

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

**Методичні рекомендації
до виконання практичних робіт
для студентів для спеціальності
186 "Видавництво та поліграфія"
першого (бакалаврського) рівня**

Харків
ХНЕУ ім. С. Кузнеця
2017

УДК 620.22(07.034)

М34

Укладач С. О. Дитиненко

Затверджено на засіданні кафедри природничих наук та технології.
Протокол № 1 від 26.08.2016 р.

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Матеріалознавство : методичні рекомендації до виконання
М34 практичних робіт для студентів спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" першого (бакалаврського) рівня [Електронний ресурс] / уклад. С. О. Дитиненко. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. – 73 с.

Подано основні питання навчальної дисципліни, наведено практичні матеріали для оволодіння знаннями про взаємозв'язок комплексу фізико-механічних властивостей матеріалів зі структурою. Подано методику виконання практичних робіт, яка допоможе студентам засвоїти особливості різних технологічних процесів і використовувати їх під час оцінювання економічної ефективності.

Рекомендовано для студентів спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" першого (бакалаврського) рівня.

УДК 620.22(07.034)

© Харківський національний економічний
університет імені Семена Кузнеця, 2017

Вступ

Розвиток ринкових відносин підвищує відповідальність і самостійність у виробленні й ухваленні управлінських рішень щодо забезпечення ефективності діяльності підприємств.

Особливо важливо оволодіння комплексом технологічних знань майбутньому фахівцеві спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія", тому що науково обґрунтовані рішення можливі тільки за наявності принципів прогресивної технології, оцінки технологічності виробів з урахуванням застосовуваних матеріалів, устаткування, пристроїв і прогресу в цій галузі.

У процесі вивчення навчальної дисципліни "Матеріалознавство" студент повинен засвоїти суму теоретичних і прикладних знань, необхідних для вирішення самостійних завдань у ході оцінювання вибраних матеріалів заготовок і технологічного процесу їхнього виготовлення.

Задоволення щораз більших потреб народного господарства в різній продукції, підвищення її якості, забезпечення технічного переозброєння й інтенсифікація виробництва на основі загального користування досягненнями науково-технічного прогресу – такі завдання економічного та соціального розвитку. У вирішенні поставлених завдань значне місце відводять висококваліфікованим інженерним кадрам, які володіють різними знаннями й насамперед технологічними.

Дослідженням питань взаємозв'язку склад – структура – властивості металів і сплавів займається одна із провідних навчальних дисциплін "Матеріалознавство".

Запропоновані студентам методичні рекомендації до виконання практичних робіт також використовують у процесі виконання лабораторних робіт із матеріалознавства, їхня мета – допомогти в набутті практичних навичок у дослідженні структури та властивостей металів і сплавів, а також розробити технології, що дають можливість підвищувати експлуатаційні властивості виробів із металів і сплавів до необхідного, заздалегідь заданого рівня.

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт розроблено на основі концепції вивчення STEM-дисциплін (зміст акроніму STEM розкривають таким чином: S – наука, T – технологія, E – інженерія, M – математика), як це здійснюють у реальних виробничих умовах. Тим самим студент зможе застосовувати свої практичні знання для вирішення неякісно структурованих технологічних проблем і розвивати свої технологічні навички.

Практична робота 1

Вивчення механічних властивостей вуглецевої сталі

Мета роботи: ознайомити з механічними властивостями вуглецевих сталей і впливом на їхні характеристики вмісту вуглецю, а також із методикою вимірювання твердості металів.

1.1. Загальні відомості

Під час виконання роботи слід виходити з технічних властивостей всіх матеріалів: міцності, пластичності, твердості та в'язкості, які є основними властивостями конструкційних матеріалів.

Так, необхідно враховувати міцність – здатність твердого тіла чинити опір деформації або руйнуванню під дією статичних або динамічних навантажень. Міцність визначають за допомогою спеціальних механічних випробувань зразків, отриманих з досліджуваної деталі або матеріалу, із якого її виготовляють.

Важливо розрізняти статичні та динамічні додатки навантажень. Для визначення міцності за статичних навантажень зразки зазначають розтягування, стискання, вигинання, випробування на розтягування та розривання. Межа міцності σ_B , МПа (кгс/мм²):

$$\sigma_B = \frac{P}{F_0}$$

Міцність за динамічних навантажень розраховують за даними випробувань на ударну в'язкість, межу витривалості та повзучості. Найбільш часто застосовують випробування на ударну в'язкість α_H , Дж/см² (кгс · м/см²):

$$\alpha_H = \frac{A}{F}$$

де A – робота зламування;

F – площа зразка в місці надрізу.

Слід також знати про пластичність – здатності матеріалу набувати залишкової зміни форми та розміру без руйнування.

Пластичність визначають відносно подовженням δ зразка під час розривання:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} 100 \%,$$

де l – довжина зразка після розривання, мм;

l_0 – початкова довжина зразка, мм.

Вельми часто для визначення міцності користуються простим, спрощеним методом, що не руйнує виріб (зразок), – вимірюванням твердості опору проникненню в матеріал стороннього тіла (твердість теж характеризує опір деформації).

Слід пам'ятати про різні визначення твердості. Найбільш поширеним є метод Брінелля (рис. 1а), коли у випробуване тіло під дією сили P удавлюють кульку діаметром D .

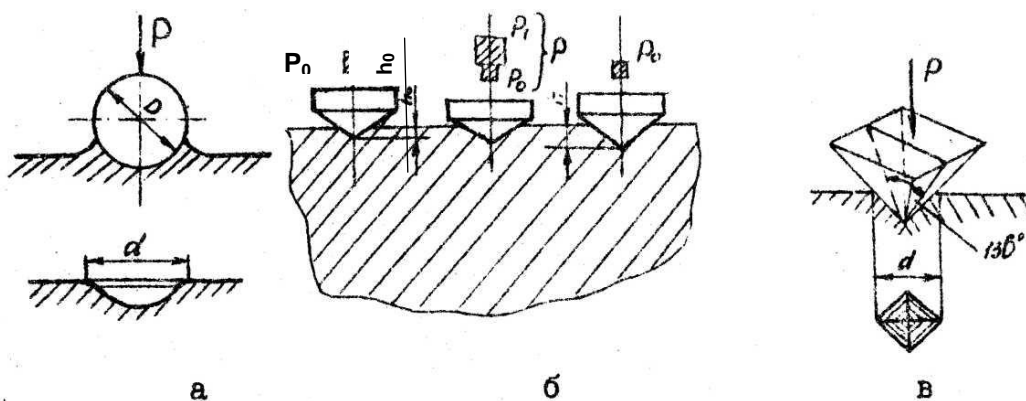


Рис. 1. **Схема визначення твердості:**

а – за Брінеллем; б – за Роквеллом; в – за Віккерсом

У методі число твердості НВ має навантаження P , поділене на сферичну поверхню відбитка (із діаметром d). За методом Роквелла (рис. 1б) індентором слугує алмазний конус (або сталева кулька), а числом твердості є величина, зворотна глибині вдавлення h . На приладі Роквелла – це три шкали. У разі випробування алмазним конусом за $P = 150$ кгс визначають твердість HRC, те саме за $P = 60$ кгс – HRA і вдавлення сталевий кульки за $P = 100$ кгс – HRB.

За методом Віккерса (рис. 1в) удавлюють алмазну піраміду. Вимірявши діагональ відбитка d , можна судити про твердість HV.

Слід урахувати, що методи НВ і HRB застосовують для м'яких матеріалів, HRC – для твердих, HRA та HV – для тонких шарів (аркушів).

Між різними методами існує кореляція, хоча й не дуже точна. Якщо за відповідними таблицями відоме число твердості, обчислене одним способом, можна визначити, яке число твердості іншого методу йому відповідає.

Число твердості за Віккерсом приблизно в 3 рази більше, ніж межа міцності: якщо $HV = 300$, то міцність цього сплаву приблизно дорівнює 100 кгс/мм^2 . Цей перерахунок неточний (орієнтовний) і його не застосовують для крихких матеріалів; можливі відхилення, правда, рідко перевищують 10 % від дійсного значення міцності.

Описані методи характеризують середню твердість сплаву. Для того щоб визначити твердість окремих структурних складових частин сплаву, треба різко локалізувати деформацію, удавити алмазну піраміду на певне місце, знайдене на шліфі за збільшення в 100 – 400 разів під навантаженням від 20 до 100 гс із подальшим вимірюванням під мікроскопом діагоналі відбитка. Визначена характеристика H (мікротвердість) – твердість певної структурної складової частини.

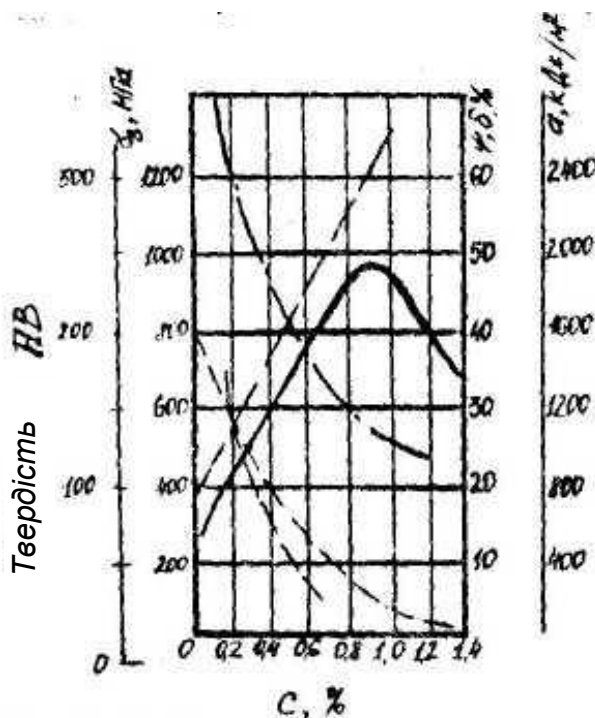


Рис. 2. Вплив складу вуглецю на механічні властивості сталі

Необхідно пам'ятати про те, що механічні властивості вуглецю дійсно залежать від її складу та структури. Вплив вмісту вуглецю на механічні властивості вуглецевої сталі у стані відпалу показано на (рис. 2).

Оскільки за методом Брінелля значення твердості визначає відношення навантаження P (кгс) до поверхні відбитка F (мм^2), то твердість (як і міцність) можна позначати розмірністю кілограм-сила на квадратний міліметр.

Однак за деформації вдавнення напругу вкрай нерівномірно розподілено по поверхні під час випробування, і такий тиск (навантаження на поверхню відбитка) не має чіткого фізичного сенсу. Тому краще не давати твердості зазначеної розмірності, а саме вимірювання твердості вважати технологічною пробою, яка побічно характеризує міцність.

Методичні рекомендації

Практичну роботу слід виконувати із застосуванням твердоміра для вимірювання твердості за методом Роквелла, тобто, твердість визначають за глибиною відбитка. Наконечником слугує алмазний конус із кутом при вершині 120° або сталева загартована кулька $d = 1,588$ мм. Алмазний конус застосовують для випробування твердих металів, а кульку – для м'яких.

Конус і кульку вдавлюють двома послідовними навантаженнями (див. рис. 1б); попередньої $P_0 = 10$ кгс і загальної $P = P_1 + P_0$ (де P_1 – основне навантаження). Основне навантаження становить 90 кгс для кульки (шкала В), 140 кгс для алмазного конуса під час випробування дуже твердих і більш м'яких матеріалів (шкала А).

Твердість за Роквеллом (HR) вимірюють в умовних одиницях. За одиницю твердості (HR) взято величину, відповідну осьовому переміщенню наконечника на 0,002 мм. Під час вимірювання за шкалою HRB = 130 – е.

Величину е визначають за такою формулою (див. рис. 1б):

$$e = \frac{h - h_0}{0,002},$$

де h – глибина занурення наконечника у випробовуваний матеріал під дією загального навантаження ($P = P_0 + P_1$), виміряна після зняття основного навантаження P_1 із залишком попереднього навантаження P_0 .

h_0 – глибина занурення наконечника у випробовуваному матеріалі під дією попереднього навантаження P_0 .

Твердість за Роквеллом позначають HRA (випробування алмазного конуса за навантаження 60 кгс), HRC (те саме за навантаження 150 кгс) і HRB (випробування сталеву кульку за навантаження 100 кгс) і визначають за шкалою приладу.

Порядок виконання роботи

1. Зробити вимірювання твердості зразків із вуглецевої сталі у стані відпалу за методом Роквелла вдавленням сталеву кульку діаметром 1,588 мм.

2. Дані вимірювання занести до таблиці, водночас перевірши їх в одиниці шкали Брінелля.

3. Перед вимірюванням твердості слід зачистити два паралельні боки зразків абразивною шкуркою.

За даними твердості за довідником визначити марку вуглецевих сталей, із яких було виготовлено зразки, а також значення межі міцності на розтягування та відносне подовження (табл. 1). Ці дані оформити у вигляді таблиці.

На основі табличних даних побудувати графіки залежності межі міцності, відносного подовження та твердості сталі від вмісту вуглецю, проаналізувати їх і зробити висновки про вплив вмісту основного компонента вуглецю на механічні властивості вуглецевих сталей.

Таблиця 1

Механічні властивості якісних вуглецевих сталей після відпалювання

Марки сталі	HRB	HV	σ_b , МПа (кгс/мм ²)	δ , %	a_n , Дж/см ² (кгс · м/см ²)
Ов	4В	90	229 (29)	40	–
Ю	56	101	300 (30)	33	–
Л5	61	110	360 (36)	29	–
20	69	126	420 (42)	25	–
25	76	140	460 (46)	23	90 (9)
30	80	149	500 (50)	21	80 (8)
35	82	157	540 (54)	20	70 (7)
40	91	187	580 (58)	19	60 (6)
45	93	197	610 (61)	16	50 (5)
50	95	207	640 (64)	14	40 (4)
55	97	217	660 (66)	13	–
60	98	229	690 (69)	12	–
65	99	235	710 (71)	10	–
70	100	239	730 (73)	9	–
75	–	241	1 100 (110)	7	–
80	–	245	1 150 (115)	6	–
85	–	225	1 100 (110)	6	–

* Наведено орієнтовні дані.

1.2. Короткі теоретичні відомості

Твердість – це здатність металу або сплаву чинити опір проникненню в нього більш твердого тіла певної форми й розмірів, яке не зазнає залишкової деформації. Найбільш поширені види випробувань засновано

на вдавленні у випробовувану поверхню індентора, тобто тіла певної форми: кулі, конуса, піраміди. У цих випадках твердістю (кгс/мм) є відношення навантаження на індентор (кгс) до площі його відбитка (мм), або в умовних одиницях глибини вдавнення цього індентора.

1.2.1. Вимірювання твердості за методом Брінелля

Визначення твердості вдавненням сталевोї загартованої кульки вперше було запропоновано Брінеллем. Числа твердості під час вимірювання цим методом позначають індексом НВ. Твердість за Брінеллем НВ визначають удавленням протягом певного часу сталевої кульки діаметром D (мм) під дією навантаження P (кгс) у випробовувану плоску поверхню рис. 3.

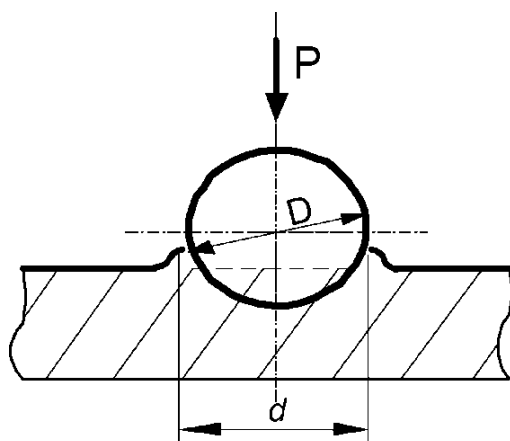


Рис. 3. Схема випробувань:

D – діаметр кульки; d – діаметр відбитка

У результаті на поверхні утворюється відбиток діаметром d (мм). Число твердості визначають як відношення навантаження, що діє на сталеву кульку, до площі поверхні сферичного відбитка:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

де P – навантаження, кгс;

F – площа поверхні сферичного відбитка, мм²;

D – діаметр кульки, мм;

d – діаметр відбитка, мм.

Діаметр відбитка вимірюють за допомогою відлікового мікроскопа типу МБП-2 за схемою, показаною на рис. 4, у двох взаємно перпендикулярних напрямках і визначають як середнє арифметичне значення із цих вимірювань.

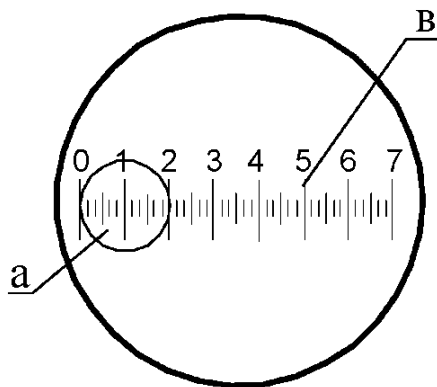


Рис. 4. **Схема вимірювання відбитка:**

а – поверхня відбитка; в – шкала відлікового мікроскопа

Діаметри відбитків мають перебувати в межах: $0,2 D < d < 0,6 D$
Відстань від центра відбитка до краю зразка має бути не менша за $2,5 d$,
а відстань між центрами двох сусідніх відбитків не менша за $4 d$.

До недоліків методу Брінелля належать такі:

- неможливість випробування металів, що мають твердість понад 450 НВ через деформацію кульки;
- неможливість випробування виробів із товщиною, меншою за 1,2 мм, оскільки кулька буде продавлювати тонкий шар металу;
- після випробування залишаються помітні сліди на поверхні виробу, що може викликати порушення його подальшої працездатності.

Перевагами методу такі:

- простота конструкції та надійність в роботі приладів;
- між числами твердості й межами міцності існує наближена емпірична залежність (за інших способів визначення твердості її немає). Наприклад: для сталей із $HV < 175 \sigma_b = 0,34 HV$, для сталей із $HV > 175 \sigma_b = 0,36 HV$.

Для випробування матеріалів різної твердості використовують величини навантажень і діаметри кульок, наведені в табл. 2

**Співвідношення діаметра кульки, навантаження і часу витримки
під навантаженням від товщини випробовуваного зразка**

Матеріал	Твердість НВ	Товщина зразка, мм	Співвідношення між навантажен- ням Р і діаметром кульки D	Діаметр кульки D, мм	Наванта- ження Р, кгс	Витримка під наван- таженням, с
Чорні метали та сплави	140 – 450	від 6 до 3	$P = 30 D^2$	10	3 000,0	10
		від 4 до 2		5	750,0	
		менша за 2		2,5	187,0	
	До 140	більша за 6	$P = 10 D^2$	10	1 000,0	10
		від 6 до 3		5	250,0	
		менша за 3		2,5	62,0	
Кольорові метали та сплави	Понад 130	від 6 до 3	$P = 30 D^2$	10	3 000,0	30
		від 4 до 2		5	750,0	
		менша за 2		2,5	187,0	
	35 – 130	від 9 до 3	$P = 10 D^2$	10	1 000,0	30
		від 6 до 3		5	250,0	
		менша за 3		2,5	62,0	
	8 – 35	більша за 6	$P = 2,5 D^2$	10	250,0	60
		від 6 до 3		5	62,5	
		менша за 3		2,5	15,6	

На практиці, щоб уникнути необхідних обчислень, числа твердості визначають за табл. 3.

Таблиця 3

Числа твердості за Брінеллем

Діаметр відбитка, мм	Числа твердості за навантаження Р, кгс			Діаметр відбитка, мм	Числа твердості за навантаження Р, кгс		
	$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$		$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
2,90	444	–	–	4,50	179	59,5	14,90
2,95	429	–	–	4,55	174	58,1	14,50
3,00	415	–	34,6	4,60	170	56,8	14,20
3,05	401	–	33,4	4,65	167	55,5	13,90
3,10	388	129,0	32,3	4,70	163	54,3	13,60
3,15	375	125,0	31,3	4,75	159	53,0	13,30

1	2	3	4	5	6	7	8
3,20	363	121,0	30,3	4,80	156	51,9	13,00
3,25	352	117,0	29,3	4,85	152	50,7	12,70
3,30	341	114,0	28,4	4,90	149	49,6	12,40
3,35	331	110,0	27,6	4,95	146	48,6	12,20
3,40	321	107,0	26,7	5,00	143	47,5	11,90
3,45	311	104,0	25,9	5,05	140	46,5	11,60
3,50	302	101,0	25,2	5,10	137	45,5	11,40
3,55	293	97,7	24,5	5,15	134	44,6	11,20
3,60	285	95,0	23,7	5,20	131	43,7	10,90
3,65	277	92,3	23,1	5,25	128	42,8	10,70
3,70	269	89,7	22,4	5,30	126	41,9	10,50
3,75	262	87,2	21,8	5,35	123	41,0	10,30
3,80	255	84,9	21,2	5,40	121	40,2	10,10
3,85	248	82,6	20,7	5,45	118	39,4	9,86
3,90	241	80,4	20,1	5,50	116	38,6	9,66
3,95	235	78,3	19,6	5,55	114	37,9	9,46
4,00	229	76,3	19,1	5,60	111	37,1	9,27
4,05	223	74,3	18,6	5,65	109	36,4	9,10
4,10	217	72,4	18,1	5,70	107	35,7	8,93
4,15	212	70,6	17,6	5,75	105	35,0	8,76
4,20	207	68,8	17,2	5,80	103	34,2	8,59
4,25	201	67,1	16,8	5,85	101	33,7	8,43
4,30	197	65,5	16,4	5,90	99,2	33,1	8,26
4,35	192	63,9	16,0	5,95	97,3	32,4	8,11
4,40	187	62,4	15,6	6,00	96,5	31,8	7,96
4,45	183	60,9	15,2	–	–	–	–

Примітка. Діаметри відбитків у таблиці наведено для кульок діаметром 10 мм. Під час визначення чисел твердості з використанням кульки діаметром 5 мм, діаметр відбитка необхідно помножити на 2, а за випробування кулькою діаметром 2,5 мм – на 4.

1.2.2. Вимірювання твердості за методом Роквелла

Вимірювання твердості за методом Роквелла виконують утисненням індентора (алмазного конуса з кутом при вершині 120° і радіусом заокруглення 0,2 мм або сталевий загартований кульки діаметром 1,588 мм) у випробовуваний зразок під дією двох послідовно діючих навантажень

(попереднього й загального). Загальне навантаження P дорівнює сумі попереднього P_0 та основного P_1 .

Попереднє навантаження здійснюють, із метою уникнення впливу пружної деформації та шорсткості поверхні на результати вимірювань.

Твердість за Роквеллом виражають в умовних одиницях, що відповідають осьовому переміщенню індентора на 0.002 мм.

Схему визначення твердості за Роквеллом наведено на рис. 5. Індентор на початку вдавлюють у випробовуваний матеріал на глибину h_0 і під дією попереднього навантаження P_0 . У разі додатку основного навантаження P_1 протягом 2 – 6 с індентор удавлюють на глибину h_1 . Після зняття основного навантаження залишається глибина вдавлення h .

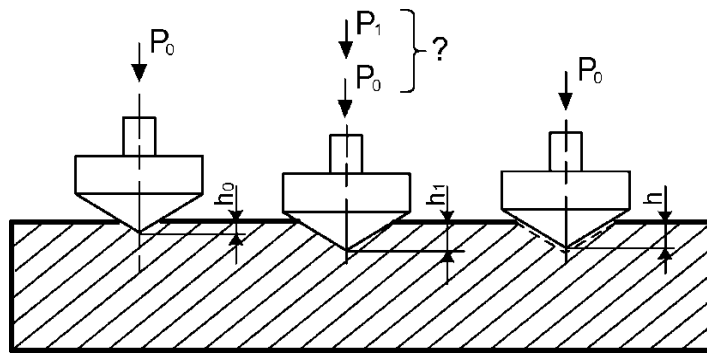


Рис. 5. Схеми визначення твердості

Величину твердості за Роквеллом можна визначити за такою формулою:

$$HR = \frac{t_{\max} - (h - h_0)}{0,002},$$

де t_{\max} – постійна величина, яку визначають, залежно від виду індентора (для алмазного конуса – 0,2 мм, а для сталевий кульки – 0,26 мм);

h_0 – глибина заглиблення індентора під дією попереднього навантаження P_0 ;

h – глибина заглиблення індентора під дією загального навантаження ($P = P_0 + P_1$), яку вимірюють після зняття основного навантаження P_1 за залишення попереднього навантаження P_0 .

Твердомір Роквелла (рис. 6) оснащений індикатором годинникового типу (рис. 7), шкалу якого розподілено на 100 частин. Кожна поділлка шкали

відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002 мм. Індикатор має дві шкали з однаковою ціною поділки, розміщені на одному циферблаті: чорну (зовнішню) для виробництва випробувань з алмазним наконечником за навантажень 60 або 150 кгс, і червону (внутрішню) для виробництва випробувань із кульковим наконечником за навантаження 100 кгс.

Червону шкалу зміщено відносно нульового розподілу чорної шкали на 30 поділок. Необхідність у зсуві викликано тим, що під час випробування кулькою з навантаженням 100 кгс глибина відбитка не буває меншою за 0,06 мм і, відповідно, переміщення стрілки на циферблаті не буває меншим за 30 поділок.

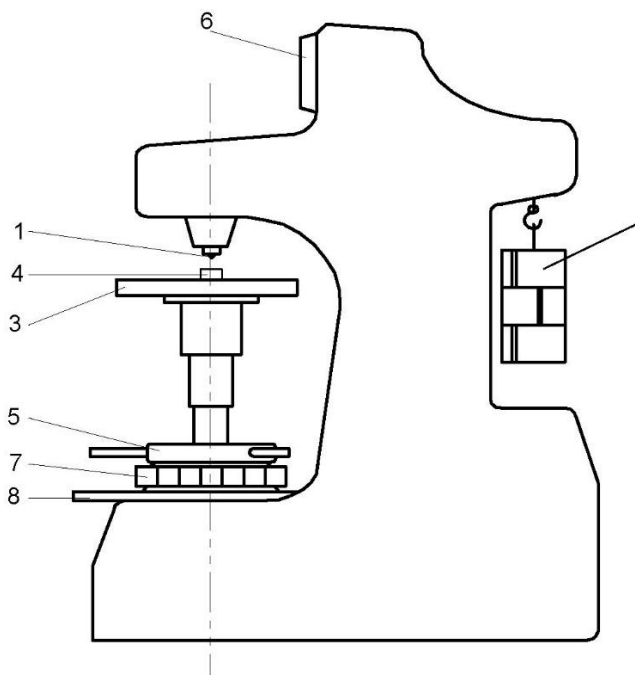


Рис. 6. Твердомір Роквелла ТК-2:

- 1 – індентор; 2 – вантажі; 3 – стіл;
- 4 – зразок; 5 – маховик; 6 – індикатор;
- 7 – барабан; 8 – пускова клавiша



Рис. 7. Індикатор

Крім того, глибина вдавлення часто досягає 0,26 мм, тобто стрілка робить поворот більш ніж на 100 поділок.

Числа твердості за Роквеллом визначають із використанням індикатора за такими формулами:

за вимірювання по чорній шкалі з навантаженням 60 кгс (шкала А):

$$HRA = 100 - \frac{h - h_0}{0,002};$$

за вимірювання по червоній шкалі з навантаженням 100 кгс (шкала В):

$$\text{HRB} = 130 - \frac{h - h_0}{0,002};$$

за вимірювання по чорній шкалі з навантаженням 150 кгс (шкала С):

$$\text{HRC} = 100 - \frac{h - h_0}{0,002}.$$

Шкалу А використовують для вимірювання твердості м'яких виробів і дуже твердих матеріалів (наприклад, твердих сплавів).

Шкала В слугує для випробування матеріалів середньої твердості.

Шкалу С призначено для вимірювання твердості загартованих або цементованих виробів.

Межі вимірювання твердості визначають, відповідно до табл. 4.

Таблиця 4

Межі вимірювання твердості

Позначення		Індентори	Навантаження, кгс			Межі вимірювання, од. тв.
шкали	числа твердості		P ₀	P ₁	P	
A	HRA	алмазний конус	10	50	60	70 – 93
B	HRB	сталева кулька	10	90	100	25 – 100
C	HRC	алмазний конус	10	140	150	20 – 67

Під час вимірювання твердості поверхня зразка або виробу має бути плоскою. Випробування зразків із криволінійними поверхнями допускається тільки за радіуса кривизни не меншої 15 мм. В іншому разі на зразку роблять лиску.

Мінімальна товщина зразка має бути не меншою від восьмикратної глибини вдавлення наконечника після зняття основного навантаження P₁. Вона залежить від очікуваної твердості зразка та змінюється від 2 мм (за найменшої твердості за шкалою В) до 0,4 мм (за найбільшої твердості за шкалою А).

На зворотному боці випробуваного зразка після вимірювання твердості не має бути помітно слідів деформації.

Відстані між центрами двох сусідніх відбитків або від центра відбитка до краю зразка мають бути не меншими за 3,0 мм.

Число твердості має становити середнє арифметичне як мінімум трьох окремих вимірювань, і його вказують безпосередньо за символом, що позначає метод випробування використаної шкали: 80 HRA, 70 HRB, 50 HRC.

За потреби числа твердості за Роквеллом можна наближено перевести в числа твердості за Брінеллем (табл. 5).

Таблиця 5

**Співвідношення чисел твердості під час випробувань
різними методами**

За Роквеллом			За Брінеллем		За Роквеллом			За Брінеллем	
HRB	HRC	HRA	діаметр відбитка, мм	HB	HRB	HRC	HRA	діаметр відбитка, мм	HB
–	72	89	2,2	782	97	20	61	4,1	217
–	67	85	2,3	713	95	18	60	4,2	207
–	63	83	2,4	652	93	–	58	4,3	197
–	59	81	2,5	600	91	–	57	4,4	187
–	56	79	2,6	555	88	–	56	4,5	179
–	52	77	2,7	512	86	–	55	4,6	170
–	49	76	2,8	477	84	–	53	4,7	163
–	47	74	2,9	444	82	–	52	4,8	156
–	44	73	3,0	415	80	–	51	4,9	149
–	41	71	3,1	388	76	–	50	5,0	143
–	39	70	3,2	363	75	–	–	5,1	137
–	37	69	3,3	341	72	–	–	5,2	131
–	35	68	3,4	321	69	–	–	5,3	126
–	33	67	3,5	302	67	–	–	5,4	121
–	30	66	3,6	281	65	–	–	5,5	116
–	28	65	3,7	269	62	–	–	5,6	111
–	26	64	3,8	255	59	–	–	5,7	107
100	24	63	3,9	241	57	–	–	5,8	103
98	22	62	4,0	229	54	–	–	5,9	99

1.3. Порядок виконання роботи

1.3.1. Вимірювання твердості за методом Брінелля на твердомірі ТШ-2М

1. Підготувати твердомір ТШ-2М (рис. 8) до роботи, для чого, залежно від умов випробування (див. табл. 5), установити відповідний індентор і необхідний вантаж 4.

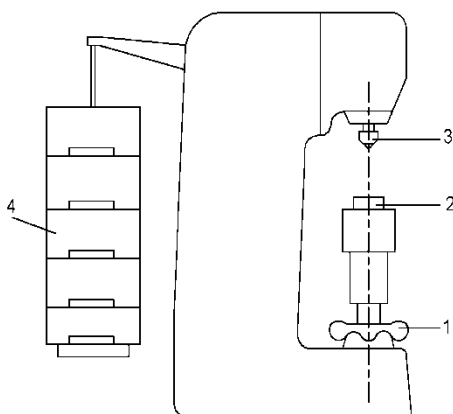


Рис. 8. Твердомір Брінелля ТШ-2М:

1 – маховик, 2 – столик, 3 – індентор, 4 – вантажі

2. Випробуваний зразок установити на столик 2. Обертанням за годинниковою стрілкою маховика 1 підвести зразок до зіткнення з кулькою 3 і, продовжуючи обертання маховика, довести до упору, створюючи цим попереднє навантаження.

3. Натискаючи кнопки, увімкнути електродвигун. Прикладання основного навантаження, витримка під навантаженням і зняття навантаження здійснюються автоматично. У момент початку прикладання навантаження засвічується сигнальна лампочка і світиться протягом часу, відповідного визначеній тривалості витримки кульки під навантаженням.

4. Після зупинки електродвигуна, обертанням маховика 1 проти годинникової стрілки опустити столик 2 і звільнити зразок.

5. Виміряти діаметр відбитка відліковим мікроскопом МБП-2. Заходи здійснювати у двох перпендикулярних площинах із визначенням середньої величини.

6. Кожен зразок випробувати тричі. За кінцевий результат узяти середнє арифметичне із трьох вимірювань. Результати занести до граф 5 – 8 табл. 6.

7. За табл. 3 знайти числа твердості та результати занести до графа 9 (табл. 6).

1.3.2. Вимірювання твердості за методом Роквелла на твердомірі ТК-2

1. Підготувати твердомір Роквелла ТК-2 (див. рис. 6) до роботи, для чого, залежно від умов випробувань, установити відповідний наконечник 1, необхідний вантаж 2, увімкнути електродвигун приладу, нульове значення чорної шкали індикатора (див. рис. 7) установити точно у вертикальне положення.

2. Установлений на столі 3 зразок 4 обертанням маховика 5 за годинниковою стрілкою підвести до зіткнення з індентором 1 і подальшим підняттям столу разом зі зразком докласти попереднє навантаження $P_0 = 10$ кгс. Установлення попереднього навантаження вважати закінченим у разі поєднання малої стрілки з червоною крапкою на індикаторі 6. Водночас велика стрілка не має відхилитися від вертикального положення більш ніж на 5 поділок в той або той бік. У разі більшого відхилення попереднє навантаження має бути знято, а вимірювання твердості виконують в іншій точці зразка. У разі відхилення великої стрілки індикатора від нульового значення менше ніж 5 поділок потрібно їх поєднати переміщенням барабана 7 (див. рис. 6).

3. Створити загальне навантаження натисканням клавіші 8. Після закінчення вдавнення основне навантаження автоматично знімається, велика стрілка індикатора вказує на відповідній шкалі число твердості за Роквеллом.

4. Обертанням проти годинникової стрілки маховика 5 стіл 3 опускається, звільняючи зразок 4.

5. Випробування кожного зразка здійснюють не менше від трьох разів. Водночас значення твердості трьох вимірювань не мають відрізнятися більш ніж на п'ять одиниць. У разі більшого відхилення вимірювання необхідно продовжити до цієї умови. Результати вимірювань занести до табл. 6 (графи 10 – 17).

1.3.3. Оброблення результатів вимірювань

1. За табл. 5 перевести числа твердості, визначені вимірюванням за методом Роквелла, у числа твердості НВ. Результати занести до графі 18 (див. табл. 6).

2. У координатах "твердість НВ – вміст вуглецю у зразках 3 %" побудувати графічні залежності. Водночас залежність, визначену вимірюваннями за методом Брінелля, зображують суцільною лінією, а залежність, визначену за методом Роквелла, – штрихами.

3. На закінчення дати порівняльну оцінку вимірювання твердості за методами Брінелля та Роквелла.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Фізична сутність одиниць твердості під час вимірювання за методами Брінелля та Роквелла.
3. Таблиця результатів випробувань твердості сталей різних марок.
4. Графік залежності твердості сталі від вмісту вуглецю.
5. Висновок за результатами досліджень.

Контрольні запитання

1. Що таке "твердість"?
2. Що беруть за одиницю твердості за Брінеллем?
3. Як здійснюють вибір навантаження і часу витримки?
4. Які умови вибору діаметра кульки?
5. Як визначають твердість за методом Брінелля?
6. Розкрити спосіб запису числа твердості за Брінеллем.
7. Які переваги методу Брінелля?
8. Які недоліки методу Брінелля?
9. На якій відстані можуть перебувати відбитки від краю зразка й один від одного під час вимірювання твердості за методами Брінелля та Роквелла?
10. Що беруть за одиницю твердості за Роквеллом?
11. Як вибирають індентор (наконечник) для випробування в разі використання методу Роквелла?
12. Як забезпечують попереднє навантаження під час випробування на твердомірі Роквелла?

13. Чому дорівнює навантаження (попереднє, основне і загальне) у разі вимірювання твердості за шкалою А, В, С?
14. Для вимірювання яких матеріалів слугують шкали А, В, С?
15. Як записують твердість за Роквеллом?

Практична робота 2

Вивчення структури сталі та чавуну в рівноважному стані

Мета роботи: ознайомити зі структурою та властивостями вуглецевої сталі та чавуну в рівноважному стані (тобто після відпалювання), а також набути навичок у металографічному дослідженні матеріалів.

2.1. Структура сталі

Структуру сталі в рівноважному стані визначають за вмістом вуглецю. Водночас необхідно враховувати, що зі збільшенням умісту вуглецю у сталі структура змінюється. Структура сталі з мінімальним умістом вуглецю (технічне чисте залізо) має зернисту (поліедричну) будову.

У структурі литої або перегрітої середньовуглецевої сталі простежують пластинчасті виділення фериту в перліті (відманштетової структури).

Уважно вивчити та проаналізувати структури сплавів. Мікроструктури замалювати в колах діаметром 60 мм або у квадратах розміром 60 × 60 мм та на кожній указати стрілками різні структурні складові частини та близько стрілок, на полях, написати їхні назви.

Зобразити діаграму стану залізо – цементит, провести на ній вертикальні лінії, відповідні цим сплавам, і дати опис перетворень, що відбуваються під час охолодження.

Визначити в досліджуваних структурах сталей взірцевий уміст вуглецю і за цим показником визначити марку та механічні властивості сталі.

Зміст роботи

1. Ознайомлення з технічними засобами, які використовують для макро- і мікроаналізу.
2. Ознайомлення з методикою підготовки макро- і мікрошліфів.

3. Вивчення мікроскопа МІМ-7, набуття навичок у роботі з мікроскопом (регулювання освітлення, вибір способу збільшення, наведення на фокус тощо).

4. Візуальне спостереження макро- і мікроструктур та їхнє зарисовування.

5. Інтерпретація спостережуваних картин мікроструктур. Визначення відсотка вмісту вуглецю, марки сталі або чавуну, механічних характеристик, зіставлення спостережуваних структур зі вказаними в атласі мікроструктурами.

6. Устаткування, зразки:

1) лупа з 5...10 кратним збільшенням;

2) біноклярний мікроскоп (збільшення до 30 разів);

3) мікроскоп металографічний МІМ-7;

4) полірувально-шліфувальна установка;

5) набір мікрошліфів;

6) реактиви для травлення.

7. Альбом із фотографіями макро- і мікроструктур залізовуглецевих сплавів.

2.1.1. Загальні положення

Між кристалічною будовою сплаву та його властивостями наявний однозначний і визначений зв'язок, тому створення нових сплавів із необхідними властивостями можливе лише на основі глибокого вивчення й аналізу їхніх діаграм стану.

Слід знати, що діаграма стану залізо – вуглець (рис. 9.) – це основа для визначення фаз і структурних складових частин залізовуглецевих сплавів у рівноважному стані. Фаза – це однорідна частина системи, що має однаковий склад, тип ґратів, властивості та відокремлена від решти частин системи поверхнею розподілу. Рівноважним є стан, за якого система має мінімум вільної енергії, тобто після повного закінчення всіх фазових перетворень.

Лінія АСD (ліквідус) відповідає температурам, за яких починається процес кристалізації (виникають центри кристалізації). Лінія АЕCF (солідус) відповідає температурам, за яких завершується процес кристалізації.

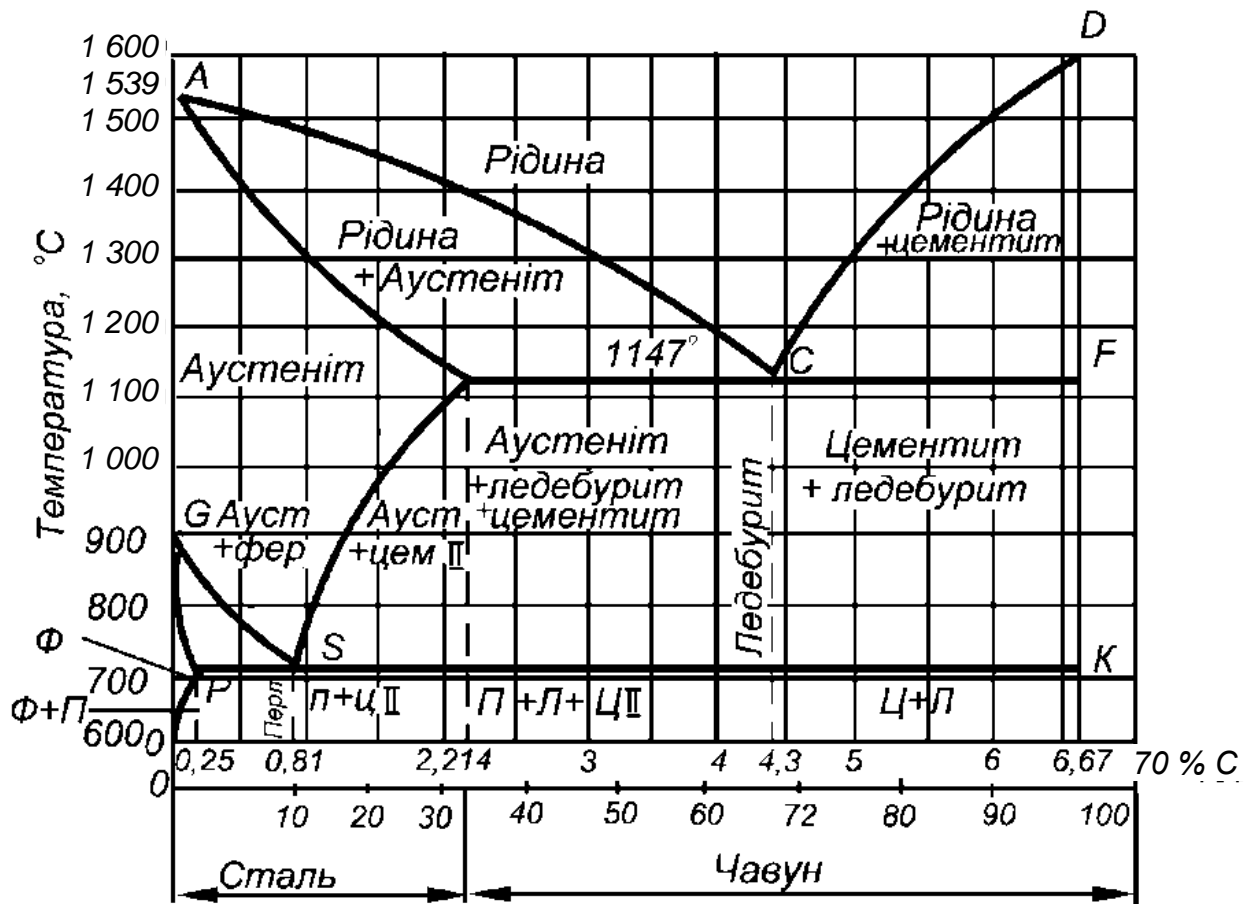


Рис. 9. Діаграма стану Fe – С

Лінії GS і SE відповідають температурам, за яких кристали аустеніту починають розпадатися з утворенням кристалів фериту та цементиту вторинного.

Лінія PSK (перлітове перетворення) відповідає температурі, за якої аустеніт перетворюється на перліт.

Структурними складовими частинами вуглецевої сталі за кімнатної температури є такі:

ферит (від лат. *ferrum* – залізо) – це твердий розчин вуглецю в альфа-залізі. Ферит може містити у твердому розчині за 727 °С до 0,25 % вуглецю, а за кімнатної температури – тільки 0,006 % вуглецю;

цементит – це хімічна сполука заліза з вуглецем, що містить 6,67 % вуглецю (карбід заліза);

перліт – це евтектоїд, механічна суміш кристалів цементиту та фериту, що утворилася під час розпаду аустеніту в результаті повільного охолодження. Перліт, залежно від форми кристалів цементиту, буває пластинчастий і зернистий.

За температур гарячого оброблення тиском структурою сталі є аустеніт – це твердий розчин вуглецю в гамма-залізі. Максимальна розчинність вуглецю в аустеніті 2,14 % (точка *E*). Експериментальне дослідження кристалічних структур здійснюють методами макро- і мікроаналізу.

Макроаналіз – це дослідження будови металів і сплавів неозброєним оком, а також за допомогою лупи або біноклярного мікроскопа за збільшення до 30 разів. Будова металів, що вивчають за допомогою макроаналізу, є макроструктурою.

Мікроскопічний метод дослідження (*мікроаналіз*) вивчає структуру (будову) металів за допомогою мікроскопа на спеціально приготованих зразках. Будову металів, що вивчають у процесі мікроаналізу, називають мікроструктурою.

Обидва методи, залежно від поставленого завдання, можуть застосовувати окремо або в поєднанні один з одним.

Мікроаналіз в основному застосовують для вивчення характеру зламу деталей, що піддаються руйнуванню у процесі експлуатації або під час випробувань, для виявлення в них внутрішніх дефектів типу порожнеч, раковин, неметалічних включень тощо. Цей метод слугує для вивчення напрямку волокон, що виникли, унаслідок пластичної деформації ділянок, що підлягають місцевому термічному або хіміко-термічному обробленню зон ліквідації (скупчення) шкідливих домішок сірки або фосфору.

Мікроаналіз дає можливість визначити структуру металів і сплавів після деформації, різних видів термічного і хіміко-термічного оброблення та інших технологічних операцій, а також дозволяє визначити форму й розмір структурних складових частин і кількісне співвідношення між ними, наявність у структурі мікрodefektів.

2.1.2. Макроаналіз

Вивчення характеру руйнування металевого виробу зазвичай починають із візуального огляду його зламу або за допомогою лупи. Часто макроаналіз здійснюють на спеціально підготовлених макрошліфах, які піддаються ретельному шліфуванню наждачним папером і травлять сильнотравними реактивами.

Швидкість перебігу реакції між протравлювачем і різними ділянками виробу неоднакова, що і приводить до виявлення особливостей структури. Методом травлення можна виявити такі дефекти, як приховані тріщини

і пористість у виливках, неметалеві включення, непроварення у зварних з'єднаннях.

За допомогою цього методу можна з'ясувати характер і напрям волокнистої структури, що виходить у результаті пластичної деформації. Найбільш поширеним протравлювачем для макрошліфів із залізобуглецевих сплавів є 15-відсотковий водний розчин персульфату амонію $(\text{NH}_4)_2 \text{S}_2\text{O}_8$.

Для визначення характеру ліквідації сірки або фосфору до поверхні досліджуваного макрошліфа прикладають засвічений фотопapір, просочений 5-відсотковим водним розчином сірчаної кислоти, яку потім після невеликої витримки фіксують у закріплювачі. У результаті взаємодії сірчастих з'єднань FeS із сірчаною кислотою виходить сірководень, який вступає в реакцію із бромистим сріблом фотоемульсії та утворює сірчисте срібло Ag_2S , що має темний колір. За розташуванням цих темних плям і судять про ступінь ліквідації сірки. Аналогічно виявляють і ліквідацію фосфору, плями від якого на відбитку світліші.

Будова мікроскопа металографії ШМ-7. Мікроскоп МiМ-7 призначено для спостереження та фотографування мікроструктури металів у звичайному (світле й темне поле) і в поляризованому (світле поле) світлі. Мікроскоп забезпечує збільшення від 60 до 1 440 разів під час візуального спостереження і від 70 до 1 360 разів під час фотографування. Загальний вигляд мікроскопа показано на рис. 10.

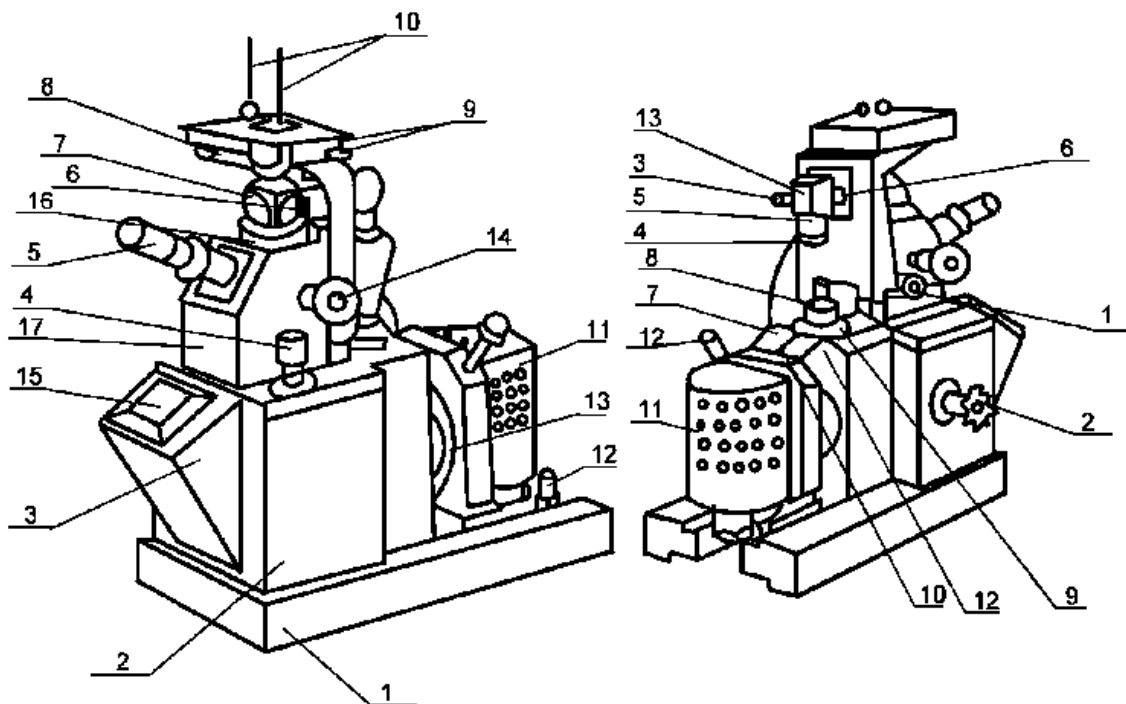


Рис. 10. Загальний вигляд мікроскопа МiМ-7

Металографічний мікроскоп є системою лінз, що дозволяє дістати збільшене зображення об'єкта. Елементами, що визначають збільшення мікроскопа, є об'єктив і окуляр. Об'єктив є системою лінз, розміщених в одній оправі та звернених до цього об'єкта. Він дає зворотне збільшене зображення. Окуляр – це система лінз, розміщених в одній оправі та звернених до ока спостерігача. Він дає уявне збільшене зображення, отримане об'єктивом. Загальне збільшення, яке забезпечує мікроскоп під час візуального спостереження, таке:

$$V_M = V_{OK} \times V_{OB},$$

де V_{OK} і V_{OB} – збільшення, що забезпечується окуляром і об'єктивом.

2.1.3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою мікроскопа, звернути увагу на розташування деталей мікроскопа та їхнє використання під час роботи.

2. Установити різні об'єктиви й окуляр, визначити збільшення мікроскопа.

3. Розглянути мікроструктуру одного шліфа за різних збільшень.

Приготування мікрошліфів. Воно полягає у вирізуванні зразка, шліфування та полірування досліджуваної поверхні до дзеркального блиску. Розміри та форма шліфа можуть бути різними, частіше застосовують шліфи циліндричної (\varnothing 12 мм) або прямокутної (12 × 12 мм) форми. Висота зразків становить 10...15 мм. Якщо зразки мають менші розміри, то для приготування шліфа їх затискають у струбціні або заливають у легкоплавкі матеріали.

Вибір місця вирізки зразка слід робити після огляду досліджуваного металу, особливо його макроструктури та зламу, визначення твердості й технологічних проб. Досліджувану щільність шліфа вибирають так, щоб вона збігалася зі щільністю зламу, дефекта.

Після вирізування шліфа виконують вирівнювання досліджуваної грані за допомогою напилка, цупкого шліфувального паперу або на абразивних кругах. Потім зразок шліфують на шліфувальному папері різної зернистості. Під час шліфування вручну шліфувальний папір поміщають на товсте скло для забезпечення щільності досліджуваної поверхні. Шліфування зразка виконують до того часу, поки не зникнуть риси від попередньої обробки. Перед шліфуванням більш дрібнозернистим папером зразок

очищають від пилу, повертаючи під кутом 90° , і повторюють процес шліфування. Після закінчення тонкого шліфування зразок промивають і готують до полірування.

Полірують шліф на крузі, що обертається, покритому сукном або повстю. Покриття диска змочують водою з найдрібнішими частинками окису хрому або алюмінію. Тривалість полірування не має перевищувати 3...5 хв, поки не зникнуть штрихи, залишені після шліфування. Шліф можна вважати добре відполірованим, якщо під час розгляду під лупою зі збільшенням 5...10 разів на шліфі не розрізняють дефекти у вигляді рисок, подряпин тощо.

Процес травлення мікрошліфа необхідний для того, щоб штучно спричинити у сплаві неоднакове відбиття світла різними структурними складовими частинами або створити різкі межі, що відокремлюють одне зерно від іншого.

Полірований шліф піддають травленню хімічними реактивами, відповідними різним сплавам. Іноді доцільно починати вивчення мікроструктури на полірованій, але не травленій поверхні, оскільки в цьому разі виразніше виявляють неметалічні включення (шлаки, оксиди, графіт тощо).

Після травлення однорідного сплаву або чистого металу можна визначити форму й розміри зерен за виглядом суміжних ділянок і решти частини. Структуру багатофазних сплавів виявляють під мікроскопом за рахунок їхньої різної травленості, унаслідок чого різні структурні складові частини по-різному будуть відбивати світло. Наприклад, зерна фериту будуть світлішими, ніж зерна перліту.

На рис. 11 показано схему відбиття світла протравленої поверхні багатофазного сплаву (ферит і перліт).

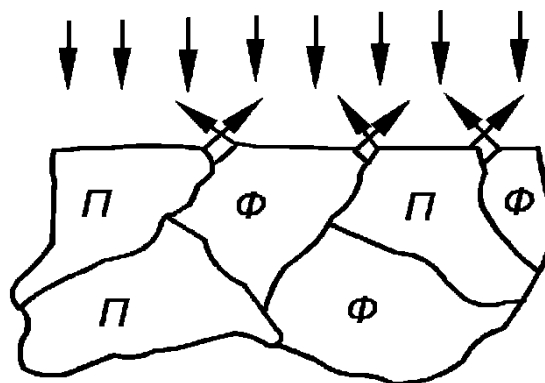


Рис. 11. Схема відбиття світла від поверхні шліфа

Реактиви для травлення вибирають, залежно від складу, структурного стану сплаву та мети дослідження. Для чавунів і сталей для травлення застосовують:

5-відсотковий розчин HNO_3 в етиловому спирті;

4-відсотковий розчин пікринової кислоти у спирті;

підкрат натрію (підкринова кислота та їдкий натр).

Вивчення мікроструктур вуглецевих і легованих сталей у рівноважному стані. Під час спостереження структур різних марок вуглецевої сталі під мікроскопом видно, що зі збільшенням відсоткового вмісту вуглецю збільшується частка кристалів перліту, які значно темніші, ніж кристали фериту. Тому для доєвтектоїдних сталей (до 0,8 % C) за візуальним спостереженням структури можна в першому наближенні визначити відсотковий уміст вуглецю, оскільки вуглець міститься в основному в перліті (0,83 %). Для цієї мети можна використовувати таке співвідношення:

$$c = \frac{S_n \times 0,83}{100},$$

де S_n – площа, зайнята перлітом у відсотках до загальної площі поля зору.

На рис. 12 показано схематичні зарисування структур вуглецевих сталей, що містять різний відсоток вуглецю.

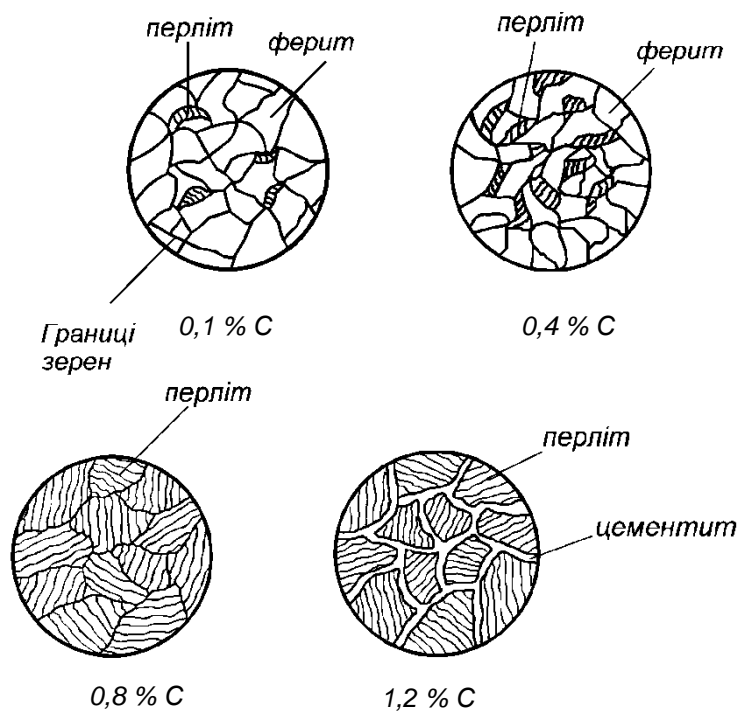


Рис. 12. Схеми структур вуглецевих сталей із різним умістом вуглецю

Спостережувані під мікроскопом структури вуглецевої сталі, що містять ферит, перліт і цементит, мають різні механічні характеристики, на величини яких роблять істотний вплив не тільки форма, але й розміри кристалів. Наприклад, у звичайного пластинчастого перліту ($\sigma_a = 820$ МПа і $\delta = 15$ %), а у крупнопластинчастого перліту ці характеристики помітно нижчі: $\sigma_a = 550$ МПа $\delta = 5$ %, Зернистий перліт має $\sigma_a = 630$ МПа і $\delta = 20$ %. Відповідно, твердість пластинчастого перліту НВ = 200...250, а зернистого НВ = 160...220.

2.1.4. Відомості з теорії

До вуглецевої сталі належать сплави заліза з вуглецем, уміст якого коливається від 0,02 до 2,14 %.

Залізо є поліморфним металом і має різні кристалічні ґрати, залежно від температури. До 911 °С залізо має ґрати ОЦК (об'ємноцентричні кубічні). Цю алотропічну модифікацію заліза називають *a*-залізом. Вище від 911 °С об'ємноцентричні ґрати перетворюються на гранецентричні (ГЦК). Цю модифікацію заліза називають *y*-залізом.

Вуглець є неметалевим елементом. У природі зустрічається у вигляді графіту й алмазу. Залізо та вуглець взаємодіють між собою, утворюючи, залежно від їхнього кількісного співвідношення та температури, різні фази. Твердий розчин вуглецю в *a*-залізі називають феритом, має ґрати ОЦК, містить за 727 °С 0,02 % вуглецю. Ферит має низьку твердість (НВ 80), міцність і високу пластичність. Хімічну сполуку вуглецю із залізом (карбід заліза) Fe_3C називають цементитом. Цементит має складні кристалічні ґрати, містить 6,67 % вуглецю. Цементит має високу твердість (понад НВ 800) і дуже низьку, практично нульову пластичність. Згідно з діаграмою "залізо – вуглець" (рис. 13), усі вуглецеві сталі за нормальної температури складаються із двох фаз – фериту та цементиту.

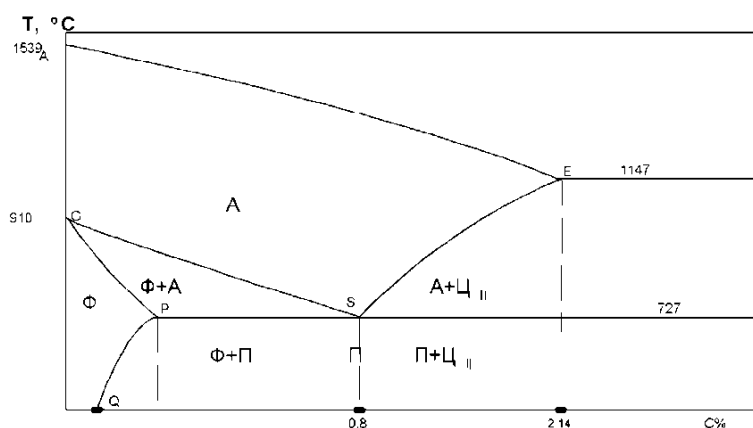


Рис. 13. Нижня частина діаграми Fe – Fe₃C (сталева ділянка)

Оскільки у фериті міститься не більше ніж 0,02 % С, то практично весь вуглець, наявний у сталі, входить до складу цементиту. Тому з підвищенням відсоткового вмісту вуглецю збільшується частка цементиту у сталі, що призводить до підвищення твердості та зниження в'язкості, пластичності. За вмістом вуглецю вуглецеві сталі розподіляють на евтектоїдні, доевтектоїдні та заевтектоїдні.

Евтектоїдні сталі містять 0,8 % С і мають структуру перліту, тобто механічну суміш фериту та цементиту (рис. 14.). Перліт П ($\Phi + \text{Ц}$) найчастіше має пластинчасту будову та є міцною структурою, що містить: $\sigma_{\text{в}} = 800 \dots 900$ МПа, НВ 180...220.

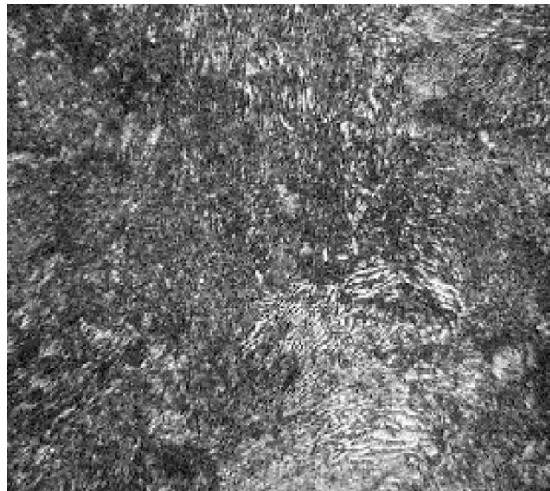


Рис. 14. Структура евтектоїдної сталі (0,8 % С) X300

Доевтектоїдні сталі містять від 0,02 до 0,8 % С і мають феритно-перлітну структуру. На рис. 15 видно структурні складові частини такої сталі: ферит (світлі ділянки) і перліт (темні ділянки).

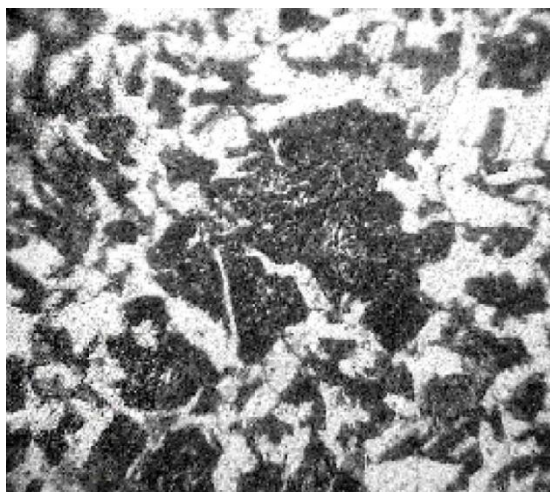


Рис. 15. Структура доевтектоїдної сталі X300

Кількісне співвідношення цих складових частин залежить від умісту у сталі вуглецю. Зі збільшенням останнього зростає кількість перліту та зменшується кількість фериту. Оскільки цементит входить до складу перліту, то збільшення цієї фази призводить до підвищення твердості та зменшення пластичності сталі.

Заевтектоїдні сталі містять вуглецю від 0,8 до 2,14 %. У структурі заевтектоїдних сталей є зерна перліту, за межами яких розташовується цементит у вигляді тонкої сітки, що сприяє значному підвищенню крихкості сталі (рис. 16).



Рис. 16. Структура заевтектоїдної сталі X300

За співвідношенням структурних складових частин у доевтектоїдних сплавах можна визначити вміст вуглецю, який там наявний і, відповідно, марку сталі. Цей прийом засновано на тому, що практично увесь вуглець є у складі перліту. У фериті його вміст за 20 °С не перевищує 0,006 %. Ураховуючи, що перліт уміщує вуглецю 0,8 % то, визначивши займану ним площу в досліджуваній сталі, за формулою розраховують відсотковий вміст вуглецю:

$$C = 0,8 \times F_n / 100 ,$$

де F_n – площа, займана перлітом, %.

Для якісних конструкційних та інструментальних вуглецевих сталей різних марок ДСТУ встановлено певні межі за вмістом вуглецю. Отже, визначивши його вміст у досліджуваній сталі, можна встановити її марку (табл. 7 і 8).

Якісні вуглецеві сталі за призначенням розподіляють на конструкційні й інструментальні.

Якісні конструкційні вуглецеві сталі маркують двозначними цифрами, які дають зрозуміти середній уміст вуглецю в сотих частках відсотка (див. табл. 7).

Таблиця 7

**Хімічний склад та властивості
якісних вуглецевих конструкційних сталей**

Марки сталі	Уміст елементів, %			Властивості після нормалізації				α_n , кгс м/ мм ²	Твердість	
	C	Mn	Si	σ_B , кгс/ мм ²	σ_T , кгс/ мм ²	δ_5 , %	ψ , %		без термічної обробки	Після відпалю- вання чи високого відпуску
				не менше ніж						
08	0,05 – 0,12	0,36 – 0,65	0,17 – 0,37	32	20	33	60	–	131	131
10	0,07 – 0,14	0,36 – 0,65	0,17 – 0,37	34	21	31	55	–	143	143
15	0,12 – 0,19	0,36 – 0,65	0,17 – 0,37	38	23	27	55	–	149	149
20	0,17 – 0,24	0,36 – 0,65	0,17 – 0,37	42	25	25	55	–	163	163
25	0,22 – 0,30	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	46	28	23	50	–	170	170
30	0,27 – 0,35	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	50	30	21	50	–	179	179
35	0,32-0,40	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	54	32	20	45	7	207	187
40	0,37 – 0,45	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	58	34	19	45	6	217	197
45	0,42 – 0,50	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	61	36	16	40	5	229	207
50	0,47 – 0,55	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	64	38	14	40	4	241	217
55	0,52 – 0,60	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	66	39	13	35	–	255	229
60	0,57 – 0,65	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	69	41	12	35	–	255	229

Якісні інструментальні вуглецеві сталі маркують буквою У і наступною за нею цифрою, яка показує середній уміст вуглецю в сотих частках відсотка (див. табл. 8).

**Хімічний склад і механічні властивості
якісних інструментальних вуглецевих сталей**

Марки сталі	Уміст елементів, %				
	C	Mn	Si	S He	P понад
У7	0,65 – 0,74	0,20 – 0,40	0,15 – 0,35	0,03	0,035
У8	0,75 – 0,84	0,20 – 0,40	0,15 – 0,35	0,03	0,035
У8Г	0,80 – 0,90	0,35 – 0,60	0,15 – 0,35	0,03	0,035
У9	0,85 – 0,94	0,15 – 0,35	0,15 – 0,35	0,03	0,035
У10	0,95 – 1,04	0,15 – 0,35	0,15 – 0,35	0,03	0,035
У11	1,05 – 1,14	0,15 – 0,35	0,15 – 0,35	0,03	0,035
У12	1,15 – 1,24	0,15 – 0,35	0,15 – 0,35	0,03	0,035
У13	1,25 – 1,35	0,15 – 0,35	0,15 – 0,35	0,03	0,035

Леговані сталі. Легованими називають сталі, до складу яких уводять легувальні елементи, із метою набуття необхідних властивостей. Прийнято такі позначення легувальних елементів: азот – А, ніобій – Б, вольфрам – В, марганець – Г, мідь – Д, кобальт – К, молібден – М, нікель – Н, фосфор – П, бор – Р, кремній – С, титан – Т, ванадій – Ф, хром – Х, цирконій – Ц, рідкоземельні метали – Ч, алюміній – Ю.

Леговані сталі маркують поєднанням букв і цифр, що позначають їхній хімічний склад.

Дві цифри на початку марки конструкційної легованої сталі показують уміст вуглецю в сотих частках відсотка. Цифра, що стоїть після букви, указує на приблизний уміст легувального елемента у відсотках. Якщо цифра відсутня, то легувального елемента менше або близько 1 %. За відсутності в позначенні легованої сталі цифри, що вказує на вміст вуглецю, його кількість становить 0,9...1,0 %.

Буква "А" в кінці марки означає, що сталь високоякісна, тобто зі знизеним умістом сірки та фосфору. Якщо буква "А" в середині, то це вказує на наявність уведеного до сталі азоту.

Деякі групи сталей містять додаткові позначення: марки шарикопідшипникових сталей починаються з букви "Ш", електротехнічні – із букви "Е", автоматичні – із букви "А", швидкорізальні – із букви "Р" та ін.

Наприклад: 50ХГ2ФА – сталь легована, конструкційна, високоякісно-судинна, містить 0,5 % вуглецю, 1 % хрому, 2 % марганцю, 1 % ванадію.

ШХ15 – сталь шарикопідшипникова, містить 0,9...1,0 % вуглецю, і 1,5 % хрому (рис. 17).

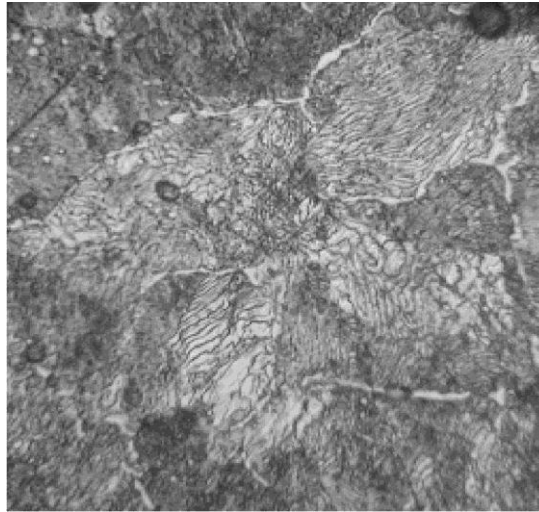


Рис. 17. Структура сталі ШХ15 після відпалювання

Р6М5 – сталь швидкорізальна із вмістом вуглецю 0,9...1,0 %, вольфраму – 6 %, молібдену – 5 % (рис. 18).

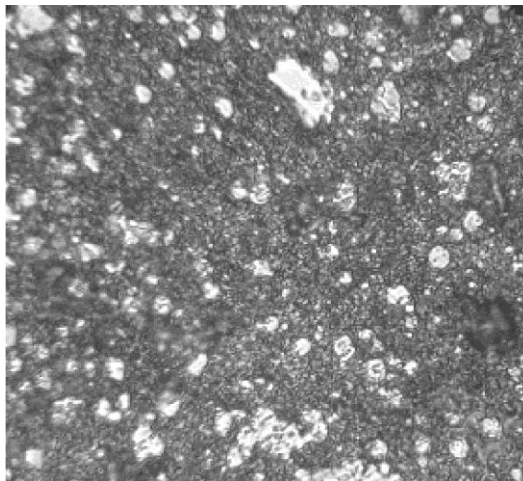


Рис. 18. Структура швидкорізальної сталі Х30Р6М5 після відпалювання Х1000

Якщо у сталі до 2,5 % легувальних елементів, таку сталь називають низьколегованою; до 10 % легувальних елементів – легованою та понад 10 % – високолегованою.

Леговані сталі застосовують після гартування та відпускання, тому що у відпаленому стані вони за механічними властивостями практично не відрізняються від вуглецевих.

Поліпшення механічних властивостей обумовлено впливом легувальних елементів на властивості фериту, дисперсністю карбідної фази, стійкістю мартенситу під час відпускання, прогартованістю, розміром зерна.

У конструкційних сталях ферит – основна структурна складова частина – багато в чому визначає їхні властивості.

Легувальні елементи, розчиняючись у фериті, зміцнюють його.

Найбільш сильно підвищують твердість (нормалізованого) фериту кремній, марганець, нікель.

Зміцнюючи ферит і мало впливаючи на пластичність, більшість легувальних елементів знижують його ударну в'язкість, особливо, якщо їхня концентрація вища за 1 %. У разі збільшення у сталі вуглецю посилюється вплив карбідної фази, дисперсність якої визначають термічною обробкою та складом сталі.

Для забезпечення високої конструкційної міцності кількість легувальних елементів у сталі має бути раціональною.

Усі карбідні фази мають високу температуру плавлення та високу твердість.

Сталь за наявності невеликої кількості нерозчинних карбідів зберігає дрібнозернисту будову до дуже високих температур нагрівання (рис. 19).

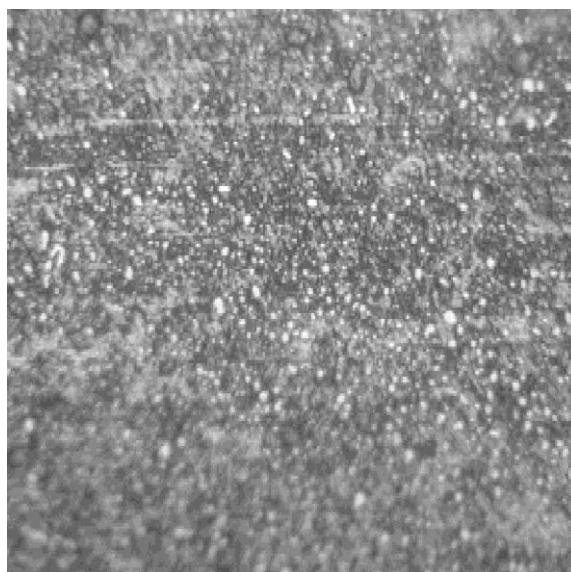


Рис. 19. Структура сталі ШХ15 після загартування і низького відпуску Х300

Шарикопідшипникову сталь, зазвичай, легують хромом для забезпечення необхідної прогартуваності.

У загартованому стані ця сталь відрізняється міцністю, твердістю, зносостійкістю та високим опором контактній утомі.

Склад шарикопідшипникової сталі ШХ9: вуглецю – 1,05 – 1,1 %; хрому – 0,9 – 1 %; марганцю – 0,2 – 0,4 %; кремнію – 0,17 – 0,37 %.

Порядок виконання роботи

1. Визначити мікроструктуру вуглецевих сталей у рівноважному стані.
2. Визначити мікроструктуру легованих сталей.
3. Схематично зарисувати побачену в мікроскоп структуру.
4. Визначити структурні складові частини та вказати, із яких фаз складається кожна з них.
5. Визначити на основі мікроаналізу вид сталі (доевтектоїдна, евтектоїдна або заевтектоїдна), марку сталі за ДСТУ, класифікувати за призначенням (конструкційна, інструментальна або спеціальна).
6. За розрахунковим методом визначити вміст вуглецю та встановити марку сталі.

Зміст звіту

1. Накреслити діаграму стану Fe – Fe₃C із позначенням фазових структурних ділянок (сталеву частину).
2. Зарисувати структуру вивчених зразків.
3. Під кожним рисунком вказати структуру, вміст вуглецю та призначення сталі.

Контрольні запитання

1. Що таке "аустенит"?
2. Що таке "ферит"?
3. Що таке "цементит"?
4. Що таке "перліт"?
5. Охарактеризуйте структуру доевтектоїдної сталі.
6. Охарактеризуйте структуру евтектоїдної сталі.
7. Охарактеризуйте структуру заевтектоїдної сталі.
8. Як маркують вуглецеві сталі?
9. Що таке "легувальні елементи"?
10. Дайте визначення легованих елементів за ДСТУ.
11. Що називають легованими сталями?
12. Що впливає на властивості легованих сталей?
13. Як легувальні елементи впливають на властивості сталі?
14. Що таке "спеціальні карбіди"?
15. Які хімічні елементи є карбідотвірними?

2.2. Вивчення мікроструктур чавунів

Мета роботи: дослідити мікроструктури білих, ковких і високоміцних чавунів.

2.2.1. Короткі відомості з теорії

Чавунами називають залізовуглецеві сплави, які містять вуглецю понад 2,14 %.

Вуглець у чавунах може перебувати у двох станах:

а) зв'язаному – у вигляді цементиту.

б) вільному – у вигляді графіту.

Залежно від цього чавуни розподіляють на дві групи:

1. Чавуни, у яких увесь вуглець перебуває у зв'язаному стані у вигляді цементиту, називають білими.

2. Чавуни, у яких увесь вуглець або частина його перебувають у вільному стані у вигляді графіту, – сірі, ковкі, високоміцні.

Білі чавуни, залежно від вмісту в них вуглецю, розподіляють на доевтектоїдні (від 2,14 до 4,3 % С), евтектоїдні (4,3 % С) і заевтектоїдні (до 6,67 % С). Такі чавуни дуже тверді, крихкі, погано піддаються механічному обробленню різальним інструментом. У машинобудуванні застосовують доевтектичний білий чавун зі вмістом 2,5 – 3,5 % С. Його використовують для виливків, що працюють без ударних навантажень або як граничні. Мікроструктуру білого чавуну наведено на рис. 20.

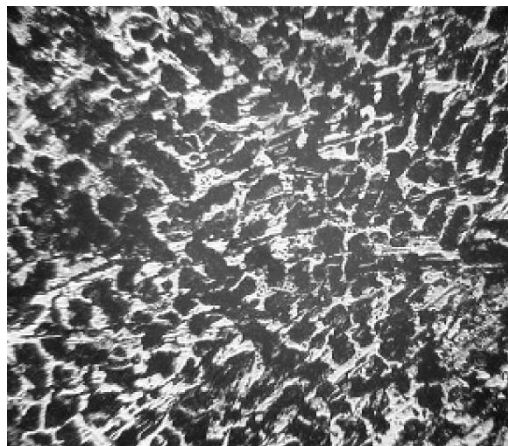


Рис. 20. Мікроструктура білого чавуну X300

Більшою мірою білий чавун використовують як напівфабрикат для отримання ковкого чавуну. Із цією метою заготовки відливають із білого чавуну, а потім їх піддають тривалому відпалюванню, за якого цементит розпадається на графіт і залізо.

У промисловості широкого застосування набули вироби з вибіленого чавуну, у якому поверхневий шар має структуру білого чавуну, а серцевина – сірого чавуну із графітом.

Такі вироби виготовляють швидким охолодженням поверхні литтям у металеву форму. Металеву основу чавуну становлять кристали фериту й перліту, на тлі яких виділяють кристали графіту. Механічна міцність графіту практично дорівнює нулю, тому його виділення еквівалентні порожнечам у структурі (раніше чавун визначали як сталь, що має порожнечі у структурі). Механічні характеристики чавунів істотно залежать не тільки від відсоткового вмісту вуглецю (площі порожнеч у структурі), але й від їхньої форми.

У чавунів із графітом розрізняють три його форми: пластинчасту, кулясту, пластівчасту. За розміром графітні включення розподіляють на великі, дрібні та середні.

Залежно від того, яка частина вуглецю в чавунах із графітом перебуває у зв'язаному стані, розрізняють чавуни з феритною, феритно-перлітною та перлітною основою.

Залежно від форми графіту, чавун розподіляють на:

- сірий – із пластинчастою формою графіту;
- високоміцний – із кулястою формою графіту;
- ковкий – із пластівчастою формою графіту.

Процес утворення в чавуні графіту називають *графітизацією*. На процес графітизації, форму, розміри та кількість графіту, що виділяється, істотний вплив роблять легувальні елементи, домішки, модифікатори та швидкість охолодження розплавленого чавуну. До елементів, що сприяють графітизації, належать кремній, нікель, мідь та ін. Елементи, що перешкоджають графітизації, називають карбідотвірними, або відбілювальними. До них належать марганець, хром, сірка та ін. Найбільш важливими елементами чавуну, що змінюють форму й розміри графітових включень, є кремній і марганець, такі елементи називають модифікаторами.

Для отримання дрібних графітових пластин у сірому чавуні як модифікатори застосовують феросиліцій і силікокальцій, а для отримання кулястої форми графіту у високоміцних чавунах застосовують магній, церій та інші елементи.

2.2.2. Мікроструктура сірих, ковких і високоміцних чавунів

Форму, розміри та розташування графіту добре видно на мікрошліфах у нетравленому вигляді (рис. 21).

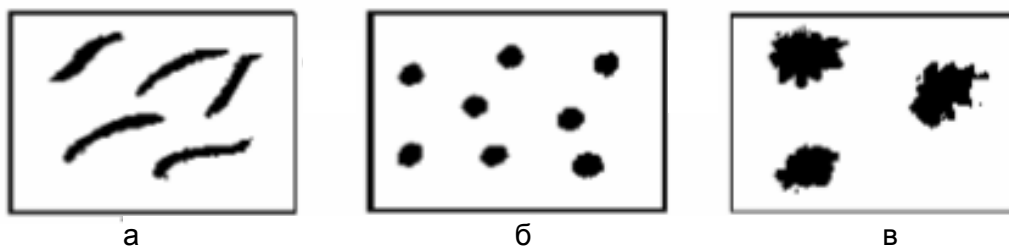


Рис. 21. **Форма графіту в чавунах:**
а – сірому; б – високоміцному; в – ковкому

Після травлення мікрошліфів на них проявляється металева основа, яка, залежно від кількості зв'язаного вуглецю, може бути феритною, феритно-перлітною та перлітною.

Залежно від металевої основи, сірі, ковкі та високоміцні чавуни розподіляють на феритні, феритно-перлітні та перлітні (рис. 22 – 24).

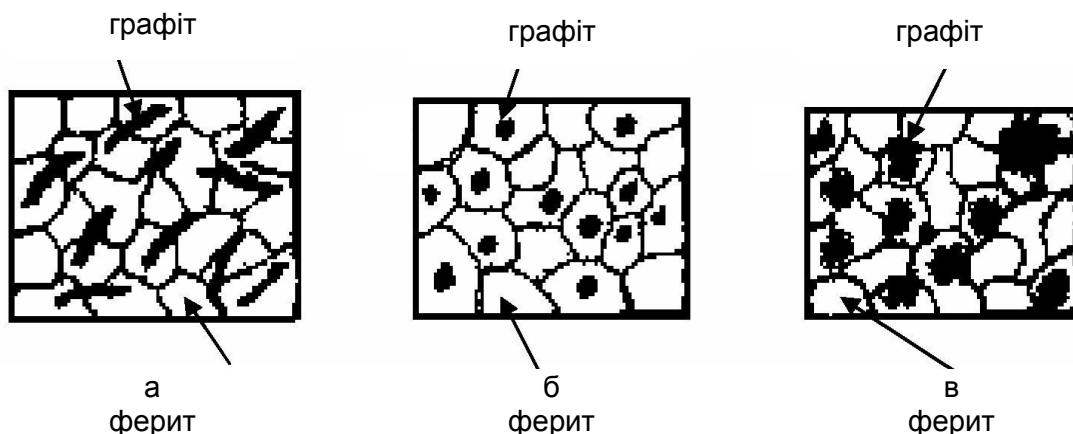


Рис. 22. **Мікроструктура феритних чавунів:**
а – сірого; б – високоміцного; в – ковкого

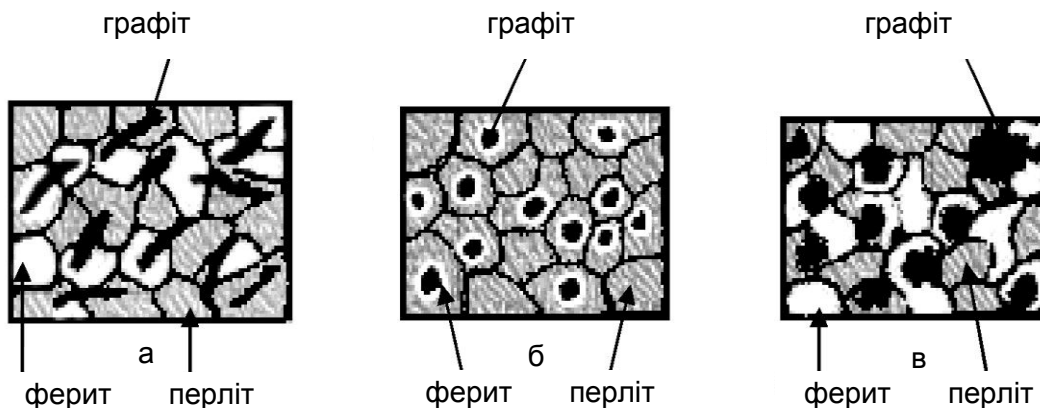


Рис. 23. **Мікроструктура феритно-перлітних чавунів:**
а – сірого; б – високоміцного; в – ковкого

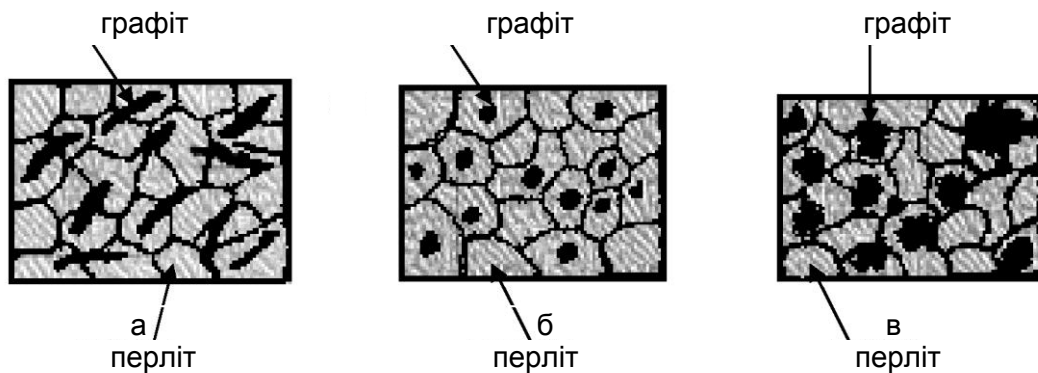


Рис. 24. Мікроструктура перлітних чавунів:

а – сірого; б – високоміцного; в – ковкого

Маркування конструкційних чавунів. Чавуни маркують буквами й цифрами: сірі – СЧ, ковкі – КЧ, високоміцні – ВЧ.

У сірих чавунах цифри вказують межу міцності під час розтягання, кгс/мм². Наприклад: СЧ12, СЧ36.

У високоміцних і ковких чавунах перша пара цифр показує значення межі міцності на розрив, кгс / мм²; друга – відносне подовження, %. Наприклад: ВЧ40-10, ВЧ60-2, КЧ30-6, КЧ60-3.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити мікроструктури: а) білого чавуну у травленому вигляді, б) сірого, ковкого і високоміцного в нетравленому та травленому вигляді.
2. Зарисувати й описати досліджувані структури.

Зміст звіту

1. Рисунок мікроструктури білих чавунів.
2. Рисунок мікроструктур нетравлених шліфів сірого, ковкого та високоміцного чавунів.
3. Рисунок мікроструктур травлених шліфів сірого, ковкого та високоміцного чавунів і вказати металеві основи цих чавунів.
4. На рисунках указати структурні складові частини.

Контрольні запитання

1. Які сплави називають чавунами?
2. Що таке "ферит"?
3. Що таке "цементит"?
4. Що таке "перліт"?
5. Яка форма графіту в сірого чавуну?

6. Яка форма графіту у високоміцного чавуну?
7. Як дістають високовипробувальний чавун?
8. Яка форма графіту в ковкого чавуну?
9. Як отримують ковкий чавун?
10. Якою може бути структура металевої основи чавунів?
11. На які властивості чавунів впливає форма графіту?
12. На які властивості чавунів впливає структура основи?

Практична робота 3

Вивчення мікроструктур кольорових металів і сплавів

Мета роботи: вивчити мікроструктури алюмінієвих, мідних та антифрикційних сплавів. Установити зв'язки між складом, обробленням і структурою сплавів.

3.1. Відомості з теорії

До кольорових металів і сплавів належать усі метали та їхні сплави, за винятком заліза і його сплавів. У сучасній техніці найбільше застосовують алюміній, мідь, магній, цинк, свинець, олово, нікель, титан і їхні сплави, завдяки їхнім специфічним властивостям: високій електропровідності, малій питомій вазі, корозійній стійкості, антифрикційним властивостям та ін.

Мідь і мідні сплави (латунь і бронза)

Мідь – хімічний елемент 1-ї групи періодичної системи елементів, атомний номер 29, атомна маса 63,54; кристалічні ґрати – гранецентрична кубічна, алотропічних перетворень не має, метал червонувато-рожевого кольору, щільність 8,9 г/см³, температура плавлення 1 083 °С. Має низький коефіцієнт електроопору, що становить 0,0178 мкОм · м, що обумовлює її переважне застосування в електротехніці.

Мідь має дуже високу пластичність у гарячому та холодному станах, що дозволяє виготовляти вироби штампуванням, прокатуванням, волочінням. У разі деформації міді підвищується її міцність (σ_b) і знижується пластичність. Деякі механічні властивості чистої міді наведено в табл. 9.

Механічні властивості чистої міді

Стани	σ_B , МПа	δ , %
Лита	150 – 200	15 – 25
Прокатана та відпалена	250 – 270	40 – 50
Нагартована	400 – 430	1 – 2

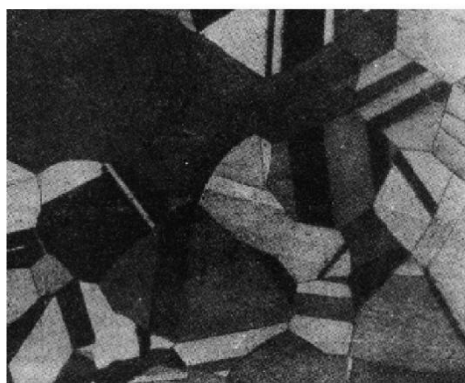
Зниження пластичності міді в разі деформації ускладнює подальше оброблення. Для відновлення пластичних властивостей міді виконують відпалювання рекристалізації (450 ... 500 °С).

Домішки, наявні в міді, значно впливають на її властивості. Найшкідливішими домішками є вісмут і свинець, тому з ними мідь утворює легкоплавкі евтектики, які розташовуються за межами зерен. Під час нагрівання вони (евтектики) розплавляються, що призводить до руйнування металу в разі гарячого деформування. Уміст вісмуту та свинцю в міді не має перевищувати 0,002 %.

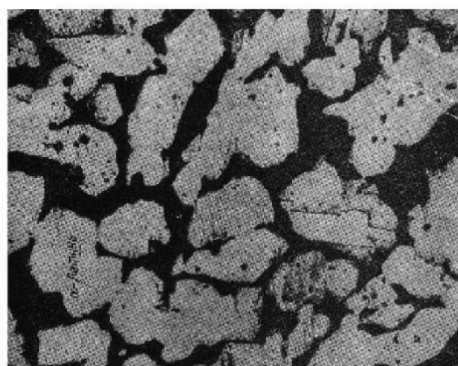
Найважливішими легованими елементами в мідних сплавах є цинк, олово, алюміній, нікель.

Латуні. Латунями називають сплави міді із цинком. Застосовувані в техніці двокомпонентні латуні містять до 47 % цинку. Латуні, що містять до 39 % цинку, є однофазними, що становлять твердий розчин цинку та міді. Їх називають α -латунями (рис. 25а). Вони легко деформуються в гарячому та холодному стані.

У разі збільшення вмісту цинку із 39 до 47 % разом з α -фазою у сплаві виникає β -фаза, що становить твердий розчин, де розчинником міді та цинку є електронне з'єднання CuZn (рис. 25б).



а



б

Рис. 25. Мікроструктура латуней:
а – α -латунь; б – β -латунь Х300

За високих температур β -фаза має неупорядковане розташування атомів у структурних ґратах. У цьому стані фаза досить пластична. За температури, нижчої ніж 453 ... 470 °С, розташування атомів міді та цинку в β -фазі стає впорядкованим, у результаті чого латунь утрачає пластичність і стає твердою та крихкою. Тому двофазні ($\alpha + \beta$) латуні обробляють тиском тільки в гарячому стані. Максимальну пластичність має α -латунь, що містить 30 % Zn, коли латунь є двофазною.

Латуні мають гарну вологоплинність і малу схильність до ліквідації, тому з них виготовляють гарні виливки. Основна ж частина латуні йде на виготовлення листів, стрічок, труб, дроту та інших виробів, оброблюваних тиском. Цинк є більш дешевим матеріалом, порівняно з міддю, і його введення до сплаву підвищує механічні й технологічні властивості, що приводить до зниження вартості латуні. Крім двокомпонентних, використовують спеціальні латуні, леговані марганцем, оловом, нікелем, залізом, свинцем, кремнієм. Марганець, олово та нікель підвищує міцність і корозійну стійкість латуні, свинець поліпшує оброблюваність, кремній підвищує твердість і міцність (табл. 10). Маркування латуней така: буква "Л" означає назву сплаву (латунь), наступні за нею цифри – уміст міді; наприклад Л62 позначає латунь, що містить 62 % міді та 38 % цинку. У спеціальних латуней букви позначають легувальні елементи: А – алюміній; Мц – марганець; К – кремній; С – свинець; О – олово; Н – нікель; Ж – залізо. Наприклад, марка ЛАЖМц66-6-3-2 вказує на те, що латунь містить 66 % міді, 6 % алюмінію, 3 % заліза та 2 % марганцю, інше цинк.

Таблиця 10

Вплив легувальних елементів на властивості латуні

Легувальні елементи	Механічні властивості після легування
Марганець	Підвищує міцність і корозійну стійкість
Кремній	Підвищує міцність і твердість
Олово	Підвищує міцність, корозійну стійкість у морській воді
Свинець	Знижує механічні властивості, але поліпшує оброблення різанням
Нікель	Підвищує міцність і корозійну стійкість

Буква "Л" у кінці позначення марки, наприклад, у марці ЛК80-3Л, вказує на те, що латунь ливарна.

Спеціальні латуні розподіляють на *деформівні* та *ливарні*. До видів, що деформуються, належать латуні марок: ЛН65-6, ЛМц58-2, ЛО70-1, ЛО59-1, ЛК80-3 та ін. До ливарних належать латуні марок ЛАЖМц66-6-3-2Л, ЛКС80-3-3Л, ЛмцОС58-2-2-2Л та ін.

Бронзи. Бронзою називають сплав міді з усіма елементами, крім цинку. Виняток становить сплав міді з нікелем, який називають *мельхіором*.

Залежно від складу, бронзи розподіляють на олов'яні та спеціальні.

Олов'яні бронзи – це сплав міді з оловом, які легують цинком, свинцем, нікелем, фосфором. Цинк поліпшує ливарні властивості, свинець – оброблюваність, нікель підвищує міцність і зносостійкість, фосфор розкислює сплав і підвищує його вологоплинність. Двокомпонентні сплави, що містять до 8 % олова, є однофазними.

За подальшого підвищення відсоткового вмісту олова бронза стає двофазною та має структуру, що складається із суміші твердого розчину й евтектоїда. Зі збільшенням вмісту олова до 18 – 20 % міцність бронзи зростає, але потім знижується. Олов'яні бронзи мають прекрасні ливарні властивості, тому з них виготовляють ливарні деталі.

Лиття в металеві форми та використання відцентрового способу (в умовах прискореного охолодження) приводять до зменшення ліквідації та підвищення міцності сплаву. Олов'яні бронзи застосовують у тих випадках, коли потрібна висока корозійна стійкість за досить високої міцності (арматура, гребні гвинти); такі бронзи відрізняються високими антифрикційними властивостями, тому з них виготовляють укладки та втулки підшипників ковзання.

Спеціальні бронзи – це сплав міді з алюмінієм, свинцем, кремнієм, берилієм. Алюмінієві бронзи поступаються олов'яним за ливарним, але перевершують за механічними властивостями та стійкістю проти корозії. Із легованих залізом і нікелем алюмінієвих бронз виготовляють, наприклад, зубчасті колеса, вихлопні клапани двигунів. Свинцеві бронзи мають високі антифрикційні властивості, тому їх використовують для виготовлення вкладок і втулок підшипників ковзання. Кремнієву бронзу, завдяки якісним ливарним властивостям, застосовують, головним чином, для виготовлення арматури. Із берилієвої бронзи виготовляють вироби, що потребують високого опору зношенню.

У марці бронзи попереду ставлять букви "Бр", потім букви, що позначають легувальні елементи, а далі – цифри, що вказують на вміст легувальних елементів у сплаві. Наприклад, марка олов'яної бронзи вказує на вміст у сплаві 3 % олова, 12 % цинку, 5 % свинцю та 80 % міді.

Зважаючи на малу міцність, алюміній не застосовують для виготовлення навантажених деталей рухомого складу, машин, будівельних та інших конструкцій, але широко застосовують сплави на основі алюмінію як конструкційний матеріал, особливо там, де потрібне застосування легких конструкцій. Це стало можливим після створення й освоєння сплавів на основі алюмінію з високою питомою міцністю, під якою розуміють відношення міцності до щільності. Якщо питома міцність рейкової сталі становить 10, то у високоміцних алюмінієвих сплавів вона досягає 25 і вище. Сплави на основі алюмінію широко застосовують на залізничному транспорті для виготовлення кузовів суцільнометалевих пасажирських і вантажних вагонів, котлів, цистерн, стріл різних кранів, ферм перекриттів будинків та інших конструкцій.

Алюмінієві сплави. Розрізняють ливарні й ті, що деформуються, сплави алюмінію з іншими елементами. Найбільш поширені ливарні сплави алюмінію із кремнієм – силуміну, що містять від 4,5 до 12 % кремнію. До їхнього складу входять також мідь, магній, марганець, що впливають на ливарні та механічні властивості сплаву.

Із жароміцних ливарних сплавів найбільше застосовують сплав АЛ1, із якого виготовляють поршні, головки циліндрів та інші деталі, що працюють за температур до 3 000 °С. Для досягнення дрібнозернистої структури та підвищення механічних властивостей силуміни модифікують, додаючи до розплавленого металу близько 0,1 % натрію.

Мікроструктури силумінів до й після модифікування показано на рис. 26, 27.



Рис. 26. Мікроструктура силуміну до модифікації X300

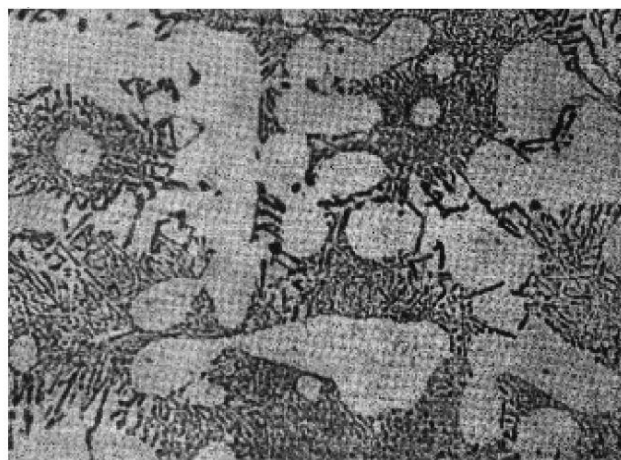


Рис. 27. Мікроструктура силуміну після модифікації X300

До ливарних сплавів групи алюміній – кремній належать сплави АЛ2, АЛ4, АЛ9.

До алюмінієво-магнієвих сплавів – сплави АЛ8, АЛ13, АЛ27.

До алюмінієво-мідних сплавів – сплави АЛ7, АЛ12, АЛ19.

Деформівні сплави розподіляють на дві підгрупи: ті, що не зміцнюються під час термооброблення, і ті, що зміцнюються під час термооброблення. До сплавів, що деформуються та не зміцнюються під час термооброблення, належать сплави алюмінію з марганцем і магнієм. До цих сплавів належать сплави марок АМц, АМг2, АМг3, АМг5, АМг6. Ці сплави легко обробляються тиском, добре зварюються, мають високу корозійну стійкість. Їх широко застосовують у будівництві, вагонобудуванні. До сплавів, що деформуються та зміцнюються під час термооброблення, належать сплави системи "алюміній – мідь". Типовим представником цієї групи сплавів є *дюралюміній* марки Д16 (основною зміцнювальною фазою якого є Al_2CuMg). Загартування дюралюмінію від 4 950 °С із подальшим старінням дає змогу різко поліпшити механічні властивості. Для сплаву Д16 після гарту $\delta = 461$ МПа, $\delta = 17$ %. До цієї групи належать сплави для поковок і штамповок марок: АК6, АК8, АК2, АК4. Вони відрізняються високою пластичністю за температур 380 .. 450 °С, що дозволяє виготовити заготовки складної форми. Термооброблення полягає в загартуванні від 515...525 °С у воді та подальшому старінні за 150 ... 165 °С протягом 4...13 годин. Зміцнювальними фазами в цих сплавах є Mg_2Si , $CuAl_2$, $Al_2Mg_5Cu_5Si_4$.

Практична робота 4

Вивчення технологічного процесу прокатування

Мета роботи: вивчити технологічні процеси поздовжнього прокатування, ознайомити з технологічним обладнанням, визначити ступінь деформації та коефіцієнт витягування металу.

4.1. Загальні відомості

Процес прокатування – один з основних видів оброблення металів тиском. Прокатування піддають до 90 % усієї виплавленої сталі та більшу частину кольорових металів. У цьому процесі метал пластично деформується між обертовими валками. Форма та кількість валків, взаємне

розташування валків і заготовки можуть бути різними. Існує три основних види прокатування: поздовжнє, поперечне та поперечно-гвинтове.

За *поздовжнього прокатування* заготовка деформується між двома валками, що обертаються в різні боки, і переміщається перпендикулярно до осей валків.

За *поперечного прокатування* валки, обертаючись в одному напрямку, надають обертання заготовці та деформують її.

За *поперечно-гвинтового прокатування* валки розташовані під кутом і надають заготовці під час деформації обертального й поступального рухів.

Найбільшого поширення набув процес поздовжнього прокатування. Усю продукцію прокатного виробництва розподіляють на чотири основних групи: сортовий прокат, листовий прокат, труби та спеціальні види прокату.

Сортний прокат розподіляють на профілі простої геометричної форми (коло, квадрат, шестигранник тощо) і фасонні (кутник, швелер, рейки, двотавр тощо).

Листову сталь розподіляють на товстолистову (товщиною 4 – 160 мм) і тонколистову (товщиною 4 мм). Листи завтовшки менші за 0,2 мм називають фольгою. Труби розподіляють на зварні та безшовні. Безшовні труби прокочують діаметром 30 – 650 мм із товщиною стінки 2 – 160 мм, а зварні – діаметром 5 – 2 500 мм із товщиною стінки 0,5 – 16 мм.

До *спеціальних видів прокату* належать бандажі, колеса, кулі, кільця, періодичні профілі. У процесі прокатування заготовка безперервно втягується в зазор між валками. Для здійснення процесу необхідно створення певної величини сил тертя між заготовкою і валками. На рис. 28 наведено схему дії сил у момент захоплення заготовки валками. У цей момент із боку валків на заготовку діє нормальна сила N і сила тертя T .

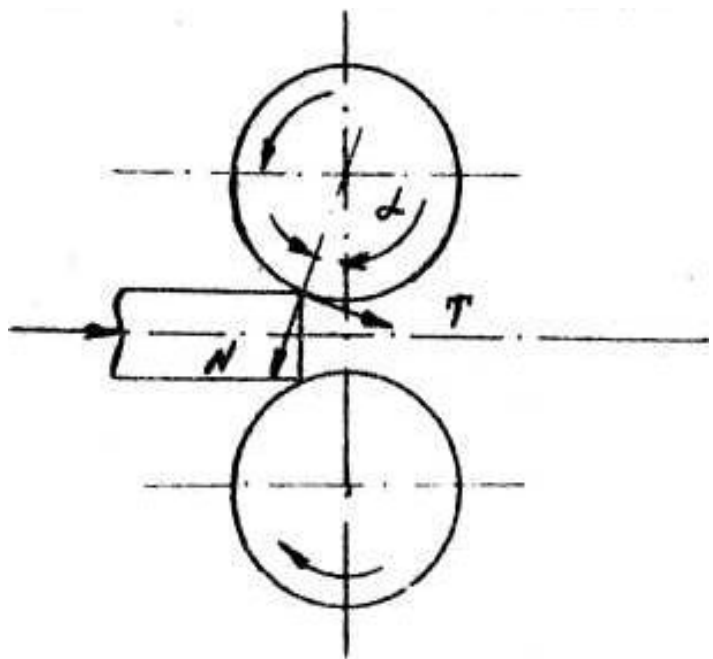


Рис. 28. Схема дії сил

Виходячи зі схеми дії сил, умову захоплення заготовки валками можна записати у вигляді:

$$N \sin \alpha < T \cos \alpha .$$

Кут α називають кутом захоплення. Позначивши силу тертя через відому залежність $T = f N$, де f – коефіцієнт тертя, підставивши цей вираз в умову захоплення, визначають:

$$\sin \alpha < f \cos \alpha \text{ чи } f > \operatorname{tg} \alpha .$$

Таким чином, для здійснення захоплення заготовки валками необхідно, щоб коефіцієнт тертя між валками та заготовкою був більшим за тангенс кута захоплення.

Під час гарячого прокатування сталі гладкими валками кут захоплення дорівнює $15 - 24^\circ$, за холодного – $3 - 8^\circ$. За сталевого процесу прокатування коефіцієнт тертя приблизно вдвічі менший.

У процесі прокатування зменшується товщина заготовки за одночасного збільшення її довжини та ширини. Різницю висоти прокатої заготовки до й після прокатування називають лінійним, або абсолютним відпалюванням:

$$\Delta H = H_0 - H_1 .$$

Відношення цієї величини до початкової висоти прокатої заготовки є відносним обтисненням:

$$\varepsilon_H = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100 \% .$$

Різницю ширини прокатої заготовки після й до прокатування називають розширенням:

$$\Delta B = B_1 - B_0 .$$

Площа поперечного перерізу заготовки під час прокатування завжди зменшується. Тому для визначення деформації, особливо коли тиснення відбувається за різними перерізами, використовують показник, що називають витяжкою:

$$\mu = \frac{L_1}{L_0} = \frac{F_0}{F_1},$$

де L_0 и F_0 – початкова довжина та площа поперечного перерізу;

L_1, F_1 – величини після прокатування.

$\mu = 1,1 - 1,6$ (практично за один прохід).

Під час прокатування металу в холодному стані відбувається його зміцнення (наклеп).

4.2. Методичні рекомендації

Вивчення технологічного процесу прокатування відбувається на прикладі поздовжнього прокатування свинцевої заготовки (рис. 29).

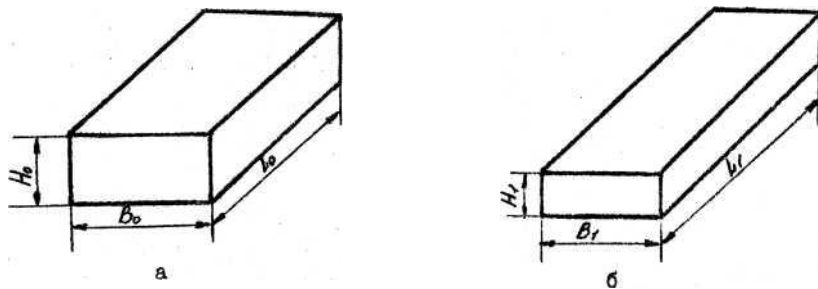


Рис. 29. Заготовка для поздовжнього прокатування:

а – вихідна; б – після прокатування

Прокатування здійснюють на лабораторному стані для поздовжнього прокатування, який складається з робочої клітки із гладкими робочими валками та приводу. Як вимірвальний інструмент застосовують штангенциркулі.

Перш ніж розпочати виконання лабораторної роботи, необхідно ознайомитися із пристроєм і принципом роботи лабораторного прокатного стану, освоїти прийоми його управління.

Порядок виконання роботи

1. Заміряти довжину, ширину та висоту вихідної заготовки.
2. Увімкнути стан і прокатати вихідну заготовку.
3. Заміряти довжину, ширину та висоту заготовки після прокатування.
4. Використовуючи залежність, наведену в загальних положеннях, визначити:
 - а) абсолютне і відносне обтиснення заготовки;
 - б) розширення заготовки;
 - в) коефіцієнт витягування.
5. Скласти звіт про виконану роботу.

Зміст звіту

1. Короткий опис основних теоретичних положень процесів прокатування.
2. Ескізи заготовки до й після прокатування.
3. Розрахунок абсолютного і відносного обтиснення заготовки, розширення заготовки та коефіцієнта витягування.

Практична робота 5

Виготовлення ливарних форм в опоках за постійними моделями

Мета роботи: ознайомити з технологічним процесом виготовлення ливарної форми з формувальної суміші в опоках, а також застосовуваним модельно-опорним оснащенням, інструментами, формувальною та стрижнковою сумішами. Визначити трудомісткість окремих операцій.

5.1. Загальні відомості

У процесі виготовлення ливарних форм із формувальних сумішей можна застосовувати постійні моделі з дерева, металу або пластмас, а також разові моделі, що виплавляють, випалюють, газифікують, або розчинні.

Формування за постійними моделями – це найбільш поширений варіант виготовлення ливарних форм. За цих умов модель може бути рознімною, нерознімною або з відокремленими частинами.

Рознімні моделі застосовують за ручного, машинного та автоматичного формування. Формування за *нерознімною* постійною моделі, зазвичай, здійснюють уручну, застосовуючи спеціальні прийоми (із підрізуванням, фальшивою опорою та ін.). За наявності в нерознімній моделі плоскої поверхні та можливості її розміщення в одній напівформі формування здійснюють так, як і за рознімною моделлю. У цьому разі нерознімну модель можна розглядати як одну половину рознімної моделі. Для механізації процесу формування за нерознімною постійною моделлю без плоскої поверхні застосовують фасонні підмодельні плити. У заглибинах таких плит установлюють нерознімну модель і вдавлюють її до поверхні роз'єму.

Формування з відокремленими частинами потребує її витягання з напівформ уручну, тому досягти повної автоматизації всіх технологічних операцій формування за моделлю з відокремленими частинами не вдається.

Формування за *рознімною моделлю в опоках*. Формування здійснюють у двох опорах (рис. 30). Спочатку за однією частиною рознімної моделі виготовляють нижню напівформу.

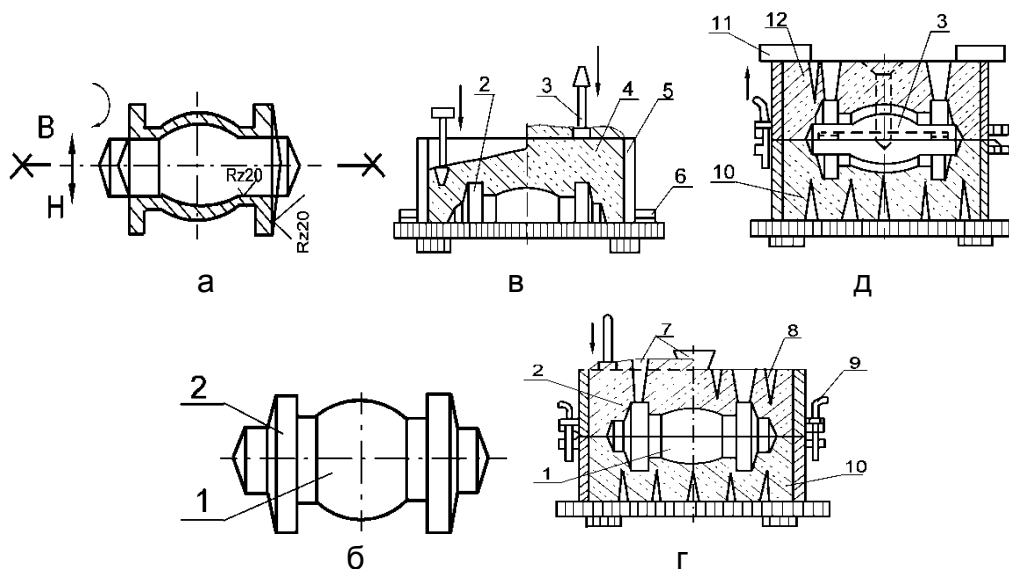


Рис. 30. Формування за рознімною моделлю:

- а – деталь з елементами ливарної форми; б – рознімна модель деталі;
- в, г – виготовлення нижньої та верхньої напівформ, відповідно;
- д – форма у складанні

Для цього на підмодельну плиту 6 установлюють опору 5 і нижню половину моделі 1. На поверхню моделі наносять роздільне покриття для запобігання прилипанню до неї формувальної суміші. Потім опоку

заповнюють формувальною сумішшю 4, розпушеною та просіяною через сито з розміром віконця 3 – 4 мм, і ущільняють до досягнення твердості 60 – 80 од. за твердоміром. У разі виготовлення виливків, схильних до утворення пригару, на модель спочатку наносять шар облицювальної формувальної суміші завтовшки 20 – 30 мм. Після її легкого ущільнення руками навколо моделі опоку заповнюють наповнювальною сумішшю. За ручного формування суміш в опору засипають шарами по 50 – 75 мм. Після ущільнення попереднього шару засипають наступний шар такої ж товщини. Це забезпечує рівномірне ущільнення суміші за висотою опори. Нижні шари суміші ущільнюють клиновим кінцем трамбівки. Спочатку біля стінок опори, а потім у її середній частині. Верхній шар змішують в опорі, ущільнюють тупим кінцем трамбівки. Надлишок суміші над верхнім зрізом опоки видаляють лінійкою. Вентиляційні канали в напівформі виконують наколюванням ущільненої суміші. Заформовану опору перевертають на 180° і встановлюють на плиту підпокову роз'ємом угору. За ручного формування підпоковою плитою можна використовувати підмодельну плиту. Формувальну суміш за роз'ємом загладжують гладилкою. На нижню половину моделі за центрувальними шпильками встановлюють верхню половину 2.

На вільній площі поверхні роз'єму розміщують, відповідно до розробленої технології, моделі елементів ливникової форми системи 7, 8 (див. рис. 30). Потім на нижню опору 10 за штирями 9 встановлюють верхню опору. Поверхню роз'єму посипають тонким шаром сухого кварцового піску або графіту, для запобігання злипанню змішують у верхній і нижній опоках. Верхню напівформу виготовляють так само, як і нижню. Після зрізання надлишків суміші й облаштування вентиляційних каналів із верхньої напівформи витягують моделі ливникової чаші (лійки), стояка і випорів, заздалегідь злегка розгойдавши їх. За відсутності моделі чаші або лійки перед витяганням моделі стояка навколо нього гладилкою прорізають порожнину в системі ливників.

Верхню напівформу знімають із нижньої, перевертають на 180° і встановлюють на підпокову плиту роз'ємом угору. З обох напівформ витягують частини моделі вилівка й моделі елементів ливникової системи-живильника та шлаковловлювання (колектора). Останні можуть бути як чаша або лійка, прорізані в напівформах гладилкою. Обидві напівформи обробляють і за потреби наносять протипригарне покриття.

За машинного формування обидві напівформи виготовляють окремо за модельними плитами з відцентрованими й закріпленими на них частинами моделі вилівка й моделей елементів ливникової системи.

Потім форму збирають (див. рис. 30д). Для цього в нижню напівформу 10 установлюють стрижень 13. За цих умов знакові частини стрижня входять у відповідні знакові частини (заглибини) напівформ. Потім нижню напівформу накривають верхньою 12. Для запобігання їхнього зміщенню одна щодо одної напівформи складають за допомогою штирів. Під час заповнення порожнини форми рідким металом виникають сили, що прагнуть підняти верхню напівформу. Це обумовлено гідравлічним ударом і силами підняття рідкого металу, тому перед заливанням напівформи скріпляють скобами, болтовими та клиновими з'єднаннями або накладають на верхню напівформу спеціальний вантаж 1. У процесі виробництва дрібних виливок, коли піднімальна сила рідкого металу, що діє на верхню напівформу, істотно менша від її ваги, форми не навантажують і не скріпляють.

Устаткування, інструмент і матеріали. Набір моделей, опори, підмодельні та підпокові плити, моделі елементів ливникової системи; комплекти формувальних інструментів, що містять сито, лопату або совок, трамбівку, дерев'яний молоток, гак-підіймач для витягання моделей і відокремлених частин, ланцет, гладилку, ложечку та гачок для оброблення й ремонту напівформ і стрижнів, вентиляційну голку; плавильна піч, ливарні ковші, набір плавильних інструментів, шихтові матеріали для виплавлення чавуну або алюмінієвих сплавів; єдина формувальна суміш або облицювальна і наповнювальна суміш, протипригарне покриття, гас або суміш 50 % гасу і 50 % мазуту для протирання моделей, сухий кварцовий пісок або сріблястий графіт для присипання поверхні роз'єму напівформ.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати моделі виливків і елементів ливникової системи, опори, підмодельні та підпокові плити, формувальний інструмент і робоче місце.
2. Підготувати формувальну суміш, роздільний склад і протипригарне покриття.
3. Із формувальної суміші виготовити напівформи за постійними розмірними моделями з відокремленими частинами.
4. Скласти форми.

5. Приготувати рідкий метал і залити його у форми.
6. Витримати виливок у формі.
7. Вибити виливок з форми. Вибити стрижні й очистити поверхню виливка.
8. Оцінити якість поверхні виливка, виявити поверхневі дефекти.
9. Визначити трудомісткість виконуваних робіт і накреслити шляхи механізації.

Зміст звіту

1. Загальні відомості про формування за постійними моделями.
2. Ескізи постійних моделей напівформ і ливарної форми.
3. Технологія виготовлення форм.
4. Оцінювання якості поверхні виливок з описом дефектів і вірогідних причин їхнього виникнення.
5. Визначення трудомісткості робіт.
6. Висновок.

Оформлення звіту

Звіт має бути виконаний на окремих аркушах і містити визначення основних понять.

Практична робота 6

Полімерні матеріали та пластичні маси, виготовлені на їхній основі

Мета роботи: ознайомити із класифікацією, складом, властивостями та застосуванням пластичних мас.

6.1. Загальні відомості

Слід пам'ятати, що полімери – це речовини з великою молекулярної масою (зазвичай, понад 10 000), у яких молекули складаються з однакових груп атомів-ланок. Кожна ланка становить змінену молекулу вихідного низькомолекулярного речовинного мономеру. За отримання полімерів молекули мономерів об'єднуються одна з одною та утворюють довгі лінійні

молекули або макромолекули, у яких атоми з'єднані ковалентними зв'язками. На рис. 31 показано схему будови лінійної макромолекули поліпропілену.

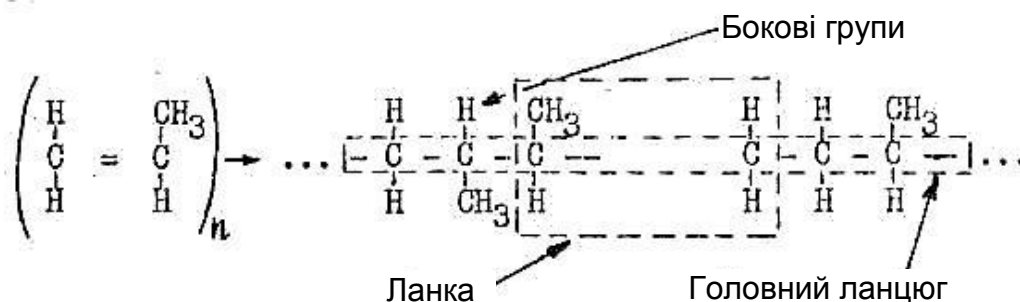


Рис. 31. Схема побудови лінійної макромолекули поліпропілену

Залежно від характеру зв'язків між лінійними молекулами, полімери розподіляють на термопластичні та термореактивні. Різницю між ними особливо виразно виявляють під час нагрівання.

Термопластичні полімери здатні багаторазово розм'якшуватися під час нагрівання та тверднути під час охолодження без зміни своїх властивостей.

Термореактивні полімери під час нагрівання залишаються твердими аж до повного термічного розкладання. Цю різницю поведінки під час нагрівання пояснено тим, що в термопластичних полімерів між молекулами діють відносно слабкі сили Ван-дер-Ваальса. Під час нагрівання зв'язки між молекулами значно слабшають, матеріал стає м'яким і податливим. У термореактивних полімерів, крім сил Ван-дер-Ваальса, є поперечні ковалентні зв'язки між молекулами. Завдяки їм термореактивні матеріали залишаються твердими під час нагрівання. Пластичні маси, або пластмаси, – це матеріали, виготовлені на основі полімерів. Склад композицій різноманітний: прості пластмаси – це полімери без домішок; складні пластмаси – це суміші полімерів із різними домішками (наповнювачами, стабілізаторами, пластифікаторами та ін.).

Наповнювачі додають у кількості 40 – 70 % (за масою) для підвищення механічних властивостей, зниження вартості та зміни інших параметрів. Наповнювачі – це органічні й неорганічні речовини у вигляді порошків (деревне борошно, сажа, слюда, кварцовий пісок, тальк, графіт), волокон (бавовняні, скляні, азбестові, полімерні), листів (папір, тканини різних волокон, дерев'яний шпон).

Стабілізатори – це різні органічні речовини в кількості декількох відсотків, необхідні для збереження структури молекул і стабілізації властивостей. Під впливом навколишнього середовища відбувається як розрив макромолекул на частини, так і поєднання на макромолекул між собою поперечними зв'язками. Зміни вихідної структури макромолекул становлять сутність старіння пластмас, який є незворотнім, знижує міцність та довговічність виробів. Домішки стабілізаторів уповільнюють старіння.

Пластифікатори додають у кількості 10 – 20 % для зменшення крихкості та поліпшення здатності до формування. Пластифікаторами є речовини, які зменшують міжмолекулярну взаємодію і добре поєднуються з полімерами. Часто пластифікаторами слугують ефіри, а іноді й полімери із гнучкими молекулами, наприклад полімер каучуку. Смоли в кількості декількох відсотків додають до термореактивних пластмас для затвердіння. За цих умов між макромолекулами виникають поперечні зв'язки, а молекули затверджувача вбудовуються в загальну молекулярну сітку. Як затверджувачі використовують органічні перекиси та інші речовини, сірку (у гумках).

Основною класифікацією пластмас слугує хімічний склад полімеру. Залежно від полімеру, пластмаси розподіляють на фенолоформальдегідні (фенопласти), епоксидні, поліамідні, поліуретанові, стиролові та ін.

Застосування пластмас як конструкційних матеріалів економічно доцільне. Порівняно з металами, перероблення пластмас менш трудомістке, кількість операцій в кілька разів менша і відходів виходить небагато. Пластмасові деталі, переважно, не потребують оздоблювальних операцій.

Характерними особливостями пластмас є мала щільність ($1 - 2 \text{ т/м}^3$), а в пінопластів від $0,015$ до $0,8 \text{ т/м}^3$; висока хімічна стійкість, належні електроізоляційні властивості, невисока теплопровідність і значне теплове розширення (у 10 – 30 разів більше, ніж у звичайних сталей). Переваги пластмас у поєднанні зі зручностями перероблення забезпечили їм застосування в машинобудуванні, незважаючи на органічну теплостійкість, малу жорсткість і невелику в'язкість, порівняно з металами.

Термопластичні пластмаси (термопласти) виготовляють на основі термопластичних полімерів поліетилену, стаполіпропілену, полістиролу, полівінілхлориду, фторопласту, капрону, полікарбонату та ін. На відміну від термореактивних, їх більш широко застосовують і виробляють у великих кількостях. Значну частину термопластичних полімерів переробляють на плівку, волокна та вироби з волокон, які важко або зовсім неможливо виготовити з полімерів.

Під навантаженням полімери поведуться як в'язкопружні речовини, як їхня деформація – сума трьох доданків: пружної, високоеластичної деформації та деформації в'язкого витікання. Співвідношення між складовими частинами деформації непостійні й залежать як від структури полімеру, так і від умов деформування та температури.

Поведінка пластмаси під навантаженням має дуже складний характер. Стандартні випробування на розтягнення й удар дають наближену оцінку механічних властивостей. Ця оцінка справедлива лише для конкретних умов випробування (певної швидкості навантаження, температури, стану зразка). За інших умов випробувань результати виявляться іншими. Зміни зовнішніх умов і використання деформування, які зовсім не відбиваються на механічних властивостях металевих сплавів, різко змінюють механічні властивості термопластичних полімерів і пластмас. Чутливість механічних властивостей термопластів до швидкості деформування, часу дії навантаження, температури, структурі є їхньою типовою особливістю.

Термопласти, переважно, взаємодіють із водою і не змінюють механічних властивостей під дією вологи. Виняток становлять поліаміди, здатні поглинути від 3 до 10 л води. Для них вода – це своєрідний пластифікатор, що знижує міцність і підвищує опір удару (табл. 11). Водяна пара (понад 100 °С) руйнує поліаміди, тому вироби виготовляють із сухого матеріалу, а потім вони протягом декількох діб поглинають вологу з атмосфери до насичення.

Таблиця 11

Властивості термопластичних пластмас

Матеріали	Межі міцності під час розтягування, МПа	Відносне подовження, %	Максимальна температура експлуатації (без навантаження), °С
1	2	3	4
Поліетилен			
низької щільності (меншої за 0,94 т/м ³)	10 – 18	300 – 1 000	60 – 65
високої щільності (понад 0,94 т/м ³)	18 – 32	100 – 600	70 – 80
Поліпропілен	26 – 38	700 – 800	100
Полістирол	40 – 60	3 – 4	50 – 70

1	2	3	4
Полівінілхлорид			
жорсткий	50 – 60	20 – 50	65 – 85
пластикат	10 – 40	50 – 350	50 – 55
Фторопласт-4	20 – 40	250 – 500	250
Фторопласт-3	37	160-190	150
Органічне скло	80	5 – 6	65 – 90
Полікарбонат			
без наповнювача	60 – 65	80 – 120	135
із 30 % волокна	90	3,5	145
Капрон			
сухий	75 – 85	50 – 130	80 – 100
насичений водою	35 – 50	160 – 250	–
сухий + 30 % волокна	180	3	100 – 130
насичений водою + 30 % волокна	100 – 125	4	–
Епоксидний пластик	60	4	–
+ 65 % скляної тканини	500	2,5	130

Насичений стан досить стійко і мало змінюється навіть під час коливань вологості повітря.

Терморективні пластмаси (реактопласти) підтримують на основі епоксидних, поліефірних, поліуретанових, фенолоформальдегідних і кремнійорганічних полімерів. Пластмаси застосовують у твердому вигляді; вони мають сітчасту структуру, тому під час нагрівання плавляться, стійкі проти старіння та не взаємодіють із паливом і мастильними матеріалами.

Терморективні пластмаси нерозчинні, здатні лише набрякати в окремих розчинниках водостійкі та поглинають не більше ніж 0,1 – 0,5 % води.

Усі полімери під час затвердіння дають усадку; вона мінімальна в епоксидних полімерів (0,5 – 2 %) й особливо велика в поліефірів (10 %). Для зменшення усадки й підвищення міцності використовують наповнювачі та регулюють умови затвердіння. Затвердіння епоксидних і поліефірних пластмас не пов'язане з виділенням побічних речовин, тому під час виготовлення виробів немає потреби у великих тисках. Ці пластмаси придатні для виробів великих розмірів. Якщо під час затвердіння виділяються низькомолекулярні речовини (наприклад у фенопластів), то вироби виготовляють під тиском для уникнення утворення шкідливої пористості та інших дефектів.

Під час перероблення фенолоформальдегідних і деяких інших пластмас необхідний великий тиск – у межах 10 – 100 МПа, тому розміри виробів обмежено технічними можливостями пресового обладнання. Усі термореактивні полімери після затвердіння мають низьку ударну в'язкість і тому їх використовують із наповнювачем.

Перевагою наповнених термореактивних пластмас є висока стабільність механічних властивостей і відносно мала залежність від температури швидкості деформування та тривалості дії навантаження. Вони більш надійні, ніж термопласти.

Термореактивні порошкові пластмаси найбільш однорідні за властивостями. Такі пластмаси добре пресуються, тому їх застосовують для найбільш складних за формою виробів. Недолік порошкових пластмас – знижена ударна в'язкість (див. табл. 11).

Волокніти – це пластмаси, у яких наповнювачем є волокна. Вони відрізняються підвищеною міцністю, а головне – ударною в'язкістю. Завдяки волокнам, ударна в'язкість перевищує 10 кДж/м; а в разі використання скляного волокна досягає 20 – 30 кДж/м. Волокніти, наповнені азбестовим волокном, поєднують теплостійкість (до 200 °С) із високим коефіцієнтом тертя в парі зі сталлю, тому їх застосовують у гальмових пристроях для обкладинок і колодок. Вироби з волокна пресують за великих тисків. Через низьку плинність матеріалу застосування волокнітів в обмежених виробках простої форми.

Особливу групу волокнітів утворюють матеріали з паралельно розташованими волокнами наповнювача. Таку структуру мають товари, вироблені намотуванням скляного волокна. Орієнтація волокна слугує причиною анізотропії. Уздовж волокон міцність максимальна, а в поперечному напрямку – мінімальна.

Шаруваті пластики є групою найміцніших та універсальних щодо застосування конструкційних пластмас. Листові наповнювачі, укладені шарами, надають матеріалам анізотропностей.

Властивості шаруватих пластиків залежать від виду полімеру, способу укладання листів та об'ємного співвідношення між полімером і наповнювачем. За видом наповнювача шаруваті пластики розподіляють на такі види: текстоліти – матеріали з бавовняними тканинами; гетинакси – із папером; деревощаруваті пластики – із деревним шпоном; склотекетоліти – із тканинами зі скляного волокна (табл. 12).

Властивості термореактивних пластмас і їхня оптова ціна

Матеріали	Межі міцності, МПа	Відносне подовження, %	Максимальна температура експлуатації, °С
Полімери			
Фенолформальдегідні	15 – 35	1 – 5	200
Полієфірні	42 – 70	2	95 – 120
Епоксидні	48 – 70	3 – 6	150 – 175
Кремнійорганічні	22 – 42	5 – 10	350
Порошкові пластмаси	30 – 60	1 – 3	100 – 200
Волокніти	30 – 90	1 – 3	120 – 140
Гетинакси	60 – 70	–	125
Текстоліти	65 – 100	1 – 3	90 – 105
Склотекстоліти	200 – 600	1 – 3	200 – 400
Прості пластмаси	0,5 – 2,5	–	–

Примітка. Дані табл. 12 складено за ДСТУ 4647-80.

Найменш міцними є гетинакси, максимальну міцність мають склотекстоліти. З усіх шаруватих пластиків текстоліти відрізняються найміцнішим зчепленням між полімером і наповнювачем та краще поглинають вібрацію.

Зазвичай, шаруватий пластик містить близько 50 % полімеру; за меншого його вмісту матеріал більш економічний, але менш міцний та неводостійкий.

6.2. Методичні рекомендації

Вивчення основних видів пластмас, їхнього складу, класифікації та властивостей здійснюють за допомогою плакатів, стендів, спеціальних зразків і окремих деталей із пластмас. Насамперед, треба звернути увагу на будову макромолекул полімерів (лінійних, розгалужених і сітчастих), їхню класифікацію, залежно від поведінки полімерів під час нагрівання.

Слід охарактеризувати складові частини пластмас. Потім указати широко використовувані види термопластичних і термореактивних пластмас, їхні властивості та сфери застосування. Далі охарактеризувати розподіл пластмас, залежно від наповнювача, на прес-порошки, волокно і шаруваті пластики, а також газонаповнені пластмаси (пінопласти та поропласти). Для окремих зразків пластмас виконують зважування, розрахунок обсягу та визначення щільності.

За допомогою приладу твердоміра визначають твердість зразка пластмас. Для визначення особливостей пластмас виконують порівняння за щільністю, твердістю, міцністю, відносним подовженням і вартістю з низьковуглецевою сталлю марки 08.

Слід усвідомити, що пластмаси є технологічним матеріалом.

Із термореактивних пластмас можна легко формувати різні деталі за методами прямого (компресійного) і литого пресування.

Деталі з термопластичних пластмас формують за методами лиття під тиском, безперервного видавлювання. Із листових пластмасових напівфабрикатів виготовляють деталі методами пневматичного та вакуумного формування, а також листового штампування (операції вирубування та пробивання).

За плакатами та стендами необхідно вивчити основні методи виготовлення деталей із пластмас.

1. Схема будови макромолекул полімерів,
2. Класифікація полімерів і виготовлених на їхній основі пластмас із зазначенням найбільш поширених у промисловості видів і сфер їхнього застосування.
3. Складові частини пластмас і їхні характеристики. Приклади сплавів прес-порошків, волокнітів, шаруватих пластиків і пенопластів.
4. Результати визначення щільності та твердості окремих зразків пластмас.
5. Порівняльна характеристика окремих видів пластмас із низьковуглецевою сталлю за щільністю, твердістю, міцністю, теплостійкості та вартості, якщо врахувати, що для сталі марок 08Д0 щільність приблизно дорівнює $7,8 \text{ т/м}^3$, твердість – НВЮ0, межа міцності під час розтягування – 330 МПа, теплостійкість близько 220 °С.
6. Методи виготовлення деталей із пластмас і принципові схеми процесів формування.
7. Висновки про роботу.

Практична робота 7

Вивчення технологічного процесу холодного видавлювання деталей

Мета роботи: вивчити технологічний процес холодного видавлювання деталей, ознайомити із застосовуваним технологічним оснащенням і обладнанням, набути практичних навичок у видавлюванні деталей, визначенні ступеня деформації та розрахунку зусиль деформації.

7.1. Загальні відомості

Під час виконання роботи слід виходити з того, що процес видавлювання заснований на здатності матеріалу заготовки, зануреної в порожнину матриці, текти під дією пуансона в зазор між пуансоном і матрицею або видавлюватися в отвір матриці, набуваючи відповідної форми. Витікання металу за холодного видавлювання відбувається аналогічно витіканню в'язкої рідини, відповідно до законів гідродинаміки; за цих умов метал, як і рідина, у ділянках зміни поперечного перерізу в кутах утворює зони важкого витікання, що мають різний опір деформуванню.

Холодне видавлювання застосовують для виготовлення деталей із пластичних металів і сплавів: алюмінію і його сплавів, міді та її сплавів, свинцю, олова, м'якої сталі та ін. Залежно від напрямку витікання металу під дією пуансона, слід розрізняти два основних види видавлювання: пряме та зворотне. У першому випадку витікання металу збігається за напрямком із переміщенням пуансона (рис. 31а), у другому – є протилежним за напрямком його переміщення (рис. 31б). Техніко-економічні переваги холодного видавлювання заготовок або повністю готових деталей полягають у великих можливостях формотворення, високій точності якості поверхні видавлених деталей, підвищенні механічних властивостей поверхні заготовки за рахунок значного зміцнення у процесі витікання, порівняно низькій питомій матеріаломісткості виробів, високій продуктивності процесу (табл. 13).

Слід знати, що продуктивність процесу холодного видавлювання залежить від багатьох чинників, але визначальним чином впливають застосоване обладнання та маса заготовки. Для ланцюгів технологічної

підготовки виробництва технологічна трудомісткість (T_n , хв) виготовлення деталей із маловуглецевих сталей (наприклад, сталь 15) холодним видавлюванням може бути визначена за такою формулою:

$$T_n = RQ_n^x,$$

де R, x – постійні коефіцієнти рівнянь;

Q – маса видавлюваної заготовки, кг.

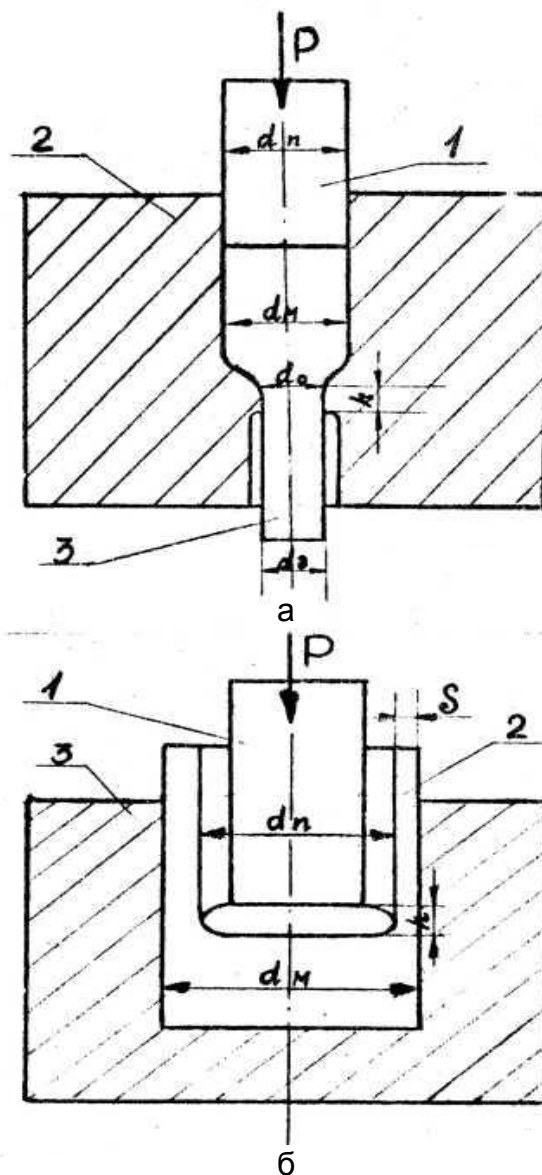


Рис. 31. Технологічні схеми:

а – прямого та б – зворотного видавлювання

Умовні позначення: 1 – пуасон; 2 – матриця; 3 – деталь

Значення коефіцієнтів регресії

Застосовуване технологічне обладнання	Коефіцієнти	
	R	X
Кривошипний гарячештампувальний прес	0,31	0,59
Гідравлічний прес	0,59	0,37

Перш ніж розпочати виконання роботи, студент повинен ознайомитися із пристроєм і принципом роботи гідравлічного преса з ручним приводом та конструкцією експериментальних штампів. Штамп для холодного видавлювання прямим закінченням (див. рис. 31а) складається з корпусу, у якому встановлено рознімну матрицю; до матриці входить пуансон; для закріплення матриці в корпусі та їїнього щільного прилягання по площині роз'єму слугує болт. Для запобігання можливому зсуву частин матриці одна щодо одної передбачено напрямні штифти. Виготовлена в результаті штампування видавлюванням деталь 3 має східчастий валик. Штамп для холодного видавлювання зворотним виділенням металу (див. рис. 31б) за конструкцією аналогічний штамп, використовуваному для прямого видавлювання, за винятком відмінностей робочих порожнин матриці та конфігурації пуансона. Виготовлена в результаті холодного видавлювання зворотним виділенням деталь має форму склянки. Ознайомившись із пристроєм і принципом роботи гідравлічного преса і штампів, студент виконує розрахунок розмірів заготовки для видавлювання за заданими розмірами деталі. Обов'язкова умова правильного визначення розмірів заготовки за холодного видавлювання – однаковість розмірів заготовки та готової деталі з додатком необхідних розмірів на технологічні припуски.

За визначеними розрахунковими даними виготовляють зі свинцю заготовку циліндричної форми, діаметр якої має дорівнювати діаметру непрофільованої частини деталі (за прямого видавлювання) або зовнішньому діаметру деталі (за зворотного видавлювання).

7.2. Порядок виконання роботи

У корпус штампа встановити частини рознімної матриці та щільно затиснути болтом. Складену нижню частину штампа встановити на стіл гідравлічного преса в центрі плунжерної плити. У контейнер матриці

помістити заготовку, на яку встановити пуансон 1. Видавити заготовку шляхом підняття плунжерної плити преса нагнітанням робочої рідини в циліндр. Хід плунжерної плити преса контролювати візуально (максимальна довжина робочого ходу плити має перевищувати 50 мм). Потім опустити плунжерну плиту, випускаючи рідину з-під поршня преса, зняти штамп, вийняти пуансон із контейнера матриці, відпустити болт, витягти з корпусу матрицю, розподілити її на частини та витягти з матриці видавлену заготовку. Під час розрахунку заготовки слід пам'ятати, що ступенем деформації ε за холодного видавлювання різних деталей прямим і зворотним витіканням металу є відношення різниці площі заготовки (F_0 , мм²) та площі поперечного перерізу ділянки деталі з найменшим діаметром (F , мм²) до площі поперечного перерізу заготовки (F_0 , мм²):

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100 \text{ \%}.$$

Під час видавлювання сталевих деталей ступінь деформації не має перевищувати 70 %.

Важливо врахувати, що на величину зусилля холодного видавлювання впливають фізико-механічні властивості та стан деформованого металу, ступінь деформації, геометричні параметри виробу, контактне тертя на поверхні інструмента, форма інструмента та інші чинники.

Величину необхідного зусилля (P, H) для сталого процесу видавлювання визначити за такою формулою:

$$P = kF_n,$$

де k – питомий тиск на контактній площі заготовки і пуансона, МПа;

F_n – проекція робочої площі пуансона на площину, перпендикулярно до вектора витікання металу, мм.

Питомий тиск (МПа) визначають за такою формулою:

$$k = c \times b_b \times l_n \times \frac{F_0}{F},$$

де c – коефіцієнт, що враховує вплив ступеня деформації, сил тертя і нерівномірності напряму стану заготовки (визначають дослідним шляхом, для умов виконуваної роботи застосовують $C = 10$)

σ_B – межа міцності матеріалу виробу за деформації розтягнення, МПа (для свинцю $\sigma_B = 13 - 20$ МПа);

$\ln \frac{F_0}{F}$ – параметри управління, що виражають ступінь деформації.

Зміст звіту

1. Ескіз штампа для холодного видавлювання та опис його конструкції.
2. Послідовність операцій технологічного процесу.
3. Розрахунок ступеня деформації та зусилля видавлювання.
4. Аналіз визначених даних і висновки про роботу.

Практична робота 8

Вивчення технологічного процесу холоднолистового штампування

Мета роботи: ознайомити з операціями технологічного процесу холоднолистового штампування, видами початкових (первинних) заготовок, застосовуваним устаткуванням і технологічним оснащенням.

8.1. Загальні відомості

Розпочинаючи виконання роботи, слід ознайомитися із процесами листового штампування: деформацією заготовок у вигляді листів, смуг, стрічки та труб.

Процеси листового штампування можна розподілити на операції, почергове застосування яких дозволяє надати початковій заготовці форми й розмірів потрібної деталі. Необхідно знати операції листового штампування, залежно від характеру деформації: роздільні та формозмінні.

Під час виконання *роздільних* операцій деформація заготовки відбувається аж до її руйнування. До них належать відрізання, пробивання, надрізання, обрізування, зачищення.

Під час виконання *формозмінних* операцій відбувається зміна форми та розмірів заготовки, перерозподіл і задане переміщення об'єму металу без його руйнування. До них належать листове згинання, витягування, формування, обтискання, правка, відбортовування.

Крім цих двох основних груп операцій, для зниження трудомісткості, підвищення продуктивності праці й точності використовують складні операції та комбіноване штампування, які характеризуються поєднанням декількох простих операцій в одному штампуванні на багатопозиційному пресі.

Розроблення технологічного процесу холоднолистового штампування слід починати з вибору необхідних технологічних операцій, від яких визначають за формою деталі.

Основне устаткування, використовуване для виконання штампувальних операцій, – преси листового штампування та ножиці для розрізання листового матеріалу. *Преси листового штампування* бувають кривошипні й ексцентрикові, подвійної дії, фрикційні, гідравлічні, листо-згинальні (кромкозгинальні) та спеціальні; *ножиці* – гільйотинні, роликові (дискові) та важельні. Кожен вид технологічного устаткування має свою сферу застосування, його вибирають, залежно від конкретного технологічного процесу, використаної початкової заготовки та інших виробничих умов.

Технологічним оснащенням процесів листового штампування є *штампи*. Залежно від роду виконуваних операцій, штампи розподіляють на типові групи: для роздільних і формозмінних операцій.

Слід мати на увазі, що штампи разом з операціями розподіляють також на одно- і багатоопераційні (комбіновані). До тієї й тієї групи штампів можуть належати штампи для роздільних і формозмінних операцій. Своєю чергою, комбіновані штампи за характером розміщення операцій у часі розподіляють на послідовні, суміщені та послідовно суміщені.

У штампах *послідовної дії* під час виготовлення деталі слід робити декілька переходів під різними пуансонами за послідовного переміщення заготовки.

У штампах *суміщеної дії* деталь виготовляють за один хід пресу концентрично розташованими пуансонами за незмінного стану заготовки.

У штампах *послідовно суміщеної дії* деталь виготовляють шляхом поєднання послідовного та суміщеного штампування.

Необхідно враховувати різні чинники, що впливають на продуктивність штампування: геометрію і розміри деталі, кількість операцій, характер комбінації та поєднання операцій, технічні параметри пресів (кількість подвійних ходів повзуна), рівень механізації завантаження-розвантаження штампів та ін.

У загальному випадку трудомісткість ($T_{до}$, хв) деталі-операції під час виконання її в одноопераційному штампі може бути знайдена за такою формулою:

$$T_{до} = k \times \frac{1}{N},$$

де N – кількість ходів повзуна за 1 хв;

k – коефіцієнт використання кількості ходів повзуна преса.

Значення коефіцієнта k визначають за прийнятою схемою завантаження-розвантаження штампа (табл. 14).

Таблиця 14

Значення коефіцієнта k використання кількості ходів повзуна преса

Схема завантаження-розвантаження штампа	k
Ручне завантаження-розвантаження штампа і ручне видалення відходів	0,35 – 0,35
Ручне завантаження-розвантаження напровал, ручне видалення відходів	0,50 – 0,70
Автоматичне завантаження-розвантаження напровал, ручне видалення відходів	0,75 – 0,85
Автоматичне завантаження-розвантаження й автоматичне видалення відходів	0,95 – 0,99

8.2. Методичні рекомендації

Вивчення технологічного процесу листового штампування в умовах лабораторії здійснюють на прикладі операції "Вирубубання". Оснащення робочого місця: однокривошипний прес зусиллям 16 тс (160 кН), одноопераційний вирубний штамп, листова заготовка (сталь 08 кп), штангенциркуль, лінійка.

Перш ніж розпочати виконання роботи, необхідно ознайомитися із пристроєм і принципом роботи преса, освоїти прийоми управління ним, вивчити конструкцію штампа.

Штамп, використовуваний у роботі, належить до групи роздільних одноопераційних, штампування яким здійснюють бічним притискуванням. За конструктивним оформленням – це штамп із напрямними пристроями, ручним завантаженням початкової заготовки, розвантаженням напровал і ручним видаленням відходів.

Основні деталі штампа (рис. 32.) – пуансон 6 і матриця 7. Пуансон за допомогою пуансонтримача 9 кріпиться до верхньої плити штампа 1. Матриця гвинтами 10 кріпиться до нижньої плити 2. Хвостовик 5 призначений для кріплення верхньої частини штампа до повзуна преса. Нижня частина штампа за допомогою спеціальних прихватів кріпиться до столу преса. Для забезпечення концентричності різальних контурів пуансона й матриці в конструкції штампа передбачено напрямні втулки 4 і колонки 3. Знімач 8 слугує для знімання смуги з пуансона.

Під час виконання операції смуга заготовки подається в зазор між знімними й матрицею та притискається до бічного упору. Етап подання у штампі не фіксується.

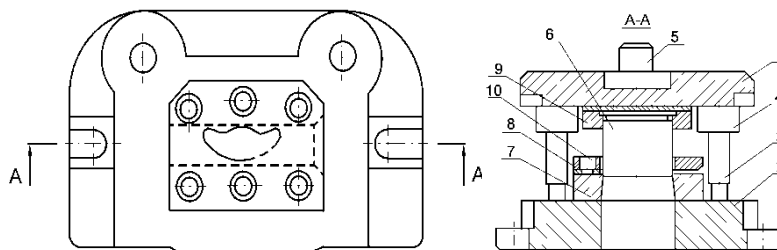


Рис. 32. Ескіз вирубного штампа

Порядок виконання роботи

Визначити розміри початкової заготовки (ширину смуги). Для розрахунку початкової заготовки необхідно вибрати варіант розкроювання. Найкращий варіант розкроювання визначають за найбільшим коефіцієнтом розкроювання:

$$K_p = \frac{f_0 \times n_p}{B \times h} \times 100\%,$$

де f_0 – площа поверхні деталі (включаючи дрібні отвори), мм²;

n_p – кількість рядів розкроювання;

B – ширина смуги, мм;

h – етап рубання.

Площу поверхні деталі розраховують за розмірами, наведеними на рис. 33.

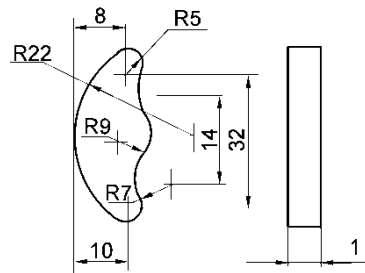


Рис. 33. Ескіз деталі

За умови, що штампування здійснюють із бічним притискуванням, ширину смуги обчислюють за такою формулою:

$$B = D + 2v + \Delta_M,$$

де D – ширина вирубаної деталі, мм;

v – найменша ширина бічної перемички, мм;

Δ_M – односторонній (мінусовий) допуск на ширину, мм.

Слід розрахувати зусилля деформації та вибрати стандартний прес, порівняти розраховане зусилля з номінальним зусиллям преса і зробити висновок про можливість використання встановленого преса.

Прес, зазвичай, вибирають за зусиллям, роботою деформації, жорсткістю, величиною та швидкістю ходу, закритою висотою і розмірами штампового простору. Максимальне зусилля технологічної операції слугує орієнтиром під час вибору преса.

Максимальне зусилля вирубання-пробивання обчислюють за такою формулою:

$$p = Z \cdot S \cdot \sigma_{\text{сер.}} \cdot 10^6,$$

де p – зусилля пробивання-вирубання, МН;

Z – товщина листа, мм;

S – периметр вирубаної деталі, мм;

$\sigma_{\text{сер.}}$ – опір зрізуванню, МПа ($\sigma_{\text{сер.}} = (0,7 \dots 0,8)$).

Виконати операції вирубання й операції пробивання та скласти звіт.

Зміст звіту

1. Ескіз деталі, схема розкроювання смуги.
2. Ескіз штампа.
3. Розрахунок коефіцієнта розкроювання, зусилля преса й основного технологічного часу.
4. Висновки про виконану роботу.

Рекомендована література

1. Ачеркан Н. С. Металлорежущие станки / Н. С. Ачеркан, А. А. Гаврюшин. – Москва : Машиностроение, 1985. – 222 с.
2. Богомолова Н. А. Практическая металлография : учебник для технических училищ / Н. А. Богомолова. – Москва : Высшая школа, 1978. – 272 с.
3. Геллер Ю. А. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи : учеб. пособ. для вузов / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Metallurgiya, 1989. – 456 с.
4. Материаловедение : учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др. ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 8-е изд., стереотип. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 648 с.
5. Мосталигин Г. П. Технологии машиностроения : учебник / Г. П. Мосталигин, Н. Н. Толмачевский. – Москва : Машиностроение, 1990. – 288 с.
6. Лахтин Ю. М. Материаловедение : учеб. для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1990. – 528 с.
7. Основы материаловедения : учеб. для вузов / И. И. Сидорин, Г. Ф. Косолапов, В. И. Макарова и др. ; под ред. И. И. Сидорина. – Москва : Машиностроение, 1976. – 436 с.
8. Основы технологий важнейших отраслей промышленности : учеб. пособ. для вузов : в 2-х ч. Ч. 1. / под ред. И. В. Ченцова. – Минск : Выш. шк., 1989 – 326 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. Д. Мещерякова. – Москва : Машиностроение, 1985. – 496 с.

Зміст

Вступ	3
Практична робота 1. Вивчення механічних властивостей вуглецевої сталі	4
Практична робота 2. Вивчення структури сталі та чавуну в рівноважному стані	21
Практична робота 3. Вивчення мікроструктур кольорових металів і сплавів	41
Практична робота 4. Вивчення технологічного процесу прокатування	46
Практична робота 5. Виготовлення ливарних форм в опоках за постійними моделями	50
Практична робота 6. Полімерні матеріали та пластичні маси, виготовлені на їхній основі	54
Практична робота 7. Вивчення технологічного процесу холодного видавлювання деталей	62
Практична робота 8. Вивчення технологічного процесу холоднолистового штампування	66
Рекомендована література	71

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

**Методичні рекомендації
до виконання практичних робіт
для студентів для спеціальності
186 "Видавництво та поліграфія"
першого (бакалаврського) рівня**

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Укладач **Дитиненко** Станіслав Олександрович

Відповідальний за видання *Ф. В. Новіков*

Редактор *О. Г. Доценко*

Коректор *О. Г. Доценко*

План 2017 р. Поз. № 303 ЕВ. Обсяг 73 с.

Видавець і виготовлювач – ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 61166, м. Харків, просп. Науки, 9-А

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
ДК № 4853 від 20.02.2015 р.*