900	1000	25...100	М'які кольорові метали, чорні відпалені метали

Значення твердості за Роквеллом можна наближено перевести в значення твердості за Брінеллем (додаток 2).

## Методика роботи на твердомірі Роквелла

1. Підготувати твердомір Роквелла ТК-2 (рис. 2.2) для роботи, для чого в залежності від умов випробування встановити відповідний індентор 1, необхідний вантаж 2 і ввімкнути електродвигун приладу.

2. Розміщений на столі 3 зразок 4 обертанням за годинниковою стрілкою маховика 5 привести до дотику з індентором 1, і подальшим підйманням стола разом з зразком прикласти попереднє навантаження  $P_0=10$  кГс, при цьому мала стрілка повинна суміститися з червоною точкою на індикаторі 6 (рис. 2.1). Велика стрілка при цьому не повинна відхилитись від вертикального положення більше, ніж на 5 поділок в ту чи іншу сторону. У випадку відхилений великої стрілки більше, ніж на 5 поділок вправо, попереднє навантаження потрібно зняти, а вимірювання твердості проводити в іншій точці зразка.

3. Обертанням барабана, зв'язаного з шкалою індикатора, сумістити нуль чорної шкали з великою стрілкою.

4. Натисненням на клавішу 8 створюється загальне навантаження, після закінчення втискування загальне навантаження автоматично знімається; велика стрілка індикатора вказує на відповідній шкалі число твердості за Роквеллом.

5. Обертанням проти годинникової стрілки маховика 5 опустити стіл 3, вивільнити зразок 4.

6. Випробування кожного зразка провести не менше 3 разів.

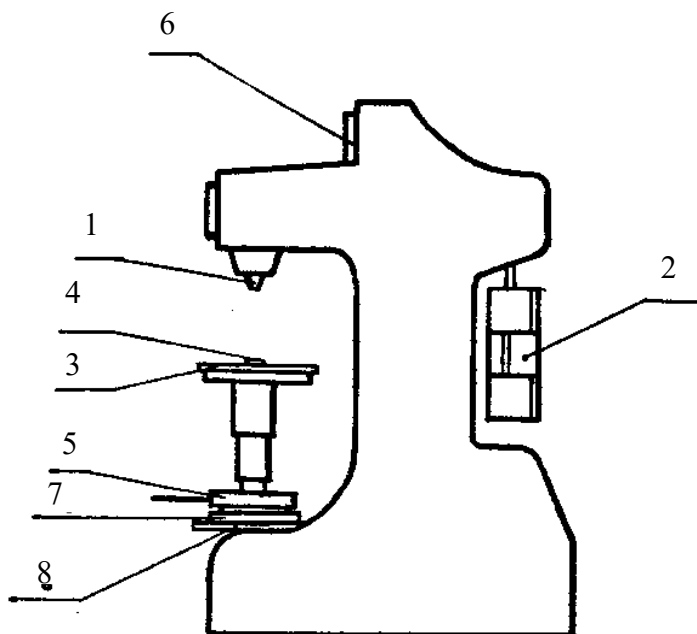


Рис. 2.2. Твердомір

Роквелла ТК-2:

- 1 – індентор;
- 2 – вантажі;
- 3 – столик;
- 4 – зразок;
- 5 – маховик;
- 6 – індикатор;
- 7 – барабан;
- 8 – ручка пуску

## 2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з методикою роботи на твердомірі Роквелла.
2. Одержати зразки і визначити їх твердість. Результати занести до табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Величина твердості за Роквеллом

Матеріал і товщина зразка	Індентор	Навантаження Р, Н	Шкала	Величина вимірюв. твердості	Твердість, середнє значення	Число твердості за Брінелем, МПа

Додаток 2. Співвідношення числа твердості за Брінелем і Роквеллом

Твердість за Брінелем *		Твердість за Роквеллом			Твердість за Брінелем *		Твердість за Роквеллом		
Діаметр відбитку, мм	НВ	HRC	HRB	HRA	Діаметр відбитку, мм	НВ	HRC	HRB	HRA
2,20	7800	72	-	84	4,00	2290	20	100	61
2,30	7120	68	-	82	4,10	2117	17	98	60
2,40	6530	64	-	80	4,20	2070	14	95	59
2,50	6010	60	-	78	4,30	1970	12	93	58
2,60	5550	56	-	77	4,40	1870	9	91	57
2,70	5140	52	-	75	4,50	1790	7	90	56
2,80	4770	49	-	74	4,60	1700	4	88	55
2,90	4440	4	-	73	4,70	1630	2	86	53
3,00	4150	43	-	72	4,80	1560	0	84	52
3,10	3880	41	-	71	4,90	1490	-	82	-
3,20	3630	39	-	70	5,00	1430	-	80	-
3,30	3410	36	-	68	5,10	1370	-	78	-
3,40	3210	33	-	67	5,20	1310	-	76	-
3,50	3020	31	-	66	5,30	1260	-	74	-
3,60	2850	29	-	65	5,40	1210	-	72	-
3,70	2690	27	-	64	5,50	1160	-	70	-
3,80	2550	25	-	63	5,60	1110	-	67	-
3,90	2410	23	102	62	5,70	1070	-	65	-

\* Діаметр кульки 10 мм, навантаження 30 000Н; розмірність твердості в МПа

## Лабораторне заняття № 3

### СТАТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ НА РОЗТЯГ

**Мета роботи:** ознайомитись з видами деформації та механічними властивостями матеріалів; вивчити методику статичних випробувань на розтяг, навчитись визначити основні характеристики міцності й пластичності досліджуваних сплавів.

#### 1. Теоретичні відомості

##### Деформація та механічні властивості

Під час експлуатації вироби, елементи споруд зазнають різноманітних силових навантажень. **Дія навантаження викликає деформацію матеріалу, тобто зміну його розмірів і форми.** Розрізняють два види деформації – пружну й пластичну.

**Пружна деформація** зумовлена дією нормальних (перпендикулярних до площини, на яку вони діють) зусиль, внаслідок чого відбувається зміщення атомів із положень рівноваги (ці положення визначаються зрівноважуванням сил притягання електронів атома з ядрами сусідніх атомів та сил відштовхування ядер сусідніх атомів). Атоми зміщуються без зміни сусідів на відстані, що не перевищують міжатомних відстаней. Тому пружна деформація має зворотний характер, тобто в результаті усунення навантаження атоми повертаються до початкових місць рівноваги, внаслідок чого пружна деформація зникає і виріб набуває попередньої форми й розмірів.

**Пластична деформація** зумовлена незворотним переміщенням атомів у певних площинах під впливом діючих у них дотичних сил. Вона не зникає після розвантаження матеріалу й тому її ще називають *незворотною* або *залишковою*. Зі зростанням навантаження деформування закінчується **руйнуванням, тобто порушенням суцільності матеріалу.**

Залежно від внеску пластичної деформації в загальний процес деформування аж до руйнування матеріалу розрізняють **пластичні й крихкі** матеріали. Разом з тим, залежно від умов навантаження (температура, швидкість

деформування) один і той самий матеріал може перебувати в пластичному або крихкому стані. Пластичному стану матеріалу властива істотна пластична деформація перед руйнуванням. У крихкому стані матеріал руйнується без помітної пластичної деформації катастрофічно швидко, у зв'язку з чим матеріали в такому стані не застосовують для виготовлення навантажених деталей машин чи елементів конструкцій.

Поведінку матеріалів у навантаженому стані характеризують **механічні властивості**. До основних механічних властивостей матеріалів відносять:

- **пружність** – здатність матеріалу відновлювати свою форму та розміри після припинення дії сил, що викликали його деформацію;
- **міцність** – здатність матеріалу чинити опір деформуванню й руйнуванню;
- **пластичність** – здатність матеріалу під дією навантаження пластично деформуватися без руйнування, зберігаючи змінену форму й розміри (залишкову деформацію) після припинення дії навантаження;
- **твердість** – здатність поверхневого шару матеріалу опиратися докальній пластичній деформації;
- **ударна в'язкість** – здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під дією динамічних навантажень;
- **втомна міцність** – здатність матеріалу опиратися втомному руйнуванню, яке викликає дія тривалого повторно-змінного навантаження.

#### Класифікація механічних випробувань

За характером зміни навантаження в часі розрізняють:

- **статичні випробування**, за яких одноразово прикладене навантаження плавно і порівняно повільно зростає від мінімальної до максимальної величини;
- **динамічні (ударні) випробування**, за яких навантаження прикладаються одноразово й з великою швидкістю зростають від найменшої до найбільшої величини;
- **втомні випробування**, за яких навантаження прикладаються багаторазово і можуть змінюватися не тільки за величиною, а й за напрямком, причому з різними швидкостями навантаження та розвантаження.

Основні стандартні характеристики міцності подаються умовними нормальними напруженнями — відношеннями відповідних зусиль  $F$  (рис. 3.1) до початкової площі поперечного перерізу зразка  $S_0$ . Зусилля визначають розрахунковим способом за показами тензометрів, прикріплених до поверхні зразків або графічним способом на діаграмі розтягання.

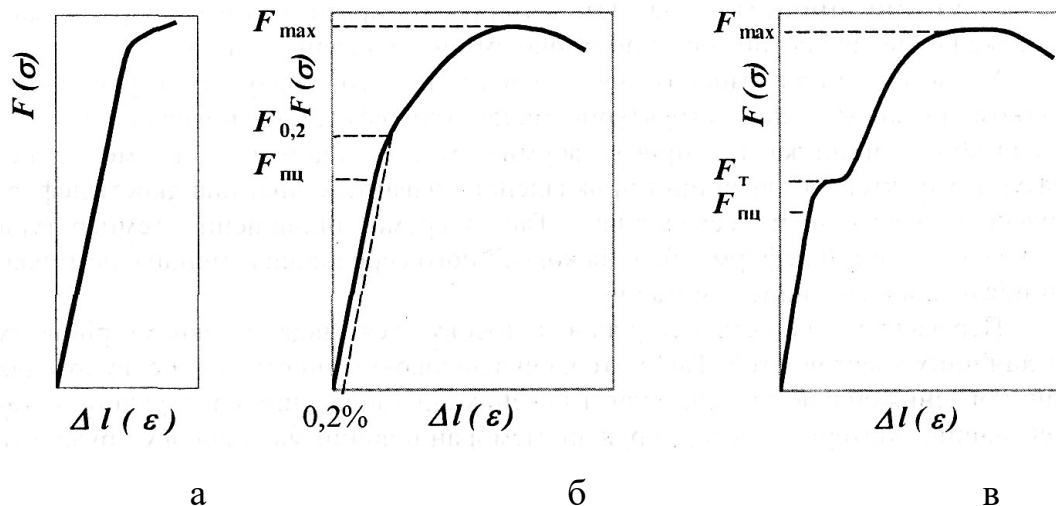


Рис. 3.1. Схеми діаграм розтягання матеріалів:

а - крихких; б - міцних; в - пластичних

**Границю пропорційності**  $\sigma_{np}$  - умовне напруження, до якого в матеріалі зберігається лінійна залежність між навантаженням і видовженням, вираховують за формулою

$$\sigma_{np} = \frac{F_{np}}{S_0} \quad (3.1)$$

**Границю текучості фізичну**  $\sigma_T$  визначають як найменше напруження, за якого зразок деформується без помітного зростання навантаження і якому відповідає сходинка текучості на діаграмі розтягання (рис. 3.1, в):

$$\sigma_T = \frac{F_T}{S_0} \quad (3.2)$$

**Границю текучості умовну**  $\sigma_{0.2}$ , при якій величина пластичної (залишкової) деформації сягає 0,2 %, визначають за відсутності на кривій розтягання сходинки текучості (рис. 3.1, б) за формулою

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (3.3)$$

**Границю міцності**  $\sigma_B$  – напруження, яке відповідає найбільшому зусиллю  $F_{\max}$  (рис. 3.1, б, в), що витримує зразок перед руйнуванням, вираховують за формулою

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad (3.4)$$

Для визначення границі міцності зразок плавно навантажують до руйнування.

### **Визначення характеристик пластичності**

**Пластичність матеріалу характеризують відносні видовження та звуження.**

**Відносне видовження** зразка після руйнування  $\delta$  (%) визначають за формулою

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (3.5)$$

де  $l_0$  і  $l_k$  – відповідно початкова й кінцева розрахункова довжина зразка.

**Відносне звуження**  $\psi$  (%) вираховують за формулою

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

де  $S_0$  і  $S_k$  — площа відповідно початкового перерізу зразка та перерізу у місці руйнування (шийки).

## **2. Порядок виконання роботи**

Статичні випробування на розтяг:

1. Заміряти штангенциркулем початкові розміри зразків з різних матеріалів, перевірте відповідність їх розмірів вимогам стандарту.
2. Позначте на зразках початкову розрахункову довжину.

3. Підготувати розривну машину до випробування: установити відповідний діапазон навантаження, масштаб запису видовження на діаграмі розтягання, швидкість деформування.

4. Провести випробування зразків на розтягання аж до руйнування. Початкові й кінцеві розміри зразків, максимальне зусилля до руйнування записати у протокол випробувань (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Протокол статичних випробувань зразків на розтягання

Початкова ширина, мм	
Початкова товщина, мм	
Початкова площа поперечного перерізу, мм <sup>2</sup>	
Початкова робоча довжина, мм	
Ширина в місці руйнування, мм	
Товщина в місці руйнування, мм	
Площа поперечного перерізу в місці руйнування, мм <sup>2</sup>	
Робоча довжина після руйнування, мм	
Зусилля границі текучості, Н	
Максимальне зусилля, Н	
Границя текучості, МПа	
Границя міцності, МПа	
Відносне видовження, %	
Відносне звуження, %	

5. Розрахувати за формулами (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6) відповідно границю текучості (умовну чи фізичну), границю міцності, відносне видовження та відносне звуження. Результати записати в протокол випробувань.

## Лабораторне заняття № 4

### ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи:** ознайомитись з поняттям ударної в'язкості матеріалів і вивчити методику її визначення. Навчитись визначати ударну в'язкість та аналізувати вид зламу зразків.

#### 1. Теоретичні відомості

Різноманітні деталі машин та елементи металоконструкцій зазнають під час експлуатації ударних навантажень. Тому для визначення здатності металів витримувати такі навантаження проводять динамічні випробування, серед яких найпоширенішими є випробування на ударний згин, швидкість деформування під час яких сягає 3-5 м/с. Така велика швидкість деформування порівняно зі швидкістю деформування під час статичних випробувань ( $10^{-5}$ - $10^{-2}$  м/с) збільшує жорсткість напруженого стану матеріалу та ймовірність його крихкого руйнування. Завдяки цьому, випробування на ударний згин з визначенням ударної в'язкості застосовують також для оцінки схильності металів до крихкого руйнування.

Здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під дією динамічних навантажень характеризує **ударна в'язкість, яку визначають як відношення питомої роботи надрізаних призматичних зразків до площі їх поперечного перерізу.**

Ударну в'язкість визначають на зразках у вигляді брусків прямокутного перерізу розміром 10x10x55 мм, які піддавали руйнуванню ударом впоперек. Відстань між опорами для зразків складала  $40 \pm 0,2$  мм; краї опор заокруглені радіусом 3 мм.

З одного боку зразка посередині виконується концентратор напружень у вигляді U- чи V-подібного надрізу, а для особливо жорстких умов випробування – втомної тріщини (Т) на дні V-надрізу. Стандарт встановлює 20 типорозмірів зразків з різними видами концентраторів.

Зразок встановлюють на опори маятникового копра (рис. 4.1, а, г) і руйнують з протилежного до надрізу боку ударом відпущеного з певної висоти молота маятника. Метою випробування на копрі є визначення роботи руйнування зразка  $K$ . Перед початком випробування, маятник вагою  $Q$  з відстанню  $l$  до осі обертання, піднятий на висоту  $H$  (кут  $\alpha_1$ ) відносно зразка (рис. 4.1, б), має запас потенціальної енергії

$$K_1 = Q \cdot H = Q \cdot l \cdot \cos \alpha_1 \quad (4.1)$$

Під час вільного падіння маятника частина цієї енергії  $K$  витрачається на руйнування зразка, а решта енергії  $K_2$  забезпечує піднімання маятника на висоту  $h$  з енергією

$$K_2 = Q \cdot h = Q \cdot l \cdot \cos \alpha_2 \quad (4.2)$$

Отже, робота руйнування зразка

$$K = K_1 - K_2 = Q \cdot (H - h) \quad (4.3)$$

На основі цієї залежності вимірювальний пристрій маятникового копра показує значення роботи ( $K$ ) в Дж (або в кГс·м).

На практиці роботу  $K$  розраховують за формулою:

$$K = Q \cdot l \left[ (\cos \beta - \cos \alpha) - (\cos \gamma - \cos \alpha) \frac{\alpha + \beta}{\alpha + \gamma} \right] \quad (4.4)$$

де  $Q$  – маса маятника, кг;

$l$  – довжина маятника, град;

$\alpha$  – кут зарядки маятника, град;

$\beta$  – кут підйому маятника після руйнування зразка, град;

$\gamma$  – кут підйому маятника при холостому ході, град.

**Ударну в'язкість (КС)** визначають в кДж/м<sup>2</sup> як відношення роботи руйнування зразка  $K$  (Дж) до площі його поперечного перерізу  $S_0$  (см<sup>2</sup>) у місці концентратора:

$$КС = \frac{K}{S_0} \quad (4.5)$$

Для позначення ударної в'язкості до символу КС додається третя літера – U, V або T, яка характеризує тип концентратора напружень, наприклад КСУ.

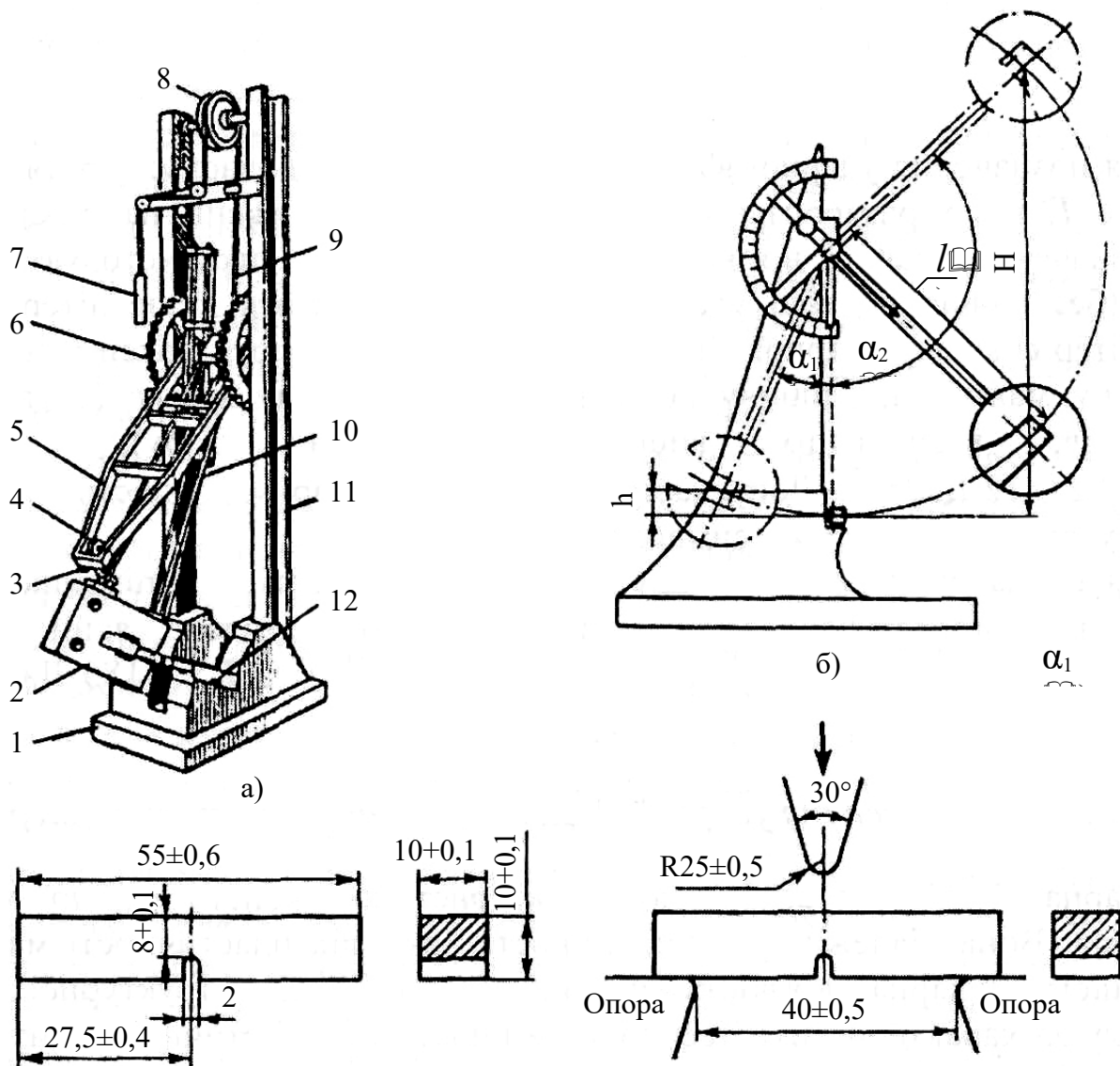


Рис. 4.1. Устаткування та зразки для визначення ударної в'язкості:

а – загальний вигляд маятнікового копра МК-30; б – схема маятнікового копра; в – зразок для випробувань; г – схема розміщення зразка на опорах копра; 1 – основа копра; 2 – маятник; 3 – замок; 4 – запобіжний диск; 5 – опорна рама; 6 – храповий механізм кріплення опорної рами; 7 – вантаж; 8 – нерухомий блок; 9 – стрічкове фрикційне гальмо; 10 – стрижні кріплення маятника до осі обертання; 11 – опора.

### *Застосування ударної в'язкості для оцінки стану матеріалу*

Мале значення ударної в'язкості свідчить про крихкий стан матеріалу, тобто про його схильність до крихкого руйнування. Крихке руйнування належить до найнебезпечніших видів руйнування, тому що проходить катастрофічно швидко під дією відносно малих навантажень (менших за границю текучості) без помітних слідів пластичної деформації. Тріщина після досягнення критичного розміру починає рости дуже швидко (зі швидкістю, близькою до швидкості звуку в матеріалі) за рахунок накопиченої в матеріалі енергії пружного деформування, не потребуючи зростання зовнішнього навантаження.

У в'язкому стані матеріал має велику ударну в'язкість. В'язке руйнування супроводжується значною пластичною деформацією. Магістральна тріщина росте відносно повільно, оскільки на її поширення витрачається значна енергія у вигляді роботи, яку виконує зовнішнє навантаження, напруження від якого повинно перевищувати границю текучості матеріалу. Тому цей вид руйнування не є таким небезпечним, як крихке руйнування.

Характер руйнування матеріалу можна визначити за макроскопічною будовою зламу. У разі крихкого руйнування поверхня зламу блискуча, оскільки його тріщина переважно поширюється вздовж різноорієнтованих кристалографічних площин (фасеток), які добре відбивають світло. Місце крихкого зламу майже не деформоване.

Поверхня зламу після в'язкого руйнування складається з мікроскопічних ямок з витягнутими краями, тому при візуальному огляді вона має волокнисту будову з матовим забарвленням. Місце в'язкого зламу zdeформоване внаслідок інтенсивної пластичної деформації.

У матеріалах з середнім рівнем ударної в'язкості зміна напруженого стану під час руйнування може спричинити в різних ділянках виробу чи зразка руйнування за різними механізмами. Відповідно й злам матиме ділянки в'язкого й крихкого руйнування. Такий злам називають змішаним.

## 2. Порядок виконання роботи

1. Виміряйте з точністю до 0,1 мм ширину  $B$ , висоту  $H$ , глибину концентратора  $h$  зразка, розрахуйте площу поперечного перерізу  $S_0$  зразка в місці надрізу.
2. Підніміть опорну раму 5 в храповому механізмі, маятник 2 та закріпіть його в рамі замком 3 (рис. 3.1, а).
3. Поставте зразок на опори копра так, щоб надріз був з протилежного боку до місця удару маятника (рис. 3.1, г), і відцентруйте його за допомогою шаблона.
4. Підніміть опорну раму 5 і зафіксований замком 3 маятник 2 на потрібну висоту, яка визначає запас енергії маятника відносно зразка. Забороняється перебувати під маятником, оскільки випадкове відмикання замка і звільнення маятника може спричинити важку травму.
5. Виставте показник вимірювального пристрою на "0" шкали.
6. Поставте захисну сітку для захисту від половинок зразка, що можуть розлітатися в усі боки внаслідок його руйнування.
7. Відімкніть замок та відпустіть маятник для вільного падіння. Після руйнування зразка відчитайте значення роботи руйнування зразка зі шкали вимірювального пристрою.
8. За формулою (4.5) обчисліть значення ударної в'язкості КСУ.
9. Якщо зразок не зруйнувався, то відзначте це в протоколі випробувань. Для випробування іншого зразка з такого ж матеріалу підніміть опорну раму вище для збільшення запасу потенціальної енергії маятника.
10. Дослідіть та проаналізуйте характер зламу. Для змішаного зламу оцініть кількісне співвідношення в'язкої та крихкої складових зламу, їх взаємне розташування. Висновки запишіть у протокол випробувань.

**Лабораторне заняття № 5**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРВИННОЇ САМОВІЛЬНОЇ**  
**КРИСТАЛІЗАЦІЇ**

**Мета роботи:** ознайомитись з процесом формування структури кристалічних тіл при первинній самовільній кристалізації.

**1. Теоретичні відомості**

**Енергетичні умови кристалізації**

**Перехід речовини з рідкого чи газоподібного стану в твердий з утворенням кристалічної структури називається первинною кристалізацією.**

**Утворення нових кристалів в твердому кристалічному стані називається вторинною кристалізацією.**

Енергетичний стан системи при сталому об'ємі і даній температурі  $T$  характеризується вільною енергією Гельмгольца  $F$ , яка визначається як

$$F = U - T \cdot S, \quad (5.1)$$

де  $U$  – внутрішня енергія,  $S$  – ентропія системи. Ентропія системи  $S$  визначається ймовірністю існування стану системи, яка пропорційна числу способів, якими може бути здійснено даний стан. Наприклад, ентропія  $S_p$  рідкого стану більша, ніж ентропія  $S_T$  твердого стану, оскільки в структурі рідини більший безпорядок в розміщенні частинок (атомів, молекул).

У випадку змінного тиску  $p$  і об'єму енергетичний стан системи характеризується вільною енергією Гіббса

$$G = U + p \cdot V - T \cdot S, \quad (5.2)$$

де величину  $H = U + P \cdot V$  називають ентальпією (тепломісткістю) системи.

Чим більша вільна енергія системи, тим вона менш стійка. Різні фізичні процеси (в т.ч. і процеси фазових перетворень) відбуваються таким чином, що система прагне зняти стан з найменшим запасом вільної енергії.

Самовільна кристалізація металу обумовлена прагненням системи до рівноваги, тобто до стану з меншим запасом енергії.

Як видно з (5.1) при збільшенні температури  $T$  вільна енергія  $F$  буде зменшуватися, оскільки внутрішня енергія  $U$  при цьому змінюється мало, а  $S > 0$ . Відповідно до цього схематично покажемо характер зміни вільної енергії  $F$  в рідкому і твердому стані (рис. 5.1.).

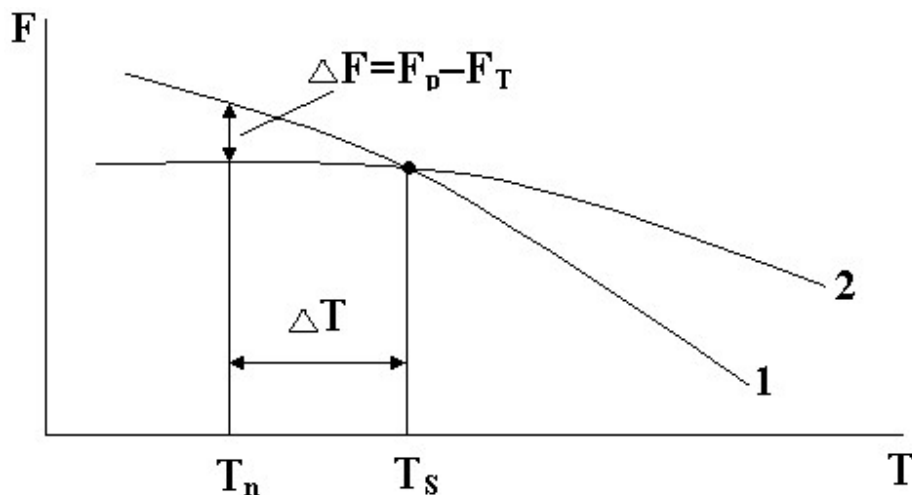


Рис.5.1. Зміна вільної енергії  $F_p$  в рідкому (1) і  $F_T$  – в твердому (2) стані в залежності від температури  $T$ . (Крива (1) йде більш круто, бо  $S_p > S_T$ )

Як бачимо (рис. 5.1), при  $T = T_S$ ,  $F_p = F_T$ , тобто буде рівновага твердої і рідкої фази, тому температура  $T_S$  називається **рівноважною**.

При  $T < T_S$  система намагається зайняти твердий стан, оскільки  $F_p < F_T$ .

Таким чином, кристалізація рідини буде відбуватися при  $T < T_S$ , тобто при деякому переохолодженні. **Ступінь переохолодження  $\Delta T$**  визначається як

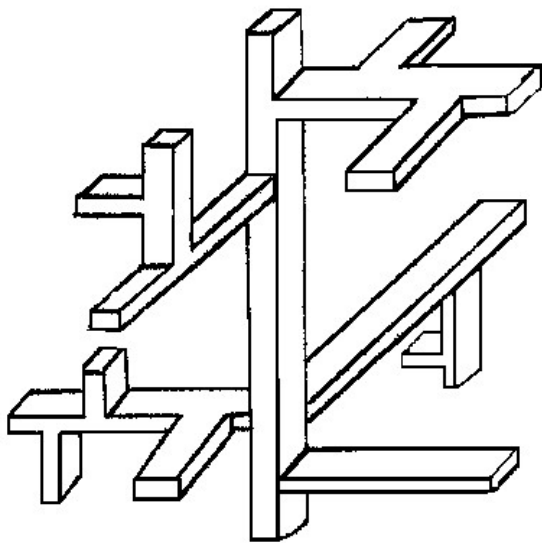
$$\Delta T = T_S - T_n, \quad (5.3)$$

де  $T_n$  – фактична температура кристалізації.  $\Delta T$  залежить від природи і чистоти металу. При підвищенні чистоти металу і збільшенні швидкості охолодження його, ступінь переохолодження  $\Delta T$  зростає.

Самовільний ріст зародків відбувається шляхом приєднання до його поверхні окремих атомів (молекул).

Переважаюча забудова площин з щільною упаковкою обумовлює більшу швидкість росту кристалів в певних напрямках, що спричиняє дендритну

кристалізацію. При цьому вітки дендритів поступово заповнюють весь об'єм металу, що твердне (рис. 5.2). Оскільки в металі існує багато центрів кристалізації в процесі їх росту та дотику відбувається спотворення форми і розмірів.



**Дендрити неправильної форми називають кристалітом або зерном.**

Рис. 5.2. Схема дендрита

Типова структура зливка складається з трьох зон (рис. 5.3). Рідкий метал найбільше переохолоджується в місцях дотику з холодними стінками виливниці, що сприяє утворенню на поверхні зливка зони дрібних рівновісних кристалів (1). Далі утворюється зона стовпчастих подовжених кристалів (2), розміщених нормально по відношенню до стінок виливниці. В середині зливка де спостерігається найменше переохолодження  $\Delta T$  і відсутнє напрямлене відведення тепла, утворюються рівновісні великі кристали (3).

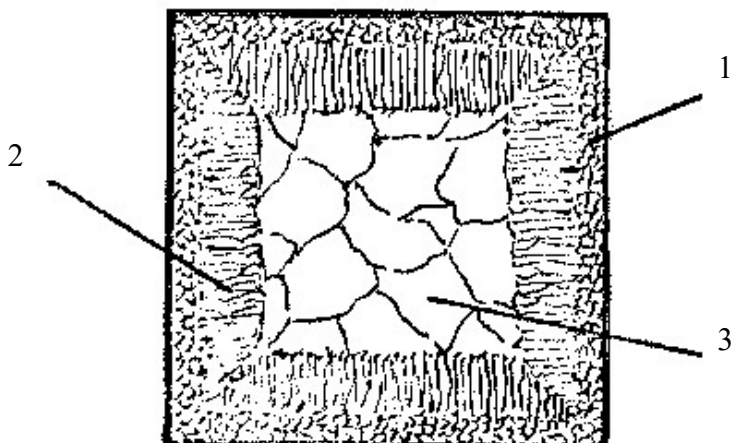


Рис. 5.3. Будова зливка

На процес кристалізації, крім переохолодження  $\Delta T$ , впливають домішки (модифікатори), які спеціально вводяться в розплав або попадають випадково при виплавленні металу. Їх навіть незначна кількість (0,001–0,01%) істотно впливає на розмір і форму зерен. Модифікатори поділяють на дві групи за механізмом дії.

- до першої групи відносяться **дрібні тугоплавкі частинки** (карбіди, оксиди). Якщо їх будова близька до будови металу, що твердне, то вони стають додатковими центрами кристалізації, що приводить до подрібнення структури.

– модифікатори другого роду (**поверхнево-активні речовини**), осідають на поверхні кристалів тонким шаром, що приводить до зміни  $\sigma$ , ш.р. і форми кристалів.

Спостереження за процесом кристалізації металів і сплавів пов'язане з труднощами: високі температури і швидкоплинність процесів, непрозорість металів і виливниці та ін. Тому для вивчення цих процесів використовуються моделі, в яких об'єктом дослідження є прозорі легкоплавкі солі і розчини, наприклад, розчин червоної кров'яної солі або хромпіку.

## 2. Порядок виконання роботи

- а) підготувати скляну пластинку моделі, старанно очистивши її поверхню;
- б) підігріти пластинку в сушильній шафі (при  $t=60^{\circ}\text{C}$ );
- в) нанести на пластинку велику краплю перенасиченого розчину хромпіку;
- г) помістити пластинку з краплею в сушильну шафу для інтенсивного випаровування;
- д) з появою кристалізації по краях кріплю помістити під мікроскоп МБС-2 і при збільшенні  $\times 2$  (або  $\times 4$ ) спостерігати за зародженням і ростом зародків посередині краплі;
- е) замалювати результати спостереження в процесі кристалізації та по її завершенні

**Лабораторне заняття № 6**  
**МАКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД**

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ**

**Мета роботи:** вивчення різних методів макроаналізу для дослідження хімічної та структурної неоднорідності металів.

**1. Теоретичні відомості**

Дослідження структури (будови) металів і сплавів неозброєним оком або при невеликих збільшеннях (до 30 разів) називається макроаналізом, або макроскопічним аналізом. Для збільшення при макроаналізі використовуються лупи.

Будова металів, яка вивчається при макроаналізі, називається макроструктурою. Макроструктура вивчається на зламах і за допомогою макрошліфів (зразок металу, спеціально підготовлений для макродосліджень).

За допомогою макроаналізу можна визначити:

- порушення суцільності матеріалу (тріщини, пори);
- вид зламу;
- ліквіацію сірки, фосфору й вуглецю;
- спосіб виготовлення матеріалу (волокнистість при обробці тиском, дендритна будова при литті, зона термічного впливу при зварюванні);
- спосіб обробки матеріалу (наявність поверхневого загартування, хіміко-термічної обробки).

**Макроаналіз зламу**

Макроаналіз зламу – це найпростіший спосіб визначення будови металів, який дає змогу робити висновки про величину зерен металу, наявність перегрівання, причини руйнування, особливості виплавки і лиття, термічної обробки тощо.

За видом зламу встановлюють характер руйнування виробу, який може бути крихким, в'язким або втомним.

Крихкий злам характеризується кристалічною будовою, відбувається без значної пластичної деформації, тому зерна не порушені. Злам може проходити по межі зерен – міжкристалітний, або по зернах – транскристалітний.

В'язкий злам має волокнисту будову, форма і розмір зерна дуже змінені, оскільки руйнування супроводжується значною пластичною деформацією.

Залежно від режиму термічної обробки і умов руйнування (температури та швидкості деформації) один і той же метал може мати в'язкий або крихкий злам.

#### **Втомний злам має дві зони порушення:**

- зону втомного зародження і поширення тріщини з дрібнозернистою будовою;
- зону доламування з крупнозернистою будовою, яка спостерігається на останній стадії руйнування.

#### **Виготовлення макрошліфів**

**Приготування макрошліфа складається з трьох операцій: вирізання, шліфування та травлення.**

Вирізання зразка. Місце вирізання і переріз матеріалу, за яким проходить площина макрошліфа, залежать від мети дослідження, розмірів, форми й особливостей будови дослідженого об'єкта. Зразки виготовляють на фрезерних станках відрізними фрезами або абразивними кругами, на токарних верстатах, ножівкою тощо.

Шліфування. Шліфування виконують на шліфувальних шкурках різних номерів, поступово зменшуючи зернистість. Шліфування кожною шкуркою потрібно проводити так, щоб усі риски на поверхні зразка були паралельними. При переході до наступного номера напрям шліфування змінюють на 45...90°.

Травлення. **Травлення полягає у вибірковій взаємодії окремих структурних складових матеріалу з хімічним реагентом.** Найчастіше застосовують хімічне травлення, яке виконують зануренням макрошліфа в хімічний розчин (реагент) протягом 1...3 хв. В якості реагенту використовують хімічні розчини кислот, лугів, солей. При травленні реагент по-різному реагує з різними частинами матеріалу, що призводить до відбивання світла під різним

кутом від даних зон, а отже появляються світліші і темніші ділянки (контраст) на досліджуваній поверхні, за якими характеризують макроструктуру металу.

### Дослідження будови литого металу

Характерною ознакою будови литого металу є наявність кристалів деревовидної форми - дендритів (рис. 1.1,д).

Дендритна будова в литих деталях визначається внаслідок ліквідації окремих елементів у процесі кристалізації. Для виявлення дендритної структури досліджувану поверхню макрошліфа протравлюють 15%-ним водяним розчином персульфату амонію зануренням макрошліфа в нагрітий до 75-90°C реактив, склад якого:  $(NH_4)_2 S_2O_8$  – 15 г,  $H_2O$  – 100 мл

## **2. Порядок виконання роботи**

1. Дослідити і замалювати макроструктуру зламів різних металів.
2. Приготувати макрошліф на шліфувальних шкурках № 80, 100, 120.

3. Протравити макрошліф у реактиві на основі хромпіка. Визначити волокнистість і спосіб виготовлення зразка (обробка тиском, різанням, зварюванням), а також можливість застосування поверхневого загартування або хіміко-термічної обробки.

Замалювати макрошліф і дати висновок про проведені дослідження, показати найсприятливіше направлення волокон для виконання експлуатаційних вимог.

**Описати макроструктуру досліджуваних зразків, вказавши розміри, форму, кількість та розташування неоднорідностей структури (зерна, пори, неметалеві включення).**

**Лабораторне заняття № 7**  
**МІКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ**

**Мета роботи:** ознайомитися з методикою виготовлення мікрошліфів, проведення мікроаналізу та навчитись досліджувати мікроструктуру.

**1. Теоретичні відомості**

Металографія, як розділ металознавства, вивчає структуру металів і сплавів. Одним з основних методів металографії є світлова мікроскопія, що дає можливість під збільшенням у 50...700 разів проводити наступні металографічні дослідження:

- визначати морфологію (кількість, форму, розміри та розташування структурних елементів);
- досліджувати структурні зміни внаслідок термічної, деформаційної чи корозійної дії на метал;
- виявляти мікроскопічні порушення суцільності металу: тріщини, порожнини, поруватість тощо.

Дані дослідження виконують шляхом аналізу відполірованої або відполірованої і протравленої поверхні зразка, який називається **мікрошліфом**, в полі зору світлового (оптичного) мікроскопа.

Структуру, яку виявляють та оцінюють при цьому, називають **мікроструктурою**, а метод дослідження – **мікроскопічним аналізом**.

Об'єктом мікроскопічних досліджень є мікрошліф – зразок з відповідно приготованою поверхнею для дослідження.

Виготовлення мікрошліфа складається з наступних операцій:

- вирізування зразка з досліджуваного матеріалу чи виробу;
- шліфування;
- полірування;
- травлення поверхні.

Зразки вирізають різноманітними способами: різанням ножівкою, точінням, фрезеруванням, електроерозійною чи електрохімічною обробкою. Для чорного вирівнювання поверхні застосовується обробка напилком чи шліфування на верстаті з інтенсивним охолодженням. Режими вирізання й чорного шліфування не повинні змінювати структуру матеріалу внаслідок наклепу чи нагрівання. Зручною є циліндрична або призматична форма зразка з лінійними розмірами 10-30 мм.

**Шліфування** розпочинають на папері з грубозернистим абразивом і, поступово зменшуючи розмір часточок абразиву, завершують шліфування на дрібнозернистому папері. Щоразу зі зміною паперу зразок протирають чи промивають, змінюють напрямок шліфування на  $45\ldots 90^\circ$  і шліфують до зникнення рисок від шліфування на попередньому папері.

Ручне шліфування виконують на шліфувальному папері, покладеному на рівну поверхню, рівномірно притискаючи зразок до шліфувального паперу під час робочого руху від себе.

**Полірування** усуває риси від шліфування на дрібнозернистому папері, які спотворюють зображення. Як полірувальні матеріали використовують водні суспензії або пасти абразивних дисперсних порошоків (алмазу, оксидів хрому, алюмінію, феруму). Для одержання якісної поверхні мікрошліфа достатньо використати полірувальний матеріал кількох розмірів зернистості, завершуючи полірування порошками розміром 1-3 мкм.

Спостереження полірованої поверхні мікрошліфа в світлому полі мікроскопа не виявляє жодних елементів та складників структури, окрім неметалевих включень та порушень суцільності матеріалу (тріщини, поруватість тощо). Відбивальна здатність неметалевих сполук - оксидів, нітридів, сульфідів, силікатів та інших сполук значно менша, ніж відбивальна здатність металів, тому в полі зору мікроскопа вони завжди темніші. Їх розрізняють за формою, розмірами, розташуванням, забарвленням.

Для виявлення мікроструктурних елементів, невидимих під мікроскопом на полірованій поверхні, застосовується хімічне чи електролітичне травлення.

Для хімічного травлення поліровану поверхню мікрошліфа занурюють у відповідний хімічний реактив (травник) і витримують в ньому протягом певного часу (до втрати блиску). Як реактиви для травлення використовують водні чи спиртові розчини кислот, солей, лугів. Процес травлення полягає в різній інтенсивності розчинення й взаємодії окремих структурних складників з травником. Після травлення мікрошліф промивають водою, спиртом і просушують.

**Травлення** змінює контраст окремих зерен, виявляє границі зерен, двійників, різні фази внаслідок створення характерного рельєфу. Нерівності поверхні розсіюють світлові промені, виводячи їх за межі оптичної системи мікроскопа при спостереженні у світлому полі. Тому, чим рельєфніший структурний елемент, тим темніший він у полі зору мікроскопа.

Протравлені мікрошліфи можна певний час зберігати в ексікаторі –скляній посудині і гігроскопічною речовиною всередині

Для мікроскопічного дослідження структури металів використовують **металографічні мікроскопи**. Вони відрізняються від біологічних головним чином методом освітлення зразка. Це пояснюється тим, що металічні шліфи непрозорі для світлових променів, тому їх досліджують не в прохідному, а у відбитому світлі.

Випускають вертикальні та горизонтальні металографічні мікроскопи, які дають збільшення у 100-700 разів.

## **2. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з методикою виготовлення мікрошліфів.
2. Приготувати мікрошліфи зі сталі або чавуну, дослідити під мікроскопом їх поверхню після різних стадій механічної обробки (грубого і тонкого шліфування, полірування ).
3. Протравити мікрошліфи у 4%-му спиртовому розчині азотної кислоти, дослідити під мікроскопом.
4. Зафіксувати отриману структуру.

**Лабораторне заняття № 8**  
**ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКІВ**  
**У ПІЩАНО-ГЛИНИСТІ РАЗОВІ ФОРМИ**

**Мета роботи:** практично ознайомитись з способом отримання виливка в одноразовій піщано-глинистій формі

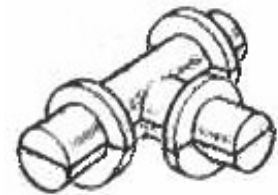
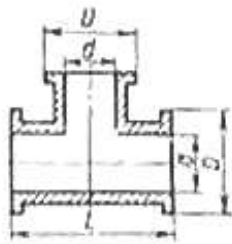
**1. Теоретичні відомості**

Лиття у разові піщано-глинисті форми широко використовується при отриманні виливків з різноманітних металів та сплавів. Процес отримання форми та виливків за цим способом лиття характеризується простотою та доступністю в умовах багатьох машинобудівних підприємств.

**Формуванням** називають процес виготовлення разових форм. Цей процес поділяють на декілька способів в залежності від серійності виробництва. В одиничному та дрібносерійному виробництві застосовують **ручне формування**, в серійному та крупносерійному – **машинне формування**.

При формуванні використовують різноманітне **оснащення та приспособлення**. В склад оснащення входить **модель** майбутнього виливка, яку частіше виготовляють з дерева. Модель (рис. 8.1) повністю відповідає формі та розмірам виливка, які в свою чергу визначаються на основі креслення готової деталі з врахуванням необхідності механічної обробки (точіння, фрезерування, шліфування тощо). При цьому на оброблювані поверхні деталі призначаються припуски на механічну обробку, тому виливка частіше має більші розміри та вагу, в порівнянні з деталлю.

Для утримання формувальної суміші використовують спеціальні **металеві ящики**, які називають **опоками**. На рис. 8.2 показаний інструмент, який застосовують для виготовлення ливарних форм.



деталь

ВИЛИВОК

МОДЕЛЬ

Рис. 8.1. Приклад моделі виливка

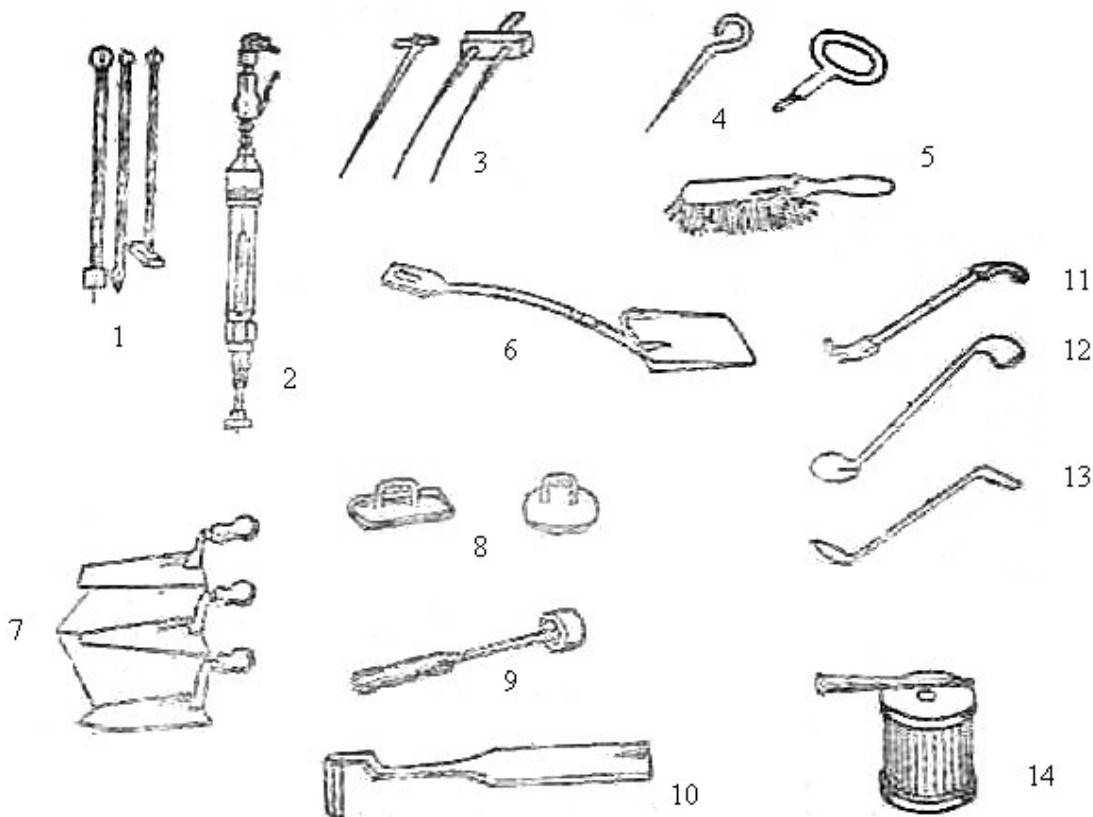


Рис. 8.2. Інструмент для виготовлення ливарних форм:

- 1 – ручні трамбовки; 2 – пневматична трамбовка; 3 – голки; 4 – підйоми;  
 5 – щітка; 6 – лопата; 7 – плоскі кельні; 8 – фасонні кельні; 9 – торцева кельня;  
 10 – гачок; 11 – полозок; 12 – ложечка; 13 – ланцет; 14 – розпилювач

В ливарному виробництві використовують зволожені, сухі, підсушувані та хімічно твердіючі разові піщані суміші. Найбільш ширше використання знайшли **зволожені піщано-глинисті суміші, що містять 5-12 % глини та 4-6% води.**

При формуванні в двох опоках з суцільною моделлю отримують виливки простої конфігурації (плити, кришки, фланці, важелі тощо). Після формування модель має легко видалятися з готової форми. Особливістю формування з суцільною моделлю є те, що вилівок розміщується в одній напівформі (рис. 8.3), а інша утворює плоску поверхню з виконанням отвору для заливання (воронка) і отвору для виходу повітря та газів з форми (випор). Сукупність таких двох отворів називається **ливниковою системою**.

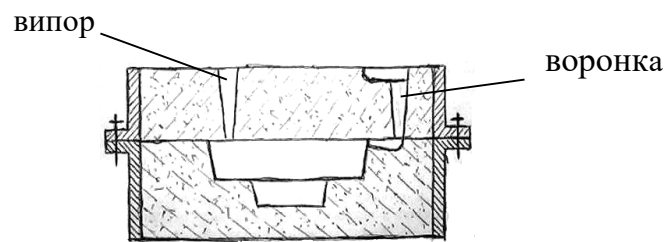


Рис. 8.3. Ливарна форма з двох опоках та з використанням при формуванні суцільної моделі

Для спрощення процесу формування часто використовують модельну плиту. Двостороння модельна плита складається з металічної плити з прикріпленими з двох сторін половинками моделі виливка (рис. 8.4, а). При формуванні в двох опоках за двосторонньою модельною плитою модельна плита фіксується штифтами разом з опоками. Це запобігає зміщенню напівформ моделі при виготовленні ливарної форми.

Починати формування за розглядуваним способом слід з нижньої напівформи (рис. 8.4, б). Модельну плиту перед формуванням необхідно присипати тальком чи порошкоподібним графітом, щоб забезпечити легке видалення моделі з форми. Потім насипають формувальну суміш та ущільнюють її трамбівками. Під кінець надлишки суміші зрізають в рівень з краями опоки, та роблять **вентиляційні канали**, проколюючи напівформу голкою. Далі конструкцію обережно перевертають та приступають до формування верхньої напівформи (рис. 8.4, в). При цьому в верхній напівформі виконують ливарну систему, використовуючи її модель. В даному випадку модель ливарної системи складатиметься з двох дерев'яних кілочків, які виконують роль заливної воронки

та випора. Ці отвори слід проектувати на виступаючих частинах моделі вилівка. Після закінчення формування навколо заливної воронки формують заливну чашу, видаляють надлишки формувальної суміші, видаляють моделі воронки та випора та виконують вентиляційні канали.

Для видалення модельної плити з форми знімають металічні штифти та обережно піднімають верхню напівформу. Готову форму оглядають з середини та при необхідності виправляють дрібні пошкодження. Потім напівформи обережно складають та фіксують штифтами (рис. 8.4, г).

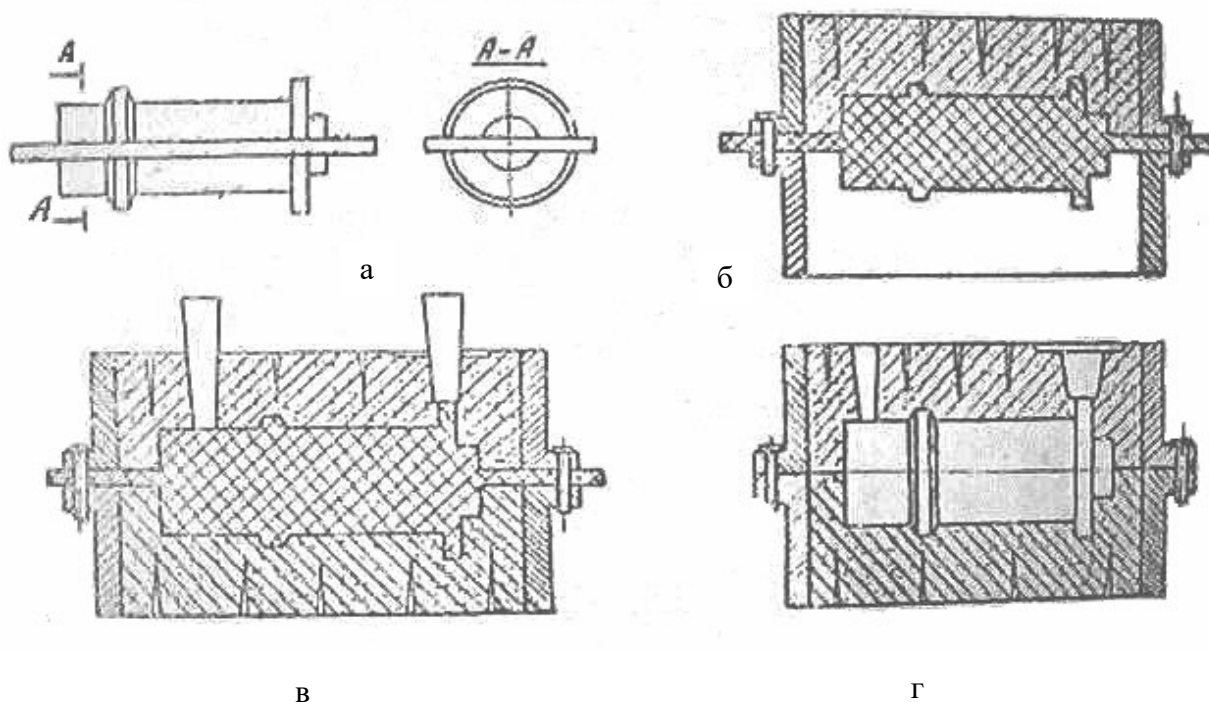


Рис. 8.4. Виготовлення піщано-глинистої форми з використанням модельної плити: а – двостороння модельна плита; б – формування нижньої напівформи; в – формування верхньої напівформи; г – форма в зборі

## 2. Порядок виконання роботи

Вилити заготовку в піщано-глинистій формі, отриманої способом формування в двох опоках з використанням двосторонньої модельної плити.

1. Ввімкнути електропіч та помістити в неї розливний ківш з відходами силуміну.
2. Виготовити піщано-глинисту форму та отримати вилівок.

## Лабораторне заняття №9

### РУЧНЕ ЕЛЕКТРОДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

**Мета роботи:** закріпити теоретичні знання з ручного електродугового зварювання, а також практично оволодіти елементами техніки виконання дугового зварювання.

#### 1. Теоретичні відомості

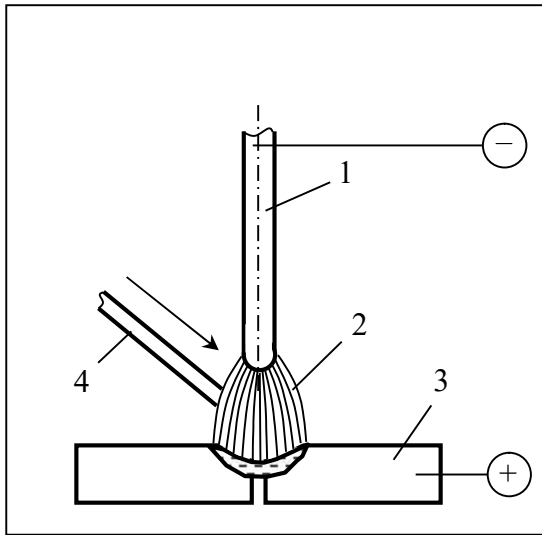
Ручне електродугове зварювання забезпечує утворення нероз'ємних з'єднань металів і сплавів шляхом розплавлення кромки конструкції та присадного металу.

Джерелом тепла при дуговому зварюванні є **зварювальна дуга – стійкий електричний розряд в іонізованій суміші газів та парів матеріалів, які використовуються при зварюванні, і характеризуються високою густиною струму та температурою (до 7000 °С).**

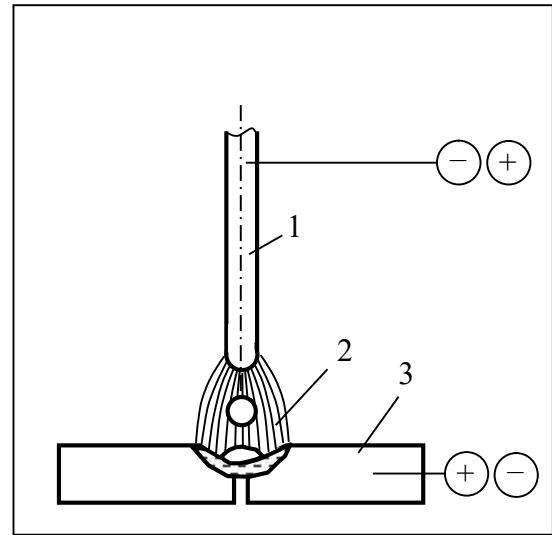
В залежності від матеріалів та кількості електродів, способів включання електродів і зварюваних деталей в електричне коло, розрізняють наступні **види дугового зварювання:**

- 1) **зварювання неплавким електродом** (вольфрамовим, вугільним) і дугою 2 прямої дії (спосіб Бенардоса): при цьому плавиться основний метал 3 та присадковий метал 4 (рис. 9.1, а);
- 2) **зварювання плавким електродом** (металевим) 1 дугою 2 прямої дії (спосіб Славянова); при цьому плавиться основний метал 3 і метал електрода 1 (рис. 9.1, б);
- 3) **зварювання дугою непрямої дії** 5, що горить між двома неплавкими електродами 1; плавиться лише основний метал 3 (рис. 9.1, в);
- 4) **зварювання трьохфазною дугою** 6, що горить між електродами 1 і між кожним електродом і основним металом 6 (рис. 9.1, г).

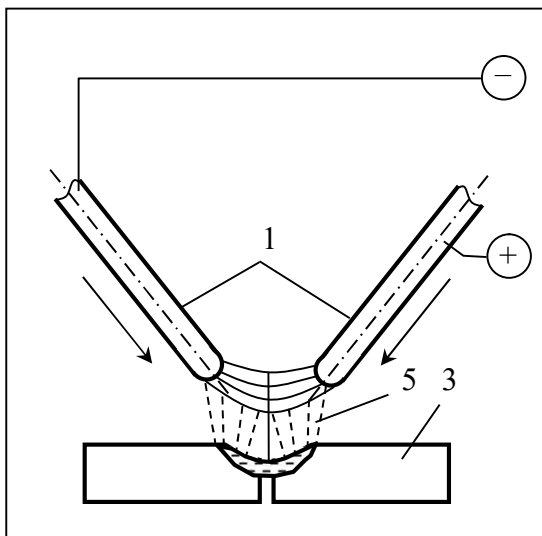
За характером струму розрізняють дуги, що живляться змінним і постійним струмом. При використанні постійного струму зварювання буває прямої та оберненої полярності. В першому випадку виріб підключають до плюсового полюсу, в другому – до мінусового.



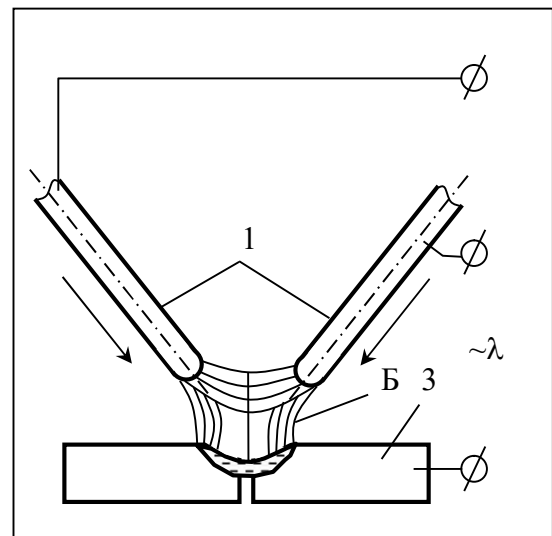
а)



б)



в)



г)

Рис. 9.1. Схеми електродугового зварювання:

а) зварювання неплавким (вугільним чи вольфрамовим) електродом:

1 – неплавкий електрод; 2 – дуга прямої дії; 3 – основний (зварюваний) метал; 4 – присадковий метал;

б) зварювання плавким (металевим) електродом:

1 – плавкий електрод; 2 – дуга прямої дії; 3 – основний метал;

в) зварювання непрямою дугою:

1 – неплавкі електроди; 3 – основний метал; 5 – непряма дуга;

г) зварювання трьохфазною дугою:

1 – електроди; 3 – основний метал; 6 – трьохфазна дуга

Електричні властивості дуги описуються статичною **вольт-амперною характеристикою дуги** (рис. 9.2, а), яка виражає залежність між напругою і струмом дуги в стані її стійкого горіння. Характеристика складається з трьох ділянок: на ділянці I характеристика падаюча; II – жорстка; III – зростаюча.

Дугу довжиною 2...4 мм називають “короткою”, довжиною 4...6 мм – “нормальною” і більше 6 мм – “довгою”.

Повну теплову потужність зварювальної дуги (Дж/с) можна приймати пропорційною тепловому еквіваленту її електричної потужності:

$$Q = 0,24 \cdot U \cdot I$$

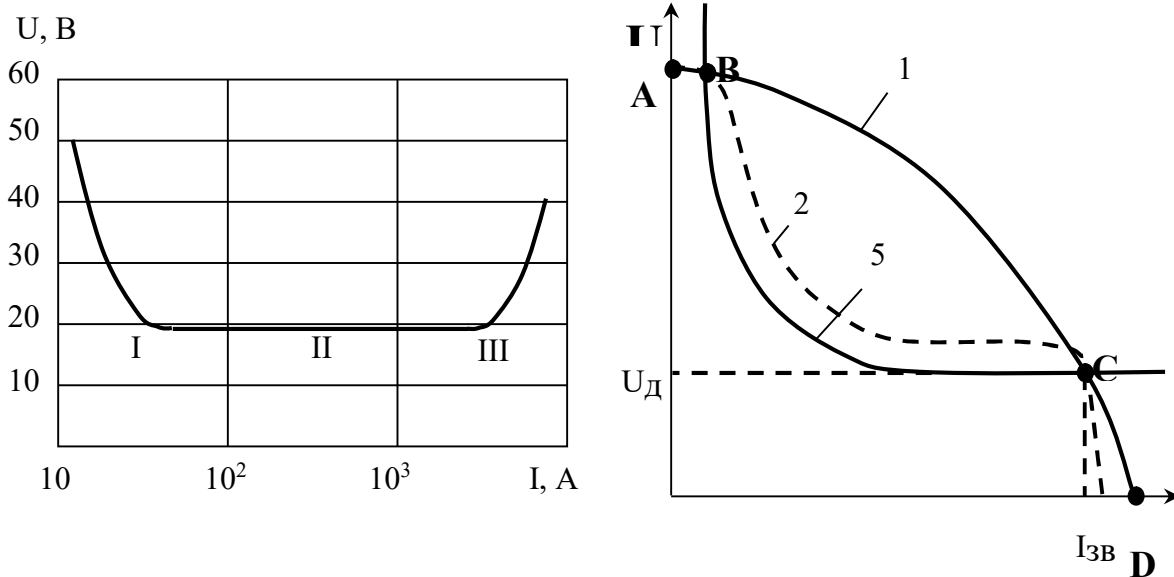


Рис. 9.2. Статична вольт-амперна характеристика дуги (а) та її співвідношення з падаючою характеристикою джерела зварювального струму (б):

- 1 – характеристика джерела струму;
- 2 – характеристика дуги

Найбільш поширені джерела змінного струму – **зварювальні трансформатори**.

Крім того зварні шви поділяють за наступними ознаками: по розташуванню відносно навантаження (рис. 9.3, а); по розташуванню в просторі (рис. 9.3, б); за кількістю шарів або проходів: одношарові або багатошарові; за протяжністю: суцільні і переривчасті.

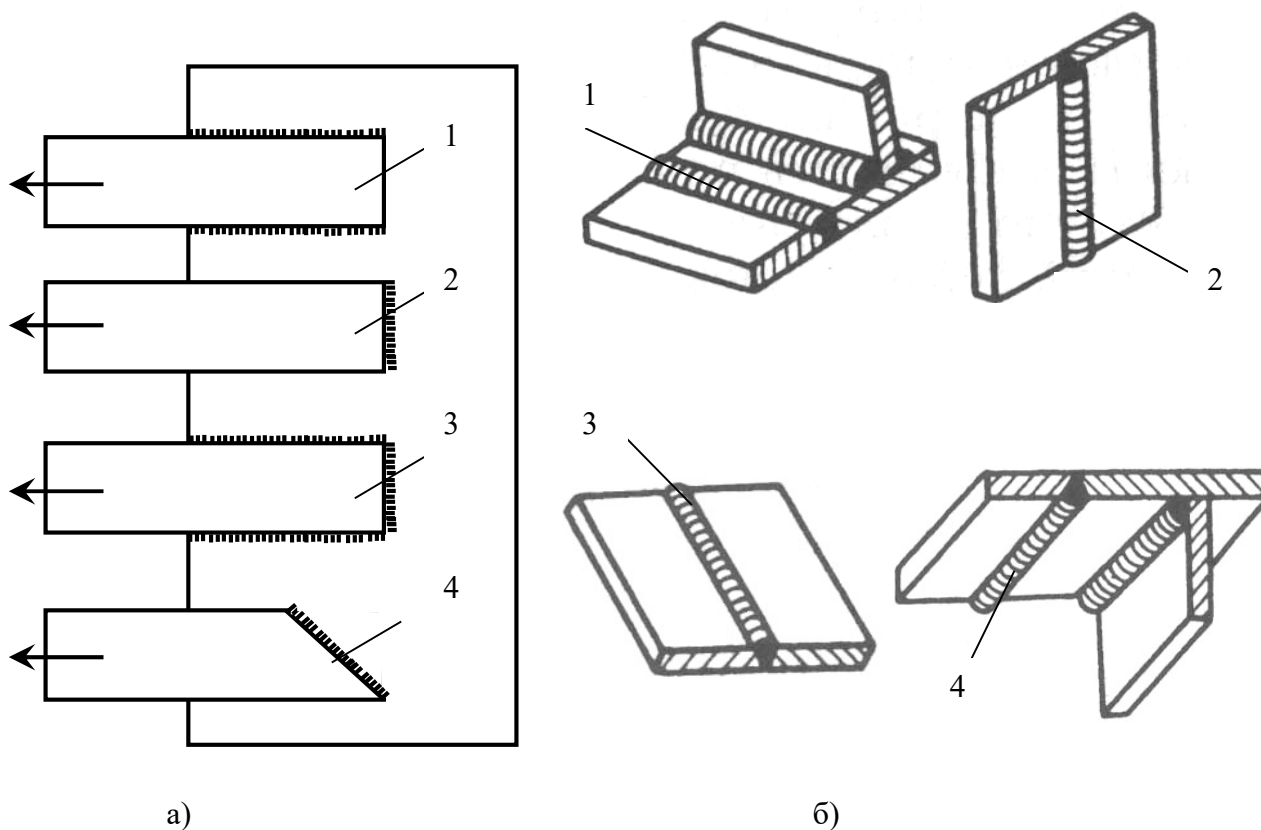


Рис. 9.3. Класифікація зварних швів:

а) за розміщенням навантаження:

1 – флангові; 2 – лобові; 3 – комбіновані; 4 – косі

б) за розміщенням в просторі: 1 – нижні; 2 – вертикальні; 3 – горизонтальні;  
4 – стельові

До складу покриття електродів входять добавки:

- шлакоутворюючі (рутил, каолін, крейда та ін.);
- газоутворюючі (деревне борошно, крохмаль та ін.);
- розкисляючі (феромарганець, феротитан, а та ін.);
- легуючі (ферохром, феротитан та ін.);
- стабілізуючі (сполуки калію, натрію, кальцію);
- зв'язуючі складові (рідке скло).

## 2. Порядок виконання роботи

- 1) вивчити зварювальне обладнання та навчитись ним користуватись;
- 2) навчитись запалювати та підтримувати горіння електричної дуги.

## Лабораторне заняття № 10

### РОЗРОБКА СКЛАДУ ЕПОКСИКОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

**Мета роботи:** ознайомитися із відомими методами формування полімеркомполитних матеріалів на прикладі епоксидно-діанових олігомерів. Навчитися оптимізувати вміст наповнювача в епоксидній матриці шляхом покращення механічних властивостей епоксикомполитного матеріалу.

#### 1. Теоретичні відомості

Технологічний процес виготовлення виробів на полімерній основі із використанням різнофункціональних наповнювачів побудований на виконанні наступних базових операцій, що відбуваються за основними стадіями (рис. 10.1):

- підбір та підготовка вихідних матеріалів (в'язучих, модифікаторів, наповнювачів);
- приготування формувальної суміші (дозування, змішування);
- формування виробів (пресування, лиття під тиском та ін.);
- термічна і механічна обробка.

Приготуванню формувальної маси передують вибір необхідних в роботі матеріалів, над якими можливе виконання таких операцій:

- просіювання наповнювачів;
- просушування наповнювачів;
- видалення домішок;
- вакуумування в'язучого або його технологічна обробка;
- зменшення в'язкості в'язучого (шляхом незначного підігріву тощо).

Процес приготування композиту починається із дозування складових частин (компонентів) за масою або об'ємом згідно із розробленою або вибраною рецептурою. Більш раціонально, наприклад, волокнисті та порошкові наповнювачі дозувати ваговим методом, а в'язуче, модифікатори, пластифікатори, твердники, що є переважно рідинами, – дозувати за об'ємом, застосовуючи скляний посуд та інше обладнання.

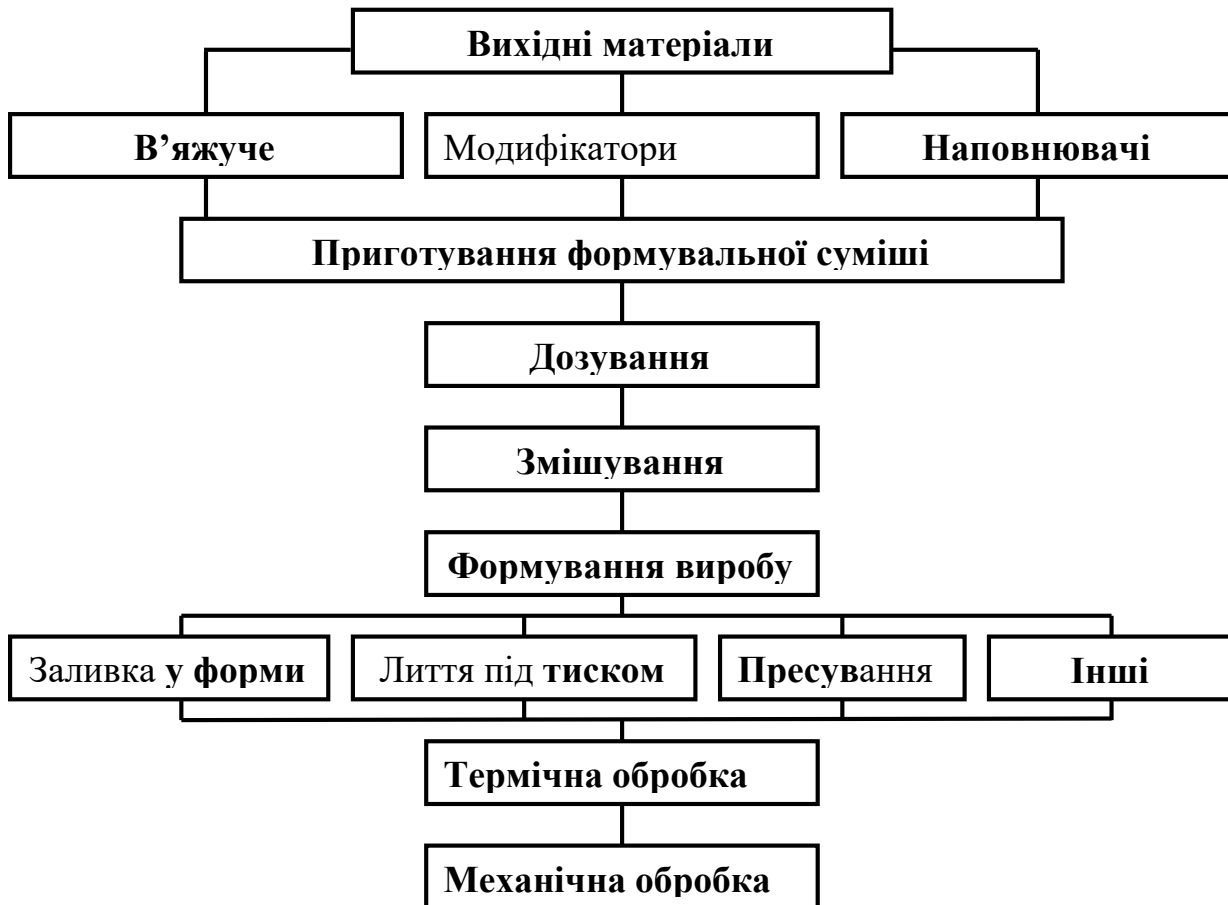


Рис. 10.1. Основні стадії виготовлення ПКМ

Неправильне дозування, тобто введення в ПКМ надлишку наповнювачів і пластифікаторів, призводить до погіршення фізико-механічних, реологічних та термічних властивостей, а надлишок в'язучого – до погіршення експлуатаційних властивостей композитів.

Для матеріалів відповідних характеристик (зернистість, густина), виходячи із конкретних умов роботи, встановлюють процентне співвідношення між компонентами. Наприклад, у випадку формування прес-композиту, виходячи із об'єму підшипника, згідно з прес-формою, визначають об'єм наповнювача та в'язучого за такими співвідношеннями:

$$V_H = \frac{V_{\Phi} \cdot V_1}{100} \quad (\text{см}^3),$$

$$V_B = \frac{V_\Phi \cdot V_2}{100} \quad (\text{см}^3),$$

де:  $V_H$  – об'єм наповнювача;

$V_B$  – об'єм в'язучого;

$V_1 i V_2$  – процентний вміст наповнювача та в'язучого;

$V_\Phi$  – об'єм форми.

На основі об'ємного співвідношення наповнюваного і в'язучого встановлюють їх вагові співвідношення:

$$G_H = \frac{V_\Phi \cdot V_H}{100} \cdot \gamma_H,$$

$$G_B = \frac{V_\Phi \cdot V_B}{100} \cdot \gamma_B,$$

де:  $\gamma$  – питома густина, яка визначається пікнометричним способом або береться із довідників.

Змішування формувальної маси – це відповідна операція, від якої великою мірою залежить конструкційна міцність матеріалу.

Однорідність системи є одним з найважливіших показників, від яких залежить їх якість. На неї найбільш суттєво впливає:

– природа вибраних компонентів, зокрема гранулометричний склад наповнювачів і їх форма;

– процентний вміст компонентів, зокрема високонаповнену систему важче сформувати однорідною й повністю змочену в'язучим, оскільки полімер при цьому виконує функцію граничної змазки;

– тип використаного змішувача (змішувачі роторного типу, центрифуги, обробка в ультразвукових та інших силових полях).

На наступному етапі формувальну масу завантажити у форми. Оскільки на якість матеріалу впливає рівномірність розподілу формувальної маси, наприклад, в прес-формі, тому на цьому етапі застосовують пристрої для ручного або машинного вирівнювання маси в прес-формах, вібростоли тощо. Також

враховують при цьому такі явища, як седиментація (осідання часток при їх великій та різній питомій масі), тиксотропія (здатність в'язучого рівномірно розтікатись по поверхні) та інші при формуванні малонаповнених композицій.

Після формування здійснюють теплову обробку матеріалів, враховуючи що під дією температури відбувається об'ємне розширення композицій, що може призвести до саморозпресовування (пружна післядія), зміни форми й розмірів тощо. Тому на цьому етапі можливе використання спеціальних форм або обмежувачів для їх фіксації.

Після термічної обробки готовий виріб при необхідності піддають механічній або декоративній обробці, а також здійснюють його маркування.

## 2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись із технологією формування ПКМ на прикладі композиції на основі епоксидно-діанової смоли ЕД-20 й низькотемпературного твердника ПЕПА (поліетиленполіаміну) та при використанні двох типів наповнювачів:

- а) оксид міді (темний порошок);
- б) деревне борошно (світлий порошок).

Експеримент провести при такому співвідношенні компонентів:

- 1) ЕД-20 – 100 мас.ч;  
ПЕПА – 12 мас.ч;  
наповнювач – 0, 5, 10, 15, 20 мас.ч.

2. Провести формування композицій методом вільного заливання у форми та режимом формування (табл. 10.1).

3. Дослідити механічні характеристики сформованих зразків.

Таблиця 10.1. Фізико-механічні характеристики полімеркомпозитів

№ варіанта	Склад композиту	Початкова полімеризації	Термічна обробка
1	В'язуче + оксид міді (5 зразків)	24 год за температури 20 °С	1 год 50 °С + 1 год 80 °С + 2 год 140 °С
2	В'язуче + деревне борошно (5 зразків)	24 год за температури 20 °С	1 год 50 °С + 1 год 80 °С + 2 год 140 °С

## Лабораторне заняття №11

### РОЗРОБКА СКЛАДУ БІОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

**Мета роботи:** отримати теоретичні знання з основ розробки біокомпозитних матеріалів, навчитись аналізувати переваги та недоліки сировини для формування біокомпозитів.

#### 1. Теоретичні відомості

Більшість полімерів отримують із **зрідженого нафтового газу (ЗНГ), зрідженого природного газу (ЗПГ), і природного газу**. ЗНГ – це продукція нафтопереробки і переробки природного газу, а ЗПГ видаляється з природного газу перед тим, як потрапити в трубопроводи. Як правило, співвідношення ціни нафти і природного газу визначає яка з цієї сировини економічно вигідна в якості полімерної сировини. Проте в Китаї є зростаючий інтерес до полімеру виробленого з вугілля. Процес переробки вугілля має негативний вплив на довкілля, але він привабливий для країн, де вугілля є дешевим ресурсом у виробництві.

**Рослини, мікроорганізми, природні волокна – все це різні джерела біомас**, які можуть бути використані як технічний матеріал. Слід зазначити, що більшість з цих матеріалів є полімерами, оскільки живі клітини і тканини в основному складаються з макромолекул (наприклад: целюлоза, крохмаль, калоген).

**Мінеральні руди і добувні види палива є невідновлювальними**, вони можуть відновитися тільки протягом більш тривалого періоду, ніж життя людини і за умови, що вони більше не будуть видобуватись. Саме тому повинні звернути увагу на їх дослідження, застосування, споживання і переробку відходів, щоб не допустити їх відсутності для майбутніх поколінь. Але є інший паралельний шлях – знайти заміну для них.

**Термін «біомаса»**, відповідно до директиви ЄС 2009/28 / WE, означає – **біорозкладна фракція** продуктів, відходів і залишків біологічного походження з сільського господарства (в тому числі рослинних і тваринних речовин), лісового

господарства та суміжних галузей промисловості, а також як біорозкладна фракція промислових і побутових відходів. Це є основною сировиною для виробництва відновлюваних матеріалів. Його найбільша кількість може бути знайдена в рослинних речовинах, найбільше у вуглеводних. Однак інші організми (тварини, бактерії, водорості) можуть також містити цінні біоматеріали і використовуються також у виготовленні екологічно чистих продуктів.

Ця група з натуральних матеріалів, в даний час є найціннішим і найбагатшим відновлюваним джерелом у виробництві біополімерів, біокомпозитів та інших конструкційних матеріалів.

Вуглеводи вважаються дуже важливим відновлюваним джерелом макромолекул мономерів для отримання різноманітних полімерних матеріалів, так як вони є найбільш поширеними класом органічних сполук, виявлених в живих організмах. Загальний термін "вуглеводний" включає **моносахариди (наприклад: глюкоза, фруктоза), олігосахариди і полісахариди (наприклад: целюлоза, крохмаль, глікоген, геміцелюлоза),** а також речовини, отримані з моносахаридів. Переважна більшість вуглеводів, присутніх в природі є полісахариди, серед яких крохмаль і целюлоза є найбільш поширеними.

Целюлозні матеріали – це відновлювані ресурси, які потенційно можуть бути використані в зелених композитних матеріалах і виробництві різних видів біомолекул, товарних хімічних речовин. **Целюлозні матеріали в основному складаються з трьох основних компонентів, тобто целюлози, геміцелюлози і лігніну.** Поряд з цими трьома основними компонентами, також містяться екстрактивні речовини, які являють собою органічні речовини з низькою молекулярною масою. **Смоли, жири, воски, солі, мінеральні речовини, феноли, жирні кислоти та інші сполуки можуть бути приховані в якості основних компонентів.** Целюлоза та інші речовини можуть бути використані для синтезу різних матеріалів (в паперовій або пластмасовій промисловості). Целюлозні матеріали є основними будівельними блоками тканин рослин. Вони зустрічаються у бавовні (целюлозі), стеблах і листі рослин. Таким чином, рослинні волокна

також називають целюлозними волокнами. Деревина використовується як конструкційний матеріал.

Крохмаль є інший вуглевод і природний полімер, який виробляється і використовується рослинами в якості їх речовини для зберігання. Найбільш поширеними рослинними джерелами крохмалю є: кукурудза, картопля, пшениця, цукрова тростина, рис, і т. д. Крохмаль зберігається в рослинних органелах у вигляді гранул діаметром 15-110 мкм. **Крохмаль складається з амілози та амілопектину.** Крохмальні рослини іноді використовуються в якості наповнювача полімерних матеріалів, як біорозкладні, які не піддаються біохімічному розкладанню. Для того, щоб отримати термопластичний крохмальний матеріал, структура гранул повинна бути знищена за допомогою екструзії (термічної і механічної обробки) з добавкою пластифікатора (води, гліцерину або інші).

Природні олії, які можуть бути отримані з рослинних і тваринних джерел, вважаються одним з найбільш важливих класів відновлюваних джерел внаслідок великого розмаїття можливостей для хімічних перетворень, доступності у всьому світі і відносно низької ціни. **Рослинні олії, риб'ячий жир, а також олії з водоростей, можуть бути використані в якості сировини для синтезу полімерів.** Рослинна олія є найкращим прикладом того, адже застосовується в пластмасовій промисловості (наприклад, для виробництва біополіамідів і біополіуретанів). Прикладом полімерів, які вже виробляються з рослинних олій є деякі поліаміди та поліуретани.

Водорості є організмами, які здатні до фотосинтезу. Їх можна розглядати як дуже привабливе джерело біомаси, вони можуть конкурувати з джерелами рослин. **Водорості поглинають більшу кількість CO<sub>2</sub>, виростають швидше, мають більш високу ефективність використання енергії, не мають високих вимог і можуть жити в різних середовищах.** Отриману біомасу з водоростей, що ростуть в контрольованих умовах, можуть бути використані при приготуванні субстратів, які беруть участь у виробництві полімерів, таких як етанол або целюлоза.

Біокомпозитні зразки виготовляють методом пресування композиції, яка містить компоненти в дозованій кількості. В якості біополімерної матриці використано розчин глютину, який отримують в результаті розчинення дозованої кількості гранул кісткового клею у визначеному об'ємі води.

Кількість гранул кісткового клею визначають за формулою:

$$m_2 = \frac{m_{роз} \cdot V(\%)}{W_{вол}}$$

де  $m_{роз}$  – маса розчину;

$V(\%)$  – концентрація глютину у розчині;

$W_{вол}$  – вологість гранул кісткового клею.

Масу води визначають за формулою:

$$m_в = m_{роз} - m_2$$

Тривалість розчинення становить 2-3 год за температури 50-60 °С. За нижчої температури підвищується тривалість розчинення, а за вищої температури відбувається деструкція молекул глютину, що призводить зниження механічних характеристики біополімерної матриці. Розчин використовують зразу після розчинення гранул та отримання однорідної консистенції.

Наповнювачі отримують в результаті подрібнення відходів обробки деревини, які попередньо піддавали сушінню за температури 100 °С протягом 1-2 год залежно від об'єму. Подрібнення здійснюють з використанням лабораторного млина з робочим органом молоткового типу. Ступінь подрібнення деревного борошна визначають діаметром (0,7 мм) комірок сітки, через яку видалялись подрібнені частинки. Додаткову класифікацію проводять з використанням сит з розміром отворів 0,5-1,0 мм.

Підготовлені компоненти дозують ваговим способом з точністю зважування 0,05 г. Отриману суміш компонентів змішують механічним способом з використанням лабораторного змішувача, який забезпечує частоту обертання робочого органу 20 000 об/хв. Загальна тривалість процесу змішування складає 50 с з використанням двох пауз тривалістю 10 с для уникнення перегріву композиції.

В результаті отримано композицію з агрегованих частинок, оскільки компоненти мають підвищений вміст вологи.

Отриману суміш поміщають в камеру сушильної шафи для видалення вологи, після чого суміш повторно піддають механічному змішуванню протягом 10-15 с, щоб уникнути додаткового подрібнення. В результаті отримано композицію, частинки якої відокремлені та мають високу сипучість. Щоб забезпечити відтворюваність результатів проводять додаткову класифікацію для видалення дрібнодисперсної фракції.

Дозовану кількість композиції поміщають в порожнину матриці прес-форми у вигляді циліндричної втулки. Торцеві отвори прес-форми закривають і проводять одноосьове стиснення композиції із навантаженням 1000 кгс.

З метою уникнення розшарування композиції внаслідок інтенсивного видалення вологи під час нагрівання пуансони фіксують. Термічну обробку проводять за температури 140 °С протягом 60 хв, що забезпечує нагрівання композиції та формування біокомпозитного матеріалу внаслідок утворення фізико-хімічних зв'язків між компонентами.

Після охолодження зразки видаляють та піддають за необхідності обробці, що являє собою нанесення додаткового гідрофобного покриття (парафін, бджолиний віск, рафінована соняшникова олія, оліфа Оксоль).

## **2. Порядок виконання роботи**

1. Підготувати компоненти і провести зважування
2. Змішати компоненти вручну, а потім механічно з використанням лабораторного змішувача.
3. Помістити композицію у прес-форму і піддати пресуванню
4. Зафіксувати пуансони та помістити прес-форми у сушильну шафу
5. Провести термічну обробку та видалити зразки після охолодження прес-форми
6. Визначити межу міцності на стиснення отриманих біокомпозитних зразків.

## Лабораторне заняття №12

### ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

**Мета роботи:** ознайомитися з методами вимірювання інтенсивності зношування. Навчитись визначати лінійну та масову інтенсивність зношування. Вивчити методику визначення корозійної стійкості.

#### 1. Теоретичні відомості

Найбільш відомими експлуатаційними характеристиками є інтенсивність зношування та корозійна стійкість.

**Зношування тіл трибопар** характеризується кількістю відділеного з їх **поверхонь матеріалу**. Однак ця характеристика не завжди адекватно відображає результат процесу зношування. Так, при пластичному деформуванні одного з елементів пари тертя кількість відділився матеріалу може бути близьким до нуля, а зношування – досягати гранично допустимих значень. У цьому випадку більш ефективно вимір лінійних розмірів тіл тертя. При ерозійному, кавітаційному і втомному зношуванні можлива ситуація, коли такі інтегральні характеристики, як зміна маси або лінійних розмірів тіл тертя незначні, а поверхні тертя покриваються густою сіткою тріщин, заглиблень, смуг ковзання. Тут необхідно застосування методів якісної оцінки руйнування поверхонь тертя. Таким чином, очевидна необхідність використання різних методів залежно від виду зношування і тривалості випробувань. Найбільш широко відомі методи оцінки зносу тіл тертя подано нижче.

**Методи зважування і визначення лінійних розмірів тіл тертя.** Ця група методів є найбільш поширеною, оскільки їх реалізація не вимагає застосування складного обладнання. Зношування обумовлене різницею мас або лінійних розмірів досліджуваного зразка до і після випробувань.

**Метод зважування.** Зношування визначається за результатами обчислення маси зразка до і після трибовипробувань. По втраті маси зразком в процесі тертя встановлюють інтенсивність або швидкість зношування. Як правило, маса віддалився матеріалу мала в порівнянні з масою випробуваного зразка, тому для

зважування використовують високоточні аналітичні ваги. Метод широко розповсюджений, простий в реалізації, однак має ряд недоліків. Це низька точність вимірювання при дослідженні матеріалів в рідких середовищах, оскільки втрата маси при терті компенсується насиченням зразка вологою. Застосування методу малоефективне в стендових і натурних випробуваннях (необхідна розбирання вузла тертя), при пластичному деформуванні поверхневого шару і малої інтенсивності зношування. Не забезпечується можливість безперервної реєстрації зносу в процесі випробувань. Істотний вплив на результати випробувань можуть надати зміна температури зразка і точність його повторної установки у вузол тертя при періодичній реєстрації втрати маси.

*Метод вимірювання лінійних розмірів тіла трибонари.* Найбільш простим і поширеним варіантом цього методу є періодичне вимірювання лінійних розмірів зразка в процесі досліджень. Зазвичай про величину зношування тіла судять по висоті зношеного шару, який визнають за зміною товщини досліджуваного зразка за заданий період випробувань. Вимірювання здійснюють за допомогою мікрометрів, мікрометричних нутромірів, індикаторів, оптиметрів та іншого вимірювального інструменту. Цьому методу притаманні ті ж недоліки, що й методу зважування, за винятком першого. Застосовується він у дослідженнях, що не вимагають високої точності вимірювання.

Дослідження зносостійкості епоксикомпозитних матеріалів в трибосистемі «метал-полімер» проводять в умовах тертя без мастильного матеріалу згідно методики ISO 7148-2 за допомогою машини тертя М-22М (рис. 12.1) за схемою «вал-сегмент втулки». Зразок встановлюють на бічну поверхню контртіла у формі диска, яке оберталося із заданою швидкістю. Контртіло діаметром 50 мм виготовлено із загартованої сталі 45 (HRC 48-50) із шорсткістю поверхні  $Ra=3,2$ . Зразки виготовлено з прямокутним перерізом  $10 \times 10$  мм та висотою 15 мм.

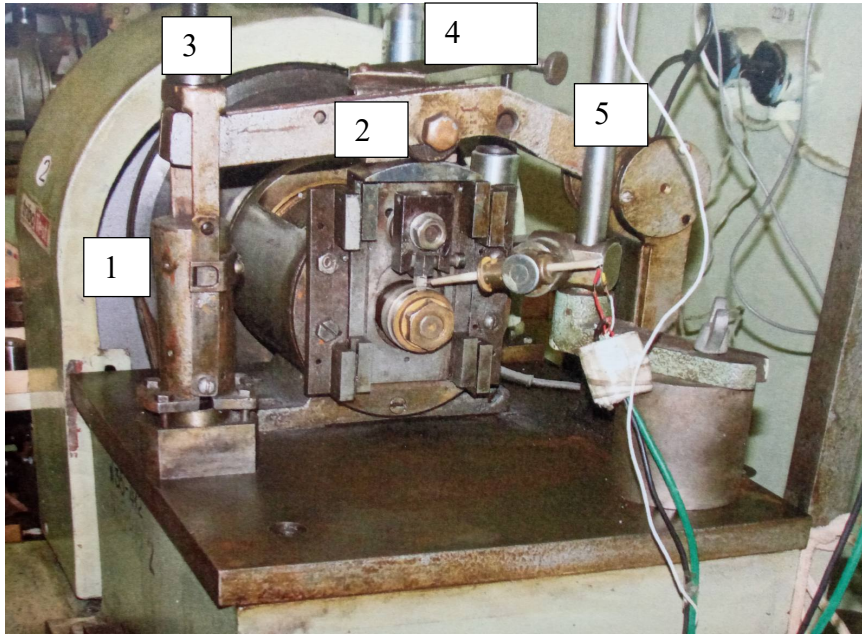


Рис. 12.1. Загальний вигляд машини тертя типу М-22М: 1 – привід; 2 – вузол тертя; 3 – механізм навантаження; 4 – вузол вимірювання моменту тертя; 5 – вузол вимірювання зношування пари тертя

Зносостійкість визначали ваговим та лінійним методами. Інтенсивність вагового зношування розраховували за формулою:

$$I_g = \frac{m_1 - m_2}{L}, \quad (12.1)$$

де  $m_1$ ,  $m_2$  – маса епоксикомпозитних зразків до і після триботехнічних випробувань відповідно, г.

$L$  – шлях тертя, м.

Інтенсивність лінійного зношування розраховували за формулою:

$$I_h = \frac{\Delta h}{L}, \quad (12.2)$$

де  $\Delta h$  – товщина зношеного шару, мм;

$L$  – шлях тертя, м.

Корозійну стійкість матеріалів визначають в результаті занурення зразків у 10 %-і розчини NaCl, NaOH та кислот (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, HCl). Розмір зразків згідно ISO 175 або ASTM D543 становив 50×10±1 мм з товщиною до 5±0,5 мм. Зразки зважували до і після витримки в агресивному середовищі на аналітичних вагах типу WPS 110/C/1 (3 клас) з точністю вимірювання до 0,5 г.

У закриту посудину вносили 50 мл досліджуваного розчину та зразок. Через заданий проміжок часу (24, 68, 120 год) епоксикомпозитні зразки виймали та поміщали на паперовий фільтр. Зразки разом із фільтром поміщали у сушильну шафу за температури 80-100 °С. Корозійну стійкість епоксикомпозитних зразків розраховували за формулою:

$$x = \frac{m_a - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (12.3)$$

де  $m_0$  – початкова маса зразка, мг;

$m_a$  – маса після витримки у розчині, мг.

### **Прилади та матеріали:**

Машина тертя СМЦ-2, динамометр, зразки досліджуваних матеріалів, шліфувальний папір, рідини для промивання і знежирення поверхні, термопара.

### **2. Порядок виконання роботи:**

1. Ознайомитись зі схемою вимірювання величини зношування на машині СМЦ-2.
2. Вивчити будову приладу, регулювання та порядок виконання вимірювань.
3. Провести вимірювання величини зношування та корозійної стійкості запропонованих матеріалів.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боброва Т. Б. Основи матеріалознавства. Навчальний посібник. – Київ: Ресурсний центр ГУРТ, 2019. – 104 с.
2. Матеріалознавство та технологія металів: підручник А.М. Власенко. Київ: Літера ЛТД, 2019. – 224 с.
3. Конспект лекцій з дисципліни «Матеріалознавство» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство, за освітньо-професійною програмою «Матеріалознавство» всіх форм навчання / Укладачі: Лисенко О.Б., Калініна Т.В. – Кам'янське: ДДТУ, 2019.– 268 с.
4. Тимофєєва Л.А., Комарова Г.Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – 67 с.
5. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. - Мелітополь: ТПЦ «Forward press», 2019. - 352 с.
6. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. - Мелітополь: ТПЦ «Forward press», 2019. - 352 с.
7. Шаповал С. В. Конспект лекцій з дисципліни «Матеріалознавство» (для студентів 2 курсу денної форми навчання освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології) / С. В. Шаповал ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 122 с.
8. Матеріалознавство і ТКМ{текст}: конспект лекцій для студентів спеціальності 5.10010201 «Експлуатація та ремонт машин і обладнання агропромислового виробництва» / уклад. Я.В. Оласюк – Любешів: ЛТК ЛНТУ, 2014. – 150 с.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
Мета та завдання курсу.....	4
Лабораторне заняття № 1.....	5
Лабораторне заняття № 2.....	9
Лабораторне заняття № 3.....	13
Лабораторне заняття № 4.....	18
Лабораторне заняття № 5.....	23
Лабораторне заняття № 6.....	27
Лабораторне заняття № 7.....	30
Лабораторне заняття № 8.....	33
Лабораторне заняття № 9.....	37
Лабораторне заняття № 10.....	41
Лабораторне заняття № 11.....	45
Лабораторне заняття № 12.....	50
Список рекомендованої літератури.....	54

### 3 12 **Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів:**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво ОП «Прикладна механіка», ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи» спеціальності G9 Прикладна механіка денної та заочної форм навчання / уклад. О.Заболотний – Луцьк: ЛНТУ, 2026.– 56 с.

Комп'ютерний набір: О.Заболотний

Редактор: О.Заболотний

Підп. до друку \_\_\_\_\_ 2026р.

Формат 60x84/16. Папір офс. Гарнітура Таймс.

Ум. друк. арк. 6,75. Обл.-вид. арк. 6,2

Тираж \_\_\_ прим. Зам. \_\_\_.

Інформаційно-видавничий відділ  
Луцького національного технічного університету

43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Друк – ІВВ ЛНТУ