

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: "Матеріалознавство та ливарне виробництво"

**ТЕОРІЯ
ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ**

Методичні рекомендації

до лабораторних робіт
для студентів спеціальності
131 – "Прикладна механіка"
(для всіх форм навчання)

Кропивницький – 2020

Методичні рекомендації до лабораторних робіт з курсу “Теорія ливарних сплавів” для студентів спеціальності 131 – "Прикладна механіка" (для всіх форм навчання) /Розроб. В.М. Ломакін – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 49 с.

Рецензент: Горюк М.С. – к.т.н., ФТІМС НАН України

Автор: Ломакін В.М. – к.т.н., доц. каф. МЛВ

Відповідальний за випуск: В.М. Ломакін

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства та
ливарного виробництва ЦНТУ
Протокол № 1 від 19.08.2020 р.

© Теорія ливарних сплавів
© В.М. Ломакін

ЗМІСТ

	стор.
Вказівки до виконання лабораторних робіт.....	4
Рекомендації до оформлення звіту.....	4
Лабораторна робота № 1. Випробування сірого чавуну на згинання.....	5
Лабораторна робота №2. Вивчення впливу хімічного складу залізовуглецевих сплавів на механічні властивості в процесі стиснення.....	10
Лабораторна робота № 3. Вивчення неметалевих включень у виливках із вуглецевої сталі	15
Лабораторна робота № 4. Вплив хімічного складу і температури заливання на рідкоплинність сплавів	22
Лабораторна робота № 5. Дослідження впливу хімічного складу сплаву та температури заливання на об'ємну усадку сплавів	29
Лабораторна робота № 6. Вплив хімічного складу сплаву залізовуглецевих сплавів на величину залишкової напруги у виливках	36
Лабораторна робота № 7. Дослідження впливу хімічного складу на відбілювання сірого чавуну	42
Список рекомендованої літератури	48

Вказівки до виконання лабораторних робіт

1. Студенти повинні бути підготовлені до лабораторної роботи. Теоретична підготовка перевіряється за допомогою тестів.
2. Перед початком виконання лабораторних робіт отримати інструктаж з правил техніки безпеки і неухильно їх виконувати.
3. При виконанні лабораторних робіт, пов'язаних з металографічним аналізом, не торкатись оптики та поверхні мікрошліфів.
4. Не працювати на приладах, якщо не опанували досконально принцип їх роботи.
5. За пошкодження обладнання студенти несуть матеріальну відповідальність.
6. Після закінчення роботи студенти повинні прибрати своє робоче місце.

Рекомендації до оформлення звіту

1. Звіт з кожної роботи оформлюється тільки в окремому зошиті у відповідності з установленою схемою для кожної лабораторної роботи: назва і мета роботи, табличні дані, графіки та висновки. Теоретичні відомості наводити не слід.
2. Оформлений звіт в кінці занять подається викладачеві для перевірки і підпису в разі позитивного тестування і виконання належного об'єму робіт.

Лабораторна робота № 1

ВИПРОБУВАННЯ СІРОГО ЧАВУНУ НА ЗГИНАННЯ (2 години)

Мета роботи – навчитися готувати проби, проводити випробування і визначати границю міцності при згинанні σ_s^3 та стрілу вигину; дати оцінку отриманих результатів.

Матеріали та обладнання: машина для випробування, штангенциркуль, три проби діаметром 30 мм і довжиною 340 мм із сірого чавуну, пристрій для вимірювання вигину.

Загальні відомості

У процесі випробування на згинання визначається границя міцності сірого чавуну при згинанні та стріла вигину. Для випробування на згинання застосовують циліндричні (відлиті в піщану форму без механічної обробки) проби діаметром 30 мм і довжиною 650 мм, якщо відстань між центрами опор машини $l=600$ мм, або довжиною 340 мм при відстані між центрами опор $l = 300$ мм [1, 6, 7, 8]. (рис. 1.1).

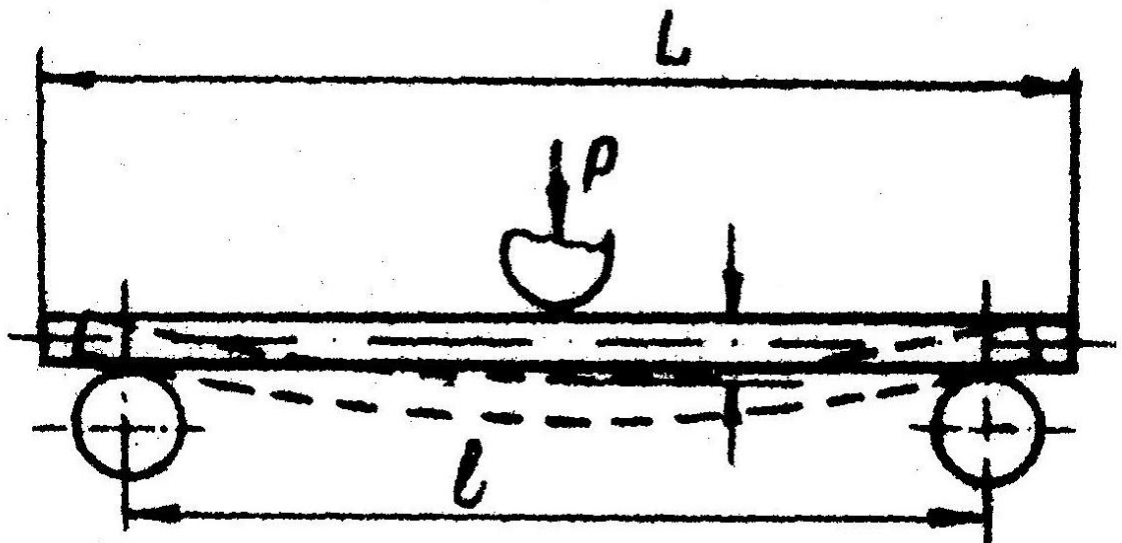


Рис. 1.1. Схема випробування на згинання

У процесі виготовлення проб із виливків по узгодженню із споживачем допускається використання проб інших розмірів. Відхилення діаметра в середній частині проби допускається не більше 2 мм. Овальність проби (різниця між найбільшим і найменшим діаметром одного перерізу) не повинна перевищувати 5% номінального діаметра.

Випробувати необхідно на трьох пробах, якщо в нормативно-технічній документації на виливок не передбачено інших вимог.

Перед випробуванням проби очищають від формувальної суміші; нерівності поверхні заточують терпугом чи на заточувальному верстаті. Проби, які мають дефекти поверхні (викривлення, раковини, велику овальність), до випробування не допускаються, а при виявленні внутрішніх дефектів (після розламування) проби замінюють іншими. Шорсткість проб має бути не більше 100 мкм.

Випробування на згинання виконують на спеціальних машинах, на пресі або на універсальній машині будь-якої моделі за умови відповідності вимогам для проведення випробувань.

Для вимірювання стріли вигину використовують вигиновимірювач або самописний прилад із масштабом деформації не менше 10:1.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати проби до випробувань (перевірити якість, очистити поверхню, виконати вимірювання і занести їх до табл. 1.2).

2. Підготувати машину до випробувань (установити опори, перевірити відстань між їх центрами і роботу приладів реєстрації показів).

3. Провести випробування та зробити необхідні обчислення і результати занести до табл. 1.2.

4. Зробити висновки (визначити, якій марці чавуну відповідають випробувані проби).

Методика виконання випробувань

Проби перед випробуванням вільно встановлюють на опорах (рис. 1.1) так, щоб сліди від лінії розкривання форми були розміщені в нейтральній площині, і навантажують їх посередині зосередженим зусиллям до розламування. Вісь проби має бути перпендикулярною до осі опор і оправки.

Радіус закруглення опор і оправки має бути в межах 20-30 мм. Навантаження проби при вигині не повинне бути більшим ніж 10 МПа (1 кГс/мм²).

Для встановлення границі міцності при згинанні площу перерізу проби визначають у місці її зламу. Для цього діаметр проби в місці руйнування вимірюють у двох взаємно перпендикулярних напрямках з точністю до 0,1 мм, а потім обчислюють середню площу перерізу.

Тимчасовий опір згинанню σ_s^3 , МПа (кГс/мм²), визначають за формулою

$$\sigma_s^3 = \frac{M}{W} \quad \text{або} \quad \sigma_s^3 = \frac{8P_{\max}l}{\pi d^2}, \quad (1.1)$$

де M - момент згинаючий, Н·мм (кГс·мм); W - момент опору, мм³; $P_{\max}$ - максимальне навантаження в момент злому проби, Н (кГс); l - відстань між опорами (рис. 1.1); d - діаметр проби в місці руйнування, мм.

Визначивши $8l / \pi d^3 = K$, дістанемо $\sigma_s^3 = KP_{\max}$.

Значення K взяти з табл. 1.1. Результати обчислень округлити до 5 МПа (0,5 кГс/мм²).

Стрілу вигину f – максимальний вигин у момент руйнування проби – вимірювати в напрямі дії навантаження в місці руйнування проби.

Для усунення похибок вимірювань треба до проби прикласти початкове навантаження в межах 300...400 Н (30...40 кГс) і установити нульове положення на пристрої для вимірювання деформації.

Результати випробування не враховувати, якщо в зломі проби є раковини, включення або інші дефекти. У цьому випадку випробування повторити на інших пробах із тієї самої плавки.

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнту K

Діаметр проби d , мм	Значення коефіцієнта K		Діаметр проби d , мм	Значення коефіцієнта K	
	$l = 300$ мм	$l = 600$ мм		$l = 300$ мм	$l = 600$ мм
30,0	0,0283	0,0566	31,0	0,0256	0,0513
30,1	0,0280	0,0560	31,1	0,0254	0,0508
30,2	0,0277	0,0555	31,2	0,0251	0,0503
30,3	0,0275	0,0549	31,3	0,0249	0,0498
30,4	0,0272	0,0544	31,4	0,0247	0,0494
30,5	0,0269	0,0539	31,5	0,0244	0,0489
30,6	0,0267	0,0533	31,6	0,0242	0,0484
30,7	0,0264	0,0526	31,7	0,0240	0,0480
30,8	0,0261	0,0523	31,8	0,0237	0,0475
30,9	0,0259	0,0518	31,9	0,0235	0,0471
			32,0	0,0233	0,0466

Результати випробувань занести до таблиці 1.2 і зробити висновки.

Таблиця 1.2 – Протокол випробувань на згинання

Номер проби (плавки)	Діаметр проби d , мм	Відстань між опорами l , мм	Навантаження в момент руйнування проби P , Н (кГс)	Границя міцності σ_s^3 , МПа(кГс/мм ²)	Максимальна стріла вигину f , мм
1					
2					
3					

Запитання для самоконтролю

1. Методика випробування сірого чавуну на згинання.
2. Види проб для випробування сірого чавуну на згинання.
3. Тимчасовий опір згинанню.
4. Стрілу вигину.
5. Правила техніки безпеки під час виконання роботи.

Лабораторна робота №2

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ В ПРОЦЕСІ СТИСНЕННЯ (2 години)

Мета роботи – навчитися готувати проби, виконувати випробування і розраховувати границю міцності σ_{ϵ}^C в процесі стиснення; дати оцінку отриманих результатів.

Матеріали та обладнання: машина для випробувань на стиснення; штангенциркуль; електрограф, проби із вуглецевої сталі, сірого і ковкого чавуну (по 3 шт. кожного сплаву).

Загальні відомості

Випробуванням на стиснення піддають крихкі матеріали, в тому числі сірий чавун. Пластичні матеріали такому випробуванню піддають рідко.

Під час випробування на стиснення пластичних матеріалів визначають механічні характеристики, подібні до характеристик, які визначають під час випробувань на розтягування ($\sigma_{\epsilon}^C, \sigma_T^C, \sigma_y^C, \epsilon^C, \psi^C$).

Границя міцності при стисненні $\sigma_{\epsilon}^C, \text{МПа (кгс/мм}^2\text{)}$, відносне укорочення ϵ^C і відносне поперечне розширення ψ^C проби визначаються за формулами [1, 6, 7, 8]:

$$\sigma_{\epsilon}^C = \frac{P}{F_0}; \quad (2.1)$$

$$\epsilon^C = \frac{h - h_0}{h_0} 100\% \quad (2.2)$$

$$\psi^C = \frac{F - F_0}{F_0} 100\% \quad (2.3)$$

де P – найбільше навантаження, Н (кгс); F_0, F - площа перерізу проби, відповідно, до випробування і після нього, мм^2 ; h_0 – початкова висота проби, мм; h – висота проби після випробування, мм.

Під час випробування на стиснення крихких матеріалів визначають тільки σ_{ϵ}^C .

Використовуються циліндричні проби із чавуну діаметрами 10, 15, 20, 25 мм. Допускається виготовлення проб інших розмірів у межах 10-25 мм. Висоту проби приймають такою, щоб дорівнювала діаметру під час виробничих випробувань і трьом діаметром у разі точніших випробувань. Вибір діаметра проби виконують залежно від середньої товщини стінок виливків, для яких треба визначити границю міцності на стиснення.

Допускається відливати проби разом з виливком, або виготовляти їх із тіла виливка. Після механічної обробки на поверхні проби не повинно бути рисок, раковин і пор. Шорсткість поверхні має бути не більше 1,25 мкм. Торці проб мають бути плоскопаралельними і перпендикулярними до осі. Відхилення від перпендикулярності не більше $\pm 1^\circ$. Допускається відхилення від нормального діаметру проби $\pm 0,1$ мм, по висоті $\pm 0,2$ мм.

Випробування на стиснення виконують на машинах будь-якого виду за умови відповідності їх поставленим вимогам.

Порядок виконання роботи

1. Приготувати проби (по 3 шт.) із феритного, перліто-феритного і перлітного чавуну (відібрати проби, проставити номери плавок, номери проб, перевірити якість проб).
2. Підготувати машину і пристрої до роботи.
3. Виконати виміри і занести їх у протокол випробувань (табл. 2.1).
4. Виконати випробування, результати занести в протокол табл. 2.1.
5. Виконати необхідні обчислення σ_{ϵ}^C та ін.
6. Зробити висновки про вплив хімічного складу на властивості залізовуглецевих сплавів при стисненні.

Таблиця 2.1 – Протокол випробування на стиснення

Матеріал	Хімічний склад				Номер проби	Розміри проби				P , кН (кГс)	σ_6^c МПа (кГс/мм ²)
						F_0	h_0	F	h		
1					1						
					2						
					3						
2					1						
					2						
					3						

Методика випробування

Діаметр і висоту вимірювати до випробування у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Різниця вимірних діаметрів має бути не більше 0,05 мм, а по висоті – 0,1 мм. За результат брати середнє арифметичне із двох вимірів. Допускається відхилення розмірів – діаметра $\pm 0,1$ мм, висоти $\pm 0,2$ мм. Площу поперечного перерізу округлити до 1,0 мм².

Для випробування пробу установити на опори машини за схемою, показаною на рис. 2.1. При цьому має бути забезпечено надійне центрування проби на опорах. Опори виготовляти із загартованої сталі з твердістю не менше 60 HRC з шорсткістю R_a робочих площин не більше 1,25 мм.

Паралельність опорних площин має забезпечуватися сферою, виготовленою на одній із опор. Центр сферичної поверхні має збігатися з центром торцевої поверхні проби.

Переміщення рухомої траверси має забезпечувати навантаження проби не більше 20 Н (2 кГс).

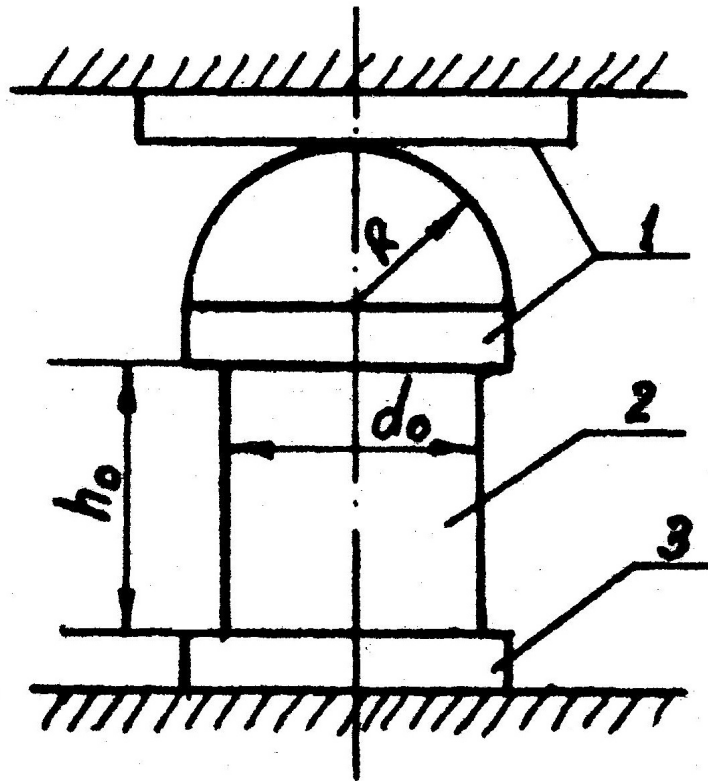


Рис. 2.1. Схема установки проби для випробування на стиснення:
1,3 – опори; 2 - проба

Під час стиснення чавуну проба руйнується і отримує бочкоподібну форму з щілинами під кутом біля 45° до її осі.

Тимчасовий опір – це напруга, яка відповідає найбільшому навантаженню проби і розраховується за формулою

$$\sigma_s^C = \frac{P_{\max}}{F_0} \quad (2.4)$$

Результати обчислень σ_s^C округлити до 5 МПа ($0,5 \text{ кГс/мм}^2$). Щоб отримати адекватні результати треба випробувати не менше трьох проб.

Результати не враховувати тоді, коли у зламі проби є раковини, неметалеві домішки та інші дефекти. У такому випадку випробування повторити, і після цього зробити висновки.

Запитання для самоконтролю

1. Проби і методика визначення границі міцності сірого чавуну при стисненні.
2. Границя міцності проби при стисненні (тимчасовий опір).
3. Відносне укорочення та відносне поперечне розширення проби при стисненні.
4. Технологія виготовлення проб для визначення границі міцності сірого чавуну.
5. Правила техніки безпеки під час виконання роботи.

Лабораторна робота №3

ВИЗНАЧЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ДОМІШОК У ВИЛИВКАХ ІЗ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ (2 години)

Мета роботи – вивчити неметалеві домішки в литій сталі, вплив кінцевого розкислення на природу неметалевих включень і механічні властивості сталі; дослідити неметалеві включення в сталі.

Матеріали та обладнання: мікроскопи МИМ-7, МИМ-8; оптика для отримання необхідних збільшень; класифікатор неметалевих включень; мікрошліфи середньовуглецевої сталі з різними типами неметалевих включень, виготовлені із проб для визначення границі міцності (при розтягуванні) і в'язкості.

Загальні відомості

Домішки, які завжди є в ливарних сплавах, у більшій чи меншій мірі обов'язково впливають на ливарні, механічні та спеціальні властивості сплавів, а тому вивчення неметалевих включень і методів боротьби з ними для ливарників має велике значення.

Домішки, які перебувають в сплавах, можна розділити на два види: природні для даного сплаву, які утворюються в процесі плавки в результаті реакції, що в цей час протікають (оксиди, нітриди, сульфідів та ін.), сторонні для даного сплаву, які потрапляють у сплав під час плавки, або спеціально введені (наприклад, для зміни умов кристалізації – модифікатори).

Джерелами неметалевих домішок можуть бути: хімічні реакції, що протікають у розплаві, наприклад, окиснення елементів із складу сплаву, виділення речовини із розчину в зв'язку із зменшенням розчинності при зниженні температури розплаву, частки шлаку, футеровки печей, ковшів і розмитой ливникової системи форми [1, 2, 6].

За розмірами неметалеві включення розділяють на мікровключення, що можна бачити тільки під мікроскопом, і включення, що видно неозброєним оком у зломі або на шліфі.

У твердому сплаві включення порушують суцільність деталі, що знижує механічні властивості, хімічну і корозійну стійкість.

Основним видом неметалевих включень у сталі, які найбільше впливають на її якість, є сульфіди. Співвідношення між сульфідами і оксидами можна наближено обчислити виходячи із вмісту в сталі сірки та кисню. Так, у сталі, розкисленій алюмінієм з вмістом 0,05% сірки і 0,004% кисню відносна кількість сульфідів (в перерахунку на MnS) і оксидів (в перерахунку на Al_2O_3) становить відповідно 94 і 6% [3, 4]. У разі перегляду шліфів із сталі спостерігаються переважно сульфідні включення, а оксиди у формі зерен корунду або шпінелі зазвичай розміщуються всередині сульфідів. Тому властивості вуглецевих сталей в основному визначаються формою і характером розміщення сульфідних включень.

Форма і розміщення сульфідних включень залежить від вмісту залишкового алюмінію в сталі. Механізм пливу присадки алюмінію на властивості вуглецевої сталі був уперше визначений у роботах Сімса і Доля [4, 6], які прийшли до висновку, що алюміній має вирішальний вплив на форму і розподіл сульфідних включень, а це, в свою чергу, визначає механічні властивості сталевих литва. Дослідники встановили величину критичної присадки алюмінію (0,015-0,05%), за якої сталь має мінімальну пластичність і в'язкість. Із збільшенням присадки алюмінію до 0,07% механічні властивості сталі покращуються.

У дослідженнях Ю.А. Шульте [4, 6] виявлена залежність механічних властивостей середньовуглецевої сталі не від присадки, а від залишкового (розчиненого і зв'язаного) вмісту алюмінію, виявлене різке зниження пластичних властивостей сталі при залишковому вмісті алюмінію 0,005-0,01%. Пластичні властивості відновлялися при залишковому вмісті алюмінію 0,03-0,04%, але при подальшому підвищенні кількості алюмінію пластичні властивості знову знижуються. Це пояснюється тим, що при охолодженні та кристалізації сталі

розчинність сірки різко знижується і сульфіді виділяються із пересиченого розчину. Це виділення може проходити в різні стадії затвердіння вилівка залежно від розчинності сірки, а остання відповідно до вмісту вільного кисню у сталі. За підвищеного вмісту кисню розчинність сірки може зменшитися до того, що сульфіді будуть виділятися із розчину разом з оксидами в початковому періоді кристалізації. Такі сульфіді мають форму порівняно великих глобулів, майже рівномірно розподілених у твердій сталі. Оксиди і сульфіді взаємно розчинні в рідкому стані, але при затвердінні розділяються, утворюючи характерні структури розпаду. Включення цього типу (рис. 3.1, а), утворюються в литій сталі, розкисленій марганцем і кремнієм без присадок алюмінію чи інших сильних розкислювачів. За малих присадок алюмінію, які не зв'язують увесь кисень, включення цього типу зберігаються.

Якщо вміст алюмінію становить 0,005-0,02%, вміст кисню знижується до мінімуму, а сам алюміній повністю витрачається на утворення глинозему, розчинність сульфідів дуже збільшується і вони випадають із розчину тільки в останню мить кристалізації. Ці включення (тип 2, рис. 3.1, б) виділяються після утворення скелетів дендритів і тому розміщуються на межах зерен у вигляді переривчастих плівок сульфідної евтектики, яка зменшує міжкристалічні зв'язки.

За подальшого збільшення вмісту алюмінію (вище 0,03%) він у певній кількості розчинюється у сталі. Цей залишковий алюміній впливає на зміну поверхневого натягу рідкої сталі, що зменшує розчинність сірки і спричиняє більш раннє виділення сульфідів на центрах – кристалах корунду і шпінелей. Такі сульфіді відносяться до типу 3 (рис. 3.1, в).

Найбільшу пластичність і в'язкість забезпечують дезорієнтовані глобулярні включення типу 1, тому у виливках може з'явитися сильно розвинута ситовидна пористість. Евтектичні сульфіді типу 2, розміщені на межах зерен, різко знижують показники пластичності. Тому оптимальним з точки зору щільності і механічних властивостей є тип 3 включень, які утворюються у сталі за наявності залишкового алюмінію вище 0,03%.

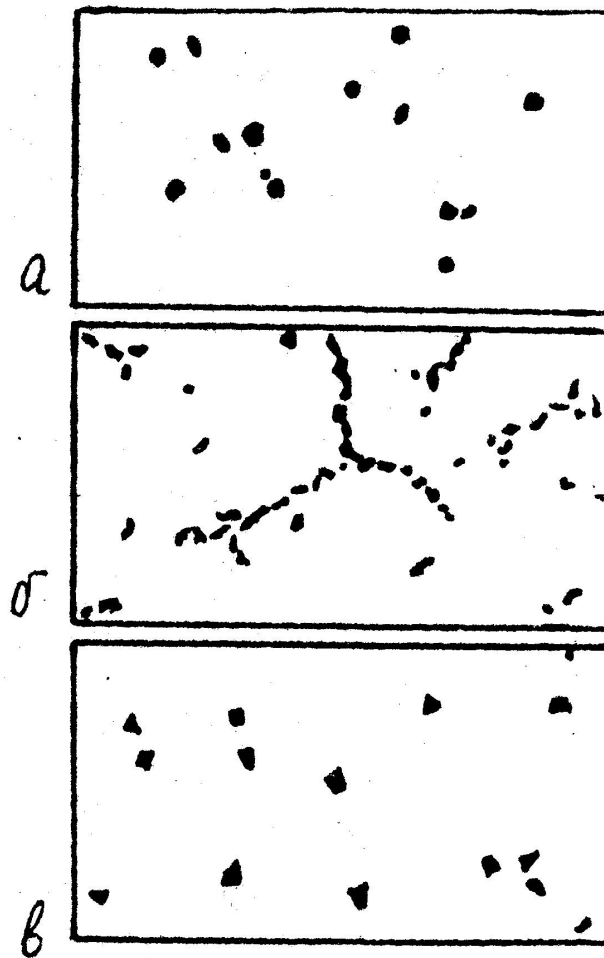


Рис. 3.1. Основні типи сульфідних включень у литій вуглецевій сталі, розкисленій алюмінієм х500:

- а – тип 1 – глобулярні, дезорієнтовані (без присадки алюмінію);
- б – тип 2 – евтектичні (0,005-0,02% алюмінію);
- в – тип 3 – неправильної форми, дезорієнтовані (0,03-0,05% алюмінію)

Розкислення сталі – дуже важливий етап плавки, тому кількість присадки і метод її введення мають гарантувати стабільність процесу і оптимальний вміст алюмінію в сталі, що забезпечує утворення дезорієнтованих сульфідів типу 3.

Для утворення включень типу 3 в ливарних цехах для кінцевого розкислення додають біля 1 кг алюмінію на 1 т сталі, що відповідає залишковому вмісту у твердій сталі 0,3-0,5% алюмінію. Критичній зоні (область евтектичних сульфідів

типу 2) відповідає вміст алюмінію 0,005-0,02%. Якщо вміст алюмінію більше 0,05%, показники в'язкості і пластичності монотонно знижуються. При цьому у структурі сталі, крім сульфідів типу 3, з'являються зерна корунду і шпінелі з груповим розміщенням. Зниження властивостей пояснюється розвитком процесів повторного окислювання сталі з алюмінієм під час переливання із печі в ківш та із ковша у форму, що спричиняє забруднення сталі глиноземними оксидами. Рідкоплинність сталі знижується, погіршується поверхня виливків, а скупчення глинозему і шпінелю зумовлює концентрацію напруги, що призводить до зниження механічних властивостей сталі.

Підвищення механічних властивостей сталі може бути отримано застосуванням досконаліших методів кінцевого розкислення, що дає змогу отримати неметалеві включення типу 1 в поєднанні з високою щільністю вилівка і дрібним зерном аустеніту. Таким напрямом може бути комплексне розкислення алюмінієм сумісно з елементами-модифікаторами, які можуть глобуляризувати сульфідні включення. Дуже перспективні у цьому плані кальцій і церій, які мають велику хімічну спорідненість до кисню, сірки й азоту. Присадки силікокальцію у середньовуглецеву сталь значно покращують форму включень, наближуючи їх до включень типу 1 (рис. 3.1, в). Сумісні присадки алюмінію і силікокальцію забезпечують одночасне зростання міцності, пластичності і в'язкості. Підвищується рідкоплинність сталі.

Ефективно підвищує механічні властивості середньовуглецевої сталі модифікування фероцерієм й іншими сплавами з рідкоземельними елементами. Уведений у розплав після алюмінію фероцерій глобуляризує всі види включень. При цьому сульфідні типи 2 і 3 перетворюються у сульфідні типу 1, найсприятливіші для механічних властивостей литої сталі. Комбіноване розкислення алюмінієм, силікокальцієм і фероцерієм дозволяє ще більше глобуляризувати включення і підвищувати властивості сталі.

У табл. 3.1 наведені дані про вплив кінцевого розкислення сталі 45Л на її механічні властивості.

Таблиця 3.1 – Вплив алюмінію, кальцію і церію на тип включень і властивості литої сталі 45Л (0,4% C; 0,82% Mn; 0,42% Si; 0,036% S; 0,048% P). Нормалізація -860 °С; відпуск – 620 °С

Розкислювачі (присадки) %			Тип включень	Механічні властивості			
				σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
<i>Al</i>	<i>SiCa</i>	<i>FeCl₃</i>					
1	2	3	4	5	6	7	8
-	-	-	1	454	750	18,6	34,5
0,02	-	-	2	433	750	12,1	23,8
0,1	-	-	3	457	762	16,7	27,3
0,1	0,15	-	1-3	467	768	18,5	38,2
0,1	-	0,15	1	450	763	19,0	35,3
0,15	0,15	0,15	1	477	790	19,7	39,0

Зміст роботи

Вивчити класифікацію неметалевих домішок, які зустрічаються у ливарних сплавах, і їх вплив на якість виливків. Вміти класифікувати неметалеві включення і прогнозувати їх вплив на механічні властивості сталі.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методичними вказівками і довідковою літературою.
2. Перевірити налаштування мікроскопа і встановити потрібну оптику.
3. Перевірити якість виготовлення шліфів (відсутність окислення і якість обробки поверхні).
4. Переглянути шліфи під мікроскопом при збільшенні x100 і x500 разів. Визначити форму і характер розміщення сульфідних і оксидних включень.

Замалювати переглянуті шліфи в звіт. Установити тип неметалевих включень і метод кінцевого розкислення сталі.

5. Результати металографічного контролю порівняти з показниками механічних властивостей досліджуваних проб.

6. У висновках показати вплив складу, форми і характеру розміщення сульфідних включень на механічні властивості вуглецевої сталі.

Запитання для самоконтролю

1. Джерела неметалевих домішок у виливках.
2. Види неметалевих домішок у виливках.
3. Які неметалеві домішки в найбільшій кількості зустрічаються у вуглецевих сталях? Їх класифікація.
4. Які методи розкислення сталі застосовуються. Їх вплив на характер, форму і розміщення неметалевих включень.
5. Як впливають неметалеві домішки на механічні властивості сплаву залежно від їх типу?

Лабораторна робота № 4

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ І ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЛИВАННЯ НА РІДКОПЛИННІСТЬ СПЛАВІВ

(2 години)

Мета роботи – дослідити рідкоплинність сплавів за різних хімічних складів і температури заливки; оцінити отримані результати.

Матеріали та обладнання: плавильна піч; обладнання для приготування формувальної суміші; модельно-опочна оснастка для виготовлення форм; термopapa; гнучка лінійка для вимірювання; плавильний інструмент; шихтові матеріали; формувальна суміш; спецодяг.

Загальні відомості

Рідкоплинністю (текучістю) сплавів називається схильність рідкого сплаву текти в ливарній формі, заповнювати її і відтворювати точний відбиток ливарної порожнини.

Заповнення рідким сплавом порожнини ливарної форми – це складний процес, який можна розділити на три групи факторів [1, 2, 6]. До першої групи відносяться такі властивості сплаву: поверхневий натяг, в'язкість, теплоємність, інтервал кристалізації та ін. Друга група факторів – властивості ливарної форми: теплопровідність, газопроникність, шорсткість поверхні та ін. Третя група факторів – це умови заливання форми: металостатичний тиск, додатковий тиск на розплав, температура заливання та ін.

Під час вивчення рідкоплинності металів і сплавів Ю.А. Нехендзі запропонував такі види рідкоплинності [1]:

1) нульова рідкоплинність настає тоді, коли метал чи сплав перестає текти, перебуваючи тільки під металостатичним тиском. Для сплавів нульова рідкоплинність настає в інтервалі температур “ліквідус-солідус”, в момент, коли в'язкість різко зростає через утворення деякої кількості твердої фази. Лінія температур нульової рідкоплинності розміщена між лініями температур ліквідусу і солідусу;

2) рідкоплинність за однакової величини перегріву над температурою нульової рідкоплинності (дійсна рідкоплинність), яка дає можливість визначити склад сплаву із даної систем сплавів з оптимальною рідкоплинністю за мінімальної температури;

3) рідкоплинність за однакової температури заливки (практична рідкоплинність), що дає можливість визначити сплав з найвищою рідкоплинністю даної системи.

У даній роботі вивчається рідкоплинність чавуну залежно від хімічного складу і температури заливки.

Рідкоплинність вимірюють заливанням сплаву в спеціальні ливарні форми – проби. Головне в будові цих форм – створення постійних умов заливання сплаву (гідростатичного тиску розплаву в формі, властивостей форми, розмірів і конфігурації порожнини ливарної форми).

Найпоширеніші проби для вимірювання рідинотекучості показано на рис.4.1.

Пруткова проба, ливарна порожнина якої дозволяє відлити довгий, тонкий пруткок постійного перерізу. Форму встановлюють так, щоб пруткок у ній розміщався горизонтально. Пруток може бути прямолінійним, але найчастіше його виготовляють у вигляді спіралі для зменшення розмірів форми. Мірою рідкоплинності є довжина залитого прутка.

Сифонна проба, ливарна порожнина якої дозволяє відлити у вертикальному положенні один або декілька тонких прутків. Якщо в одній пробі отримують декілька прутків, то їх виконують різних діаметрів. Метал до цих прутків підводять знизу.

Рідкоплинність у цьому випадку вимірюється висотою прутка від кільця розширення ливникової системи.

Щілинна проба, ливарна порожнина якої – це щілина змінної товщини. Наприклад, кульова проба Спаського – це металева чи піщана форма, ливарна порожнина якої має вигляд паралелепіпеда. В одній із стінок форми закріплено кульку, яка наполовину виступає в ливарну порожнину і спирається на

вставлений у порожнину клин. Між половиною кульки і клином утворюється зазор змінної товщини [6].

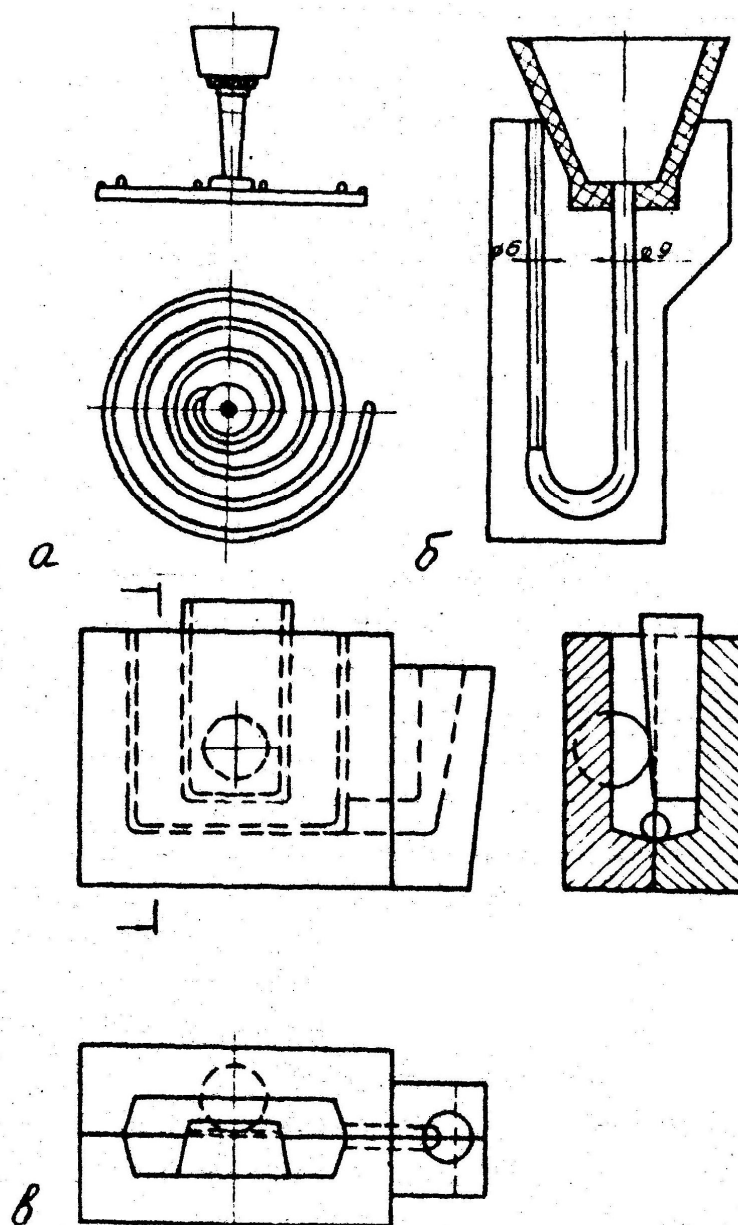


Рис. 4.1. Проби для визначення рідкоплинності сплавів:
а – пруткова спіральна; б – пруткова сифонна; в – щілинна

Величину рідкоплинності характеризує значення діаметра отвору, який утворюється у виливку між кулею і клином; чим менше діаметр отвору, тим вища рідкоплинність.

Перспективним, але недостатньо розробленим, є пристрій для визначення рідкоплинності методом вакуумного всмоктування (рис. 4.2).

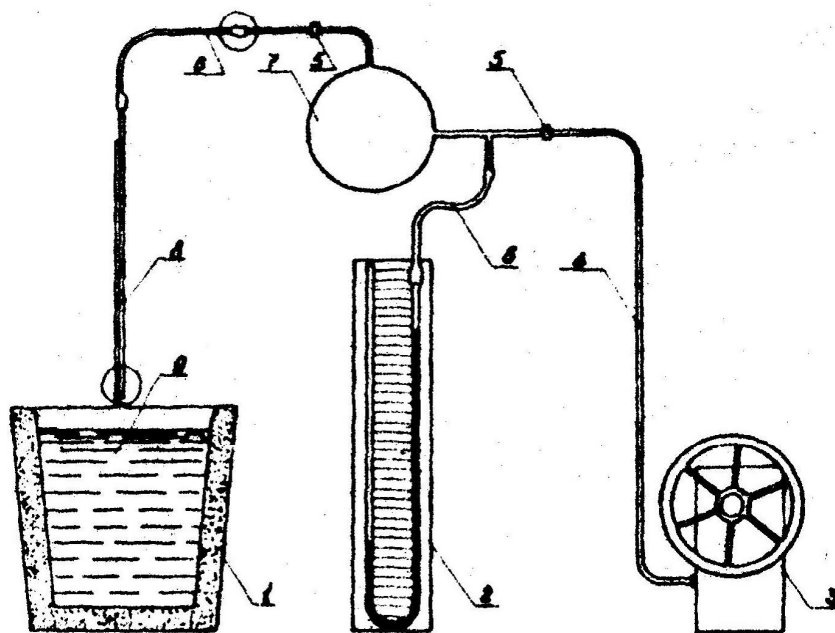


Рис.4.2. Схема приладу для визначення рідкоплинності методом вакуумного всмоктування:

- 1 – ківш з рідким металом; 2 – манометр; 3 – вакуумний насос;
4 – трубка; 5 – триходовий кран; 6 – шланг; 7 – балон;
8 – трубка кварцова

Цей пристрій не має недоліків, пов'язаних з якістю форми - проби (сирої, сухої, металевої) і з умовами заливання форми - проби.

Основними властивостями сплаву, які визначають величину рідкоплинності є в'язкість, поверхневий натяг, інтервал кристалізації (різниця між температурами ліквідусу і солідусу сплаву). Збільшення в'язкості і поверхневого натягу сплаву зменшує рідкоплинність. Сплави, які мають вузький інтервал кристалізації, мають вищу рідкоплинність, ніж сплави з широким інтервалом кристалізації. Найбільшу

рідкоплинність серед сплавів даної системи мають сплави без інтервалу кристалізації – це чисті метали і евтектичні сплави.

В'язкість і поверхневий натяг залежать від складу і температури сплаву, інтервалу кристалізації. За підвищеної температури сплаву в'язкість і поверхневий натяг зменшуються, а сам сплав довший час може перебувати в рідкому стані. Тому підвищення температури сприяє підвищенню рідкоплинності.

Із зовнішніх умов, які впливають на рідкоплинність, основними є якість і будова форми, ливникової системи, умови заливки.

Зміст роботи

Ознайомитися з пробами для визначення рідкоплинності металів і сплавів. Навчитися обирати необхідну пробу залежно від мети випробування, а також визначати рідкоплинність і робити висновки за отриманими результатами.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити методичні вказівки і рекомендовану літературу.
2. Приготувати формувальну суміш.
3. Виготовити 9-12 форм.
4. Приготувати розплавлений метал із заданою температурою.
5. Залити дві-три групи проб із різних сплавів по три форми з інтервалом $30...50^{\circ}\text{C}$, температуру виміряти під час кожного заливання форм.
6. Вилучити проби із форм та виміряти їх довжину. Результати вимірів занести до табл. 4.1.
7. Побудувати графіки в координатах температура-довжина спіралі для кожного сплаву.
8. Зробити висновки.

Таблиця 4.1 – Протокол результатів випробування

№ п/п	Сплав			Номер проби	Температура залівки кожної спроби, °С	Довжина спіралі, мм
	Назва	Хімічний склад, %				
1						
2						

Методика проведення роботи

Вивчити фактори, які впливають на рідкоплинність сплавів, і способи її визначення. Вибрати сплави, проби і температури заливання проб.

Для вивчення рідкоплинності вибрати сплави одної або двох систем, а всередині кожної системи сплавів не менше двох сплавів, які дуже відрізняються за хімічним складом, і три-чотири значення температури заливки.

Для виготовлення сирих форм застосовується звичайна формувальна суміші постійного складу. Щільність набивки форм перевіряється твердоміром моделі 071.

Для виготовлення сухих форм застосовується стержнева суміш.

Робочу порожнину металевих форм покривають вогнетривкою фарбою для кокільного литва.

Заливку проб починати з температури на 200...300°С вище температури ліквідусу. Проби заливати з інтервалом 30...50°С. Температуру сплаву вимірювати під час кожного заливання термопарою занурення із кварцовим наконечником, наприклад термопарою ТПП-0555.

Запитання для самоконтролю

1. Поняття рідкоплинності і заповнюваності ливарних форм.
2. Назвати фактори, від яких залежить рідкоплинність.
3. Перелічити проби для визначення рідкоплинності і особливості їх застосування.
4. Пояснити вплив рідкоплинності на якість виливків.
5. За результатами роботи пояснити вплив хімічного складу сплаву на рідкоплинність.
6. Назвати правила техніки безпеки в процесі виконання даної роботи.

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СПЛАВУ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЛИВКИ НА ОБ'ЄМНУ УСАДКУ СПЛАВІВ (2 години)

Мета роботи – вивчити методи визначення величини усадкових раковин і залежність їх об'єму від температури заливки і складу сплаву.

Матеріали та обладнання: плавильна піч; обладнання для приготування формувальної суміші; модельно-опочна оснастка для виготовлення форм-проб для визначення об'єму усадкової раковини, лінійної усадки і внутрішньої напруги; термopapa; плавильний інструмент; шихтові матеріали та матеріали для приготування формувальної і стержньової суміші; спецодяг.

Загальні відомості

Об'єм і розміри рідини, що твердне, залежать від температури і тиску. Під час виготовлення виливків на практиці зміною тиску можна знехтувати. Тоді зміна об'єму і лінійних розмірів виливка будуть залежати тільки від зміни температури. Відповідно до процесу виготовлення виливків розглядають зменшення об'єму і лінійних їх розмірів в процесі охолодження залежно від температури заливки до температури навколишнього середовища. У зв'язку з цим визначають лінійну і об'ємну усадку ливарних сплавів [2, 3, 5].

Усадка – це зменшення розмірів виливка від температури закінчення затвердіння до температури навколишнього середовища.

Лінійна усадка визначається за формулою:

$$\varepsilon_{\ell} = \alpha_{\ell}(t_1 - t_2), \quad (5.1)$$

де α_{ℓ} - коефіцієнт лінійної усадки; t_1 , t_2 - відповідно, початкова і кінцева температура сплаву, що заливається у форму.

Об'ємна усадка:

$$\varepsilon_V = \alpha_V(t_1 - t_2), \quad (5.2)$$

де $\alpha_V = 3\alpha_t$ - коефіцієнт об'ємної усадки.

Під час охолодження металу від температури заливки t_3 до температури навколишнього середовища t_0 розрізняють три види усадки:

1) усадка рідкого сплаву від температури заливки до температури початку затвердіння

$$\varepsilon_{VP} = \alpha_{VP}(t_3 - t_L), \quad (5.3)$$

де α_{VP} - коефіцієнт об'ємної усадки металу в рідкому стані; t_L - температура ліквідусу;

2) усадка при затвердінні. ε_{V3} - усадка від температури ліквідусу до температури солідусу t_c . Формули для визначення ε_{V3} не існує. Таку усадку визначають для різних сплавів практично;

3) усадка в твердому стані α_{VT} . Усадка при зниженні температури від закінчення затвердіння t_C до температури t_0 , для якої визначається усадка

$$\varepsilon_{VT} = \alpha_{VT}(t_C - t_0), \quad (5.4)$$

На практиці

$$\varepsilon_{VT} = \alpha_{VT}t_C, \quad (5.5)$$

де α_{VT} - коефіцієнт об'ємної усадки в твердому стані.

Отже, повна об'ємна усадка металу або сплаву ε_V від температури заливки до температури навколишнього середовища становить

$$\varepsilon_V = \varepsilon_{VP} + \varepsilon_{VЗ} + \varepsilon_{VT}. \quad (5.6)$$

Під час вивчення усадки металів і сплавів, а також у практичній роботі треба розрізняти види усадки, тому що вони по-різному впливають на якість виливків.

Усадка рідкого сплаву і усадка під час затвердіння – причина утворення усадкових раковин (порожнин у тілі виливка).

При усадці в твердому стані зменшуються розміри виливка, що спричиняє виникнення внутрішньої напруги, деформацію і утворення гарячих та холодних тріщин у деталях.

У практичній діяльності усадку визначають як відносні величини:

1) відносна об'ємна усадка

$$\varepsilon_V = [(V_\Phi - V_B) / V_\Phi] \cdot 100\% \quad (5.7)$$

де V_Φ, V_B - об'єм відповідно порожнини ливарної форми і охолодженого виливка;

2) відносна лінійна усадка

$$\varepsilon_\ell = [(\ell_\Phi - \ell_B) / \ell_\Phi] \cdot 100\% \quad (5.8)$$

де ℓ_Φ - розмір порожнини форми або моделі; ℓ_B розмір виливка.

Усадковими раковинами називаються порожнини у виливках, що утворюються внаслідок неодночасного затвердіння і нерівномірної усадки в рідкому стані різних частин виливка.

Усадкові раковини можуть бути концентрованими (зосередженими), які розміщуються в частинах виливка, що тверднуть останніми, а також роззосередженими - у вигляді макро- і мікроскопічних раковин, скупчення яких називають усадковою пористістю. В першому випадку в тілі виливка утворюється одна усадкова раковина. В другому випадку - у виливку з стінками, які перетинаються і мають різну товщину, може утворюватися декілька або багато раковин.

Загальний об'єм усадкової порожнини визначається за формулою Нехендзі – Гіршовича:

$$V_p = [\alpha_{VP}(t_3 - t_L) + \varepsilon_{V3} - 1,5\alpha_{VT}(t_C - t_0)](1 - \frac{k\sqrt{\tau}}{2R}), \quad (5.9)$$

де k – константа затвердіння; τ – час затвердіння; R – приведена товщина стінки виливка.

Кількісно схильність сплаву до утворення усадкових раковин визначають за спеціальними пробними.

Проби (рис. 5.1, а) і б) використовуються для визначення усадки у вигляді концентрованої раковини. Пробу на рис. 5.1, в) – для вивчення усадкової пористості.

Найзручніша конічна проба, що зображена на рис. 5.1, а). Об'єм раковини визначають за кількістю гасу (керосину), витраченого на її заповнення.

Відносний об'єм усадкової раковини ε_p в конічній пробі:

$$\varepsilon_p = \frac{V_p}{\frac{\pi}{3h}(R^2 + r^2 + Rr) + \frac{2}{3}\pi \cdot r^3} \cdot 100\%, \quad (5.10)$$

де V_p - об'єм раковини; h – висота проби; R, r – радіус проби, відповідно, у верхній і нижній частинах.

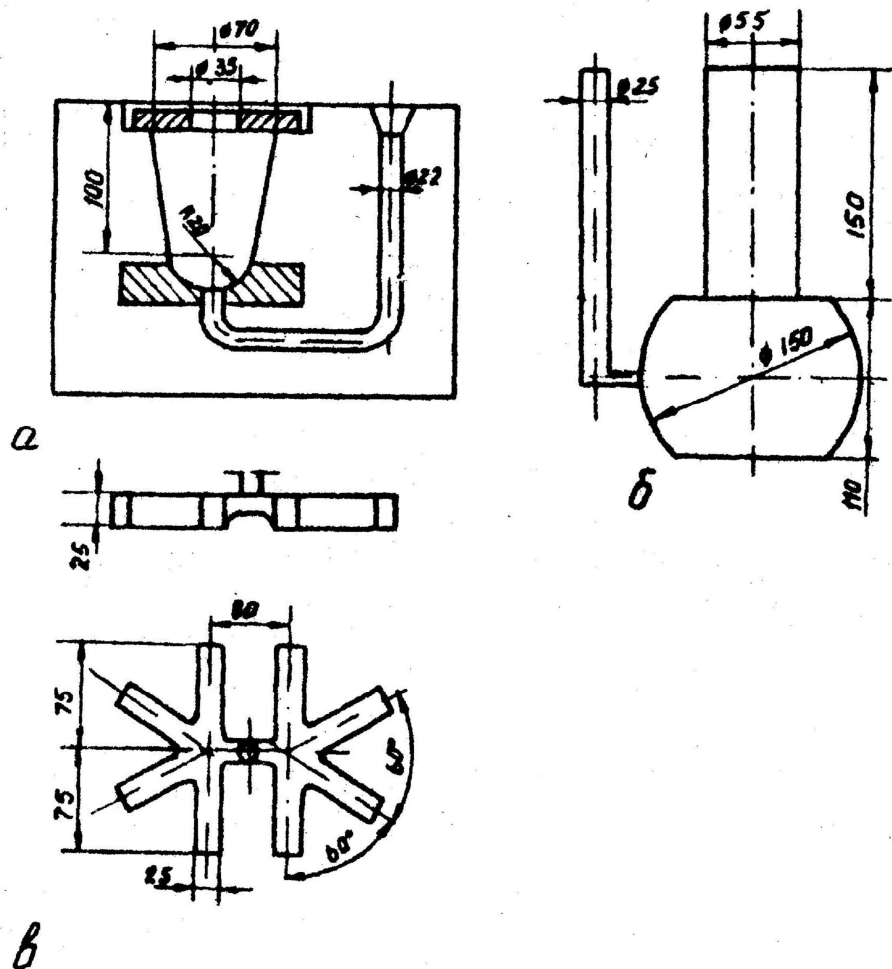


Рис. 5.1. Проби для вивчення схильності сплавів до утворення
усадкових дефектів:

- а, б – усадкових раковин у різних сплавах;
в – усадкової пористості в кольорових сплавах

Зміст роботи

Вивчити від яких факторів залежить об'єм і характер усадкових порожнин у виливках. Ознайомитися з пробами для визначення об'єму усадкових раковин і пор. Навчитися обирати пробу відповідно до мети випробування, а також визначати об'єм усадкової раковини і його залежність від температури і складу сплаву і зробити висновки.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити методичні вказівки і рекомендовану літературу.
2. Вибрати склад стержневої суміші для виготовлення форми і приготувати її.
3. Підготувати форму, виготовити 12 стержнів і висушити їх.
4. Скласти із стержнів шість форм.
5. Розплавити метал (не менше двох хімічних складів). Наприклад, чавун і сталь. Метал нагріти на $150 \dots 200^{\circ}\text{C}$ вище температури ліквідусу.
6. Залити по три форми кожним металом з інтервалом температур 50°C .
7. Після повного охолодження вибити виливки із форм.
8. Виміряти охолоджену пробу і дані записати в протокол (табл. 5.1).
9. Установити пробу під бюретку і повільно краплинами, заповнити раковину гасом (керосином) щоб із порожнини (раковини) виходило повітря.
10. Визначити об'єм усадкової раковини у відсотках.
11. Результати вимірів і обчислень занести в протокол (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Протокол результатів роботи

№ п/п	Сплав				Номер дослідку	Розміри проби, см			Результати досліджень			
	Назва	Хімічний склад, %				<i>H</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	Об'єм рако- вини <i>см</i> ³	Критерій Стьюдента	Середній об'єм усадкової раковини	Об'ємна усадка
					1							
					2							
					3							
					1							
					2							
					3							

Методика виконання роботи

Вивчити проби для визначення величини усадкових раковин і усадкової пористості, способи вимірювання раковин. Для визначення величини концентрованої усадкової раковини найкращою є конічна проба (рис.5.1, а), а при дослідженні усадки білого чавуну і кольорових сплавів у нижній частині проби встановлюють холодильник, при вивченні усадки сірого чавуну – стержень. Форму конічної проби треба виготовляти із стержнєвої суміші, а потім висушувати. Метал слід заливати тільки в суху форму, для отримання вірогідних даних – не менше трьох проб із кожного сплаву.

Температуру металу вимірюють термopарою занурювання з кварцовим наконечником.

Для отримання результатів, які можна порівняти, треба брати сплави різних систем або із однієї системи, але з різним хімічним складом, наприклад, чавун і сталь, різні кольорові сплави.

Температура заливки рідкого металу у форму має бути на 150...200°С вищою від температури ліквідусу.

Запитання для самоконтролю

1. Поняття про усадку ливарних сплавів.
2. Види усадки і їх вплив на якість виливків.
3. Проба для вивчення величини усадкової раковини і особливості їх застосування.
4. Конструкція і виготовлення конічної проби.
5. Основні правила техніки безпеки.

Лабораторна робота № 6

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ НА ВЕЛИЧИНУ ЗАЛИШКОВОЇ НАПРУГИ У ВИЛИВКАХ (2 години)

Мета роботи – вивчити способи вимірювання залишкової напруги у відливках; встановити залежність напруги від хімічного складу сплаву і конструкції виливка.

Загальні відомості

Якщо виливок під час охолодження до температури навколишнього середовища зазнає вільної усадки, то після цього виявиться недеформованим і напруга в ньому відсутня. У тому випадку коли усадка виливка ускладнена і має перепони, то виливок буде мати внутрішню напругу і, можливо, деформацію. Під час ускладненої усадки відбувається взаємодія виливка і форми або окремих його частин внаслідок чого не може отримати розміри литого виробу, які можна дістати за вільної усадки [1, 2].

У першому наближенні вважають, що матеріал виливка підпорядковується закону Гука і напруга, що виникає у виливку визначається так [3]:

$$\sigma = E\delta \quad (6.1)$$

де E – модуль пружності матеріалу виливка; δ - відносна деформація виливка за ускладненої усадки.

Розглянемо процес виникнення деформації виливка на простому прикладі. Наприклад, якщо взяти виливок великої довжини ℓ_0 і малого поперечного перерізу і дати йому охолонути від температури солідусу до нормальної температури, побачимо, що за вільної усадки і остаточного охолодження виливок

має розмір $\ell_e < \ell_0$. За наявності перепон для вільної усадки, тобто коли вона ускладнена, розмір відливка буде ℓ_{YT} , причому $\ell_e < \ell_{YT} < \ell_0$.

Отже, виливок із ускладненою усадкою буде деформований на величину

$$\Delta\ell = \ell_{YT} - \ell_e \quad (6.2.)$$

а відносна деформація, яка визначає величину напруги, буде становити

$$\delta = (\Delta\ell / \ell_e) \cdot 100\% = [(\ell_{YT} - \ell_e) / \ell_e] \cdot 100\% \quad (6.3)$$

Напруга у виливку, що виникає у випадку затримання вільної усадки, називається ливарною напругою.

За тривалістю дії існують два роди ливарної напруги: тимчасова і залишкова. До тимчасової напруги відносять таку, яка з'являється у виливку внаслідок тимчасових причин, а після ліквідації причин усувається. Наприклад, незадовільна податливість форми і стержнів, неправильна конструкція ливникової системи.

Залишкова напруга спричиняється нерівномірністю охолодження виливка (термічна), нерівномірністю протікання фазових перетворень структури (фазова) і ускладненою усадкою виливка або його частин через неправильну конструкцію виливка (усадкова).

Тимчасова усадкова напруга у виливках зникає після їх вибивки з форм, а термічна і фазова напруги залишаються і після вибивки.

Якщо ливарна напруга досягає границі міцності матеріалу виливка, то в ньому з'являються розриви суцільності – тріщини. Якщо ливарна напруга менша границі міцності, але достатньо висока, вона може спричинити пластичну деформацію виливка і як результат – жолоблення. Значення ливарної напруги залежить від фізико-механічних властивостей сплаву, конфігурації виливка,

властивостей ливарної форми, від температури заливання розплавом форм та інших факторів.

Способи вимірювання ливарної напруги залежать від характеру останньої. Усадкову напругу вимірюють спеціальними приладами, термічну – за допомогою виливків-проб.

Для чавуну і сталі найчастіше застосовується виливок-проба у вигляді решітки із трьох круглих брусків різного діаметра, жорстко зв'язаних поперечними стяжками (рис 6.1, а), і пробу для кольорових сплавів (рис. 6.1, б), яка складається із тонкого обода і масивної поперечини.

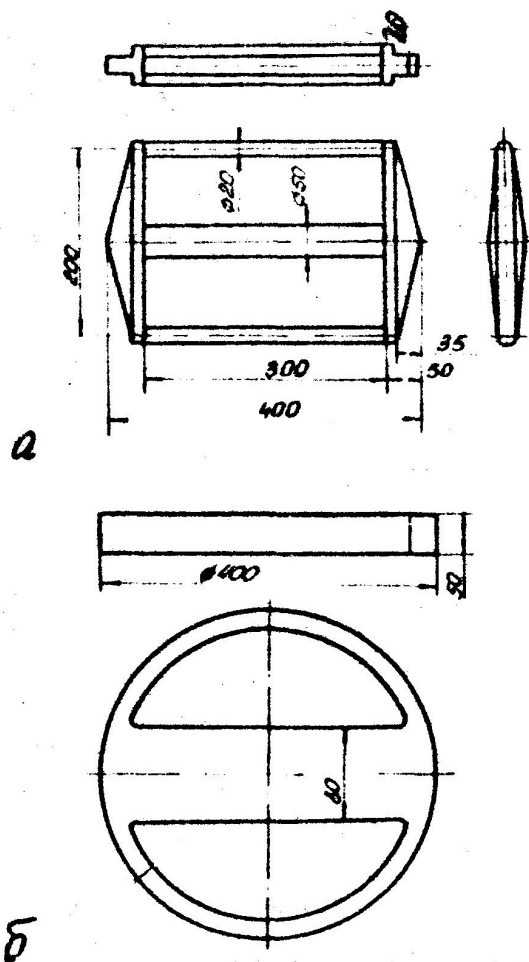


Рис. 6.1. Виливок-проба для дослідження усадкової напруги:

а – для визначення залишкової напруги у чавунних і сталевих виливках;

б – для кольорових сплавів

За допомогою таких виливків визначається сумарне значення термічної і фазової напруг. Виявити, яка частина напруги утворюється за рахунок термічного гальмування усадки вилівка, а яка за рахунок фазової, майже неможливо.

Зміст роботи

Вивчити поняття про внутрішню напругу у виливках, коли вона виникає і її види. Ознайомитися з пробами для визначення залишкової напруги, навчитися обирати пробу залежно від роду сплаву. Провести експеримент та визначати величину внутрішньої напруги у виливках за отриманим варіантом і зробити висновки.

Порядок виконання роботи

1. Приготувати формувальну суміш, опоки і модель проби.
2. Виготовити 6-8 форм.
3. Із структурних діаграм для відповідних сплавів обрати склад білого і сірого чавуну для проб.
4. Скласти шихту, розплавити метал і залити по 3-4 форми білим і сірим чавуном.
5. Залиті форми тримати до повного охолодження. Рання вибивка і охолодження виливків у воді не допускається.
6. Виміряти довжину ℓ_0 середнього (товстого) бруска.
7. Заточити або запилити на середньому бруску дві площини, зробити на них помітки за допомогою кернера і виміряти відстань ℓ_n між ними.
8. Тонким абразивним кругом, або пилкою розрізати товстий брусок поміж поміток і виміряти нову відстань $\ell_1 > \ell_n$ між помітками.
9. Визначити абсолютну деформацію частин вилівка (брусків).

$$\Delta \ell = \ell_1 - \ell_n \quad (6.4)$$

10. Визначити залишкову напругу в решітці за формулами.

11. Зробити необхідні записи у протоколі (табл. 6.1).

12. Зробити висновки.

Таблиця 6.1 Протокол результатів дослідження

№ п/п	Метал проб		Номер проб	Результати експерименту							
	Назва	Хімічний склад, %		ℓ_n мм	$\Delta \ell$ мм	Напруга у товстому стержні			Напруга у тонкому стержні		
						σ_1	Кри- терій Стью дента	σ_{1CP}	σ_2	Кри- терій Стью дента	σ_{2CP}
			1 2 3								
			1 2 3								

Методичні вказівки

Для порівняльного дослідження доцільно прийняти не менше двох сплавів (можна однієї системи), які значно відрізняються за хімічним складом, наприклад сірий і білий чавун або вуглецева сталь. Із кожного сплаву слід заливати не менше трьох проб для визначення залишкової внутрішньої напруги.

Сутність методу вимірювання внутрішньої напруги за допомогою пробних решіток (рамок) полягає в наступному. Три бруски різного діаметра, жорстко скріплені між собою (рис. 6.1), охолоджуються з різною швидкістю (тонкі

швидше, а товсті повільніше), у брусках (стержнях) виникає пружна деформація: товстий середній стержень розтягується, а два тонкі крайні укорочуються. Отже, після відливання стержні перебувають у деформованому стані.

Щоб виміряти величини деформації брусків достатньо перерізати середній брусок. При цьому стиснені крайні бруски вирівнюються і відстань ℓ_0 між поперечними стяжками збільшується на величину $\Delta\ell$. Залишкова напруга визначається MH/m^2 ($\kappa\Gamma c/mm^2$):

для тонкого стержня

$$\sigma_1 = E \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \left(\frac{f_2}{2f_1} + 1 \right); \quad (6.5)$$

для товстого стержня

$$\sigma_2 = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \left(\frac{f_1}{f_2} + 1 \right); \quad (6.6)$$

де E – модуль пружності сплаву, із якого відлита проба, MH/m^2 ($\kappa\Gamma c/mm^2$); модуль пружності вибирають із довідника; ℓ_0 - початкова довжина товстого середнього бруска проби; f_1, f_2 - площа поперечного перерізу відповідно тонкого і товстого брусків (рис. 6.1, а).

Після закінчення дослідження зробити висновки.

Запитання для самоконтролю

1. Причини, які призводять до виникнення залишкової напруги.
2. Види залишкової напруги.
3. Методика визначення залишкової напруги.
4. Проби для визначення залишкової напруги.
5. Як хімічний склад сплаву впливає на значення залишкової напруги?
6. Основні правила техніки безпеки при виконанні роботи.

Лабораторна робота № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ НА ВІДБІЛЮВАННЯ СІРОГО ЧАВУНУ (2 години)

Мета роботи – вивчити вплив хімічного складу на структуру і властивості чавуну; методику і види проб, що використовуються для вивчення схильності чавуну до відбілювання; набути вміння застосовувати методику і проби для вирішення практичних задач; дати оцінку хімічного складу чавуну по величині відбілу.

Матеріали та обладнання: плавальна піч; модель клинової проби (рис. 7. 1, а), або стержневий ящик (рис 7.3); шихтової матеріали; формувальна або стержнева суміш; інструмент для формовки; термopаpa для вимірювання температури рідкого металу; шаблон для вимірювання величини відбілу; простругана з однієї сторони чавунна плита з розмірами 500x500x20 мм.

Загальні відомості

На кристалізацію і графітизацію нелегованого чавуну найбільше впливають постійні домішки, які входять до його складу – вуглець, кремній, марганець, фосфор та сірка. За тієї кількості, яка міститься у машинобудівному литві, найбільше впливають на структуру і властивості чавуну вуглець і кремній [1, 2, 7, 8]. Тому, визначивши величину відбілу виливка, можна швидко оцінити загальний вміст в чавуні вуглецю і кремнію, а також скоригувати склад шихти.

Чим більша глибина відбіленого шару у виливку, тим менше у чавуні вуглецю і кремнію. Для визначення хімічного складу чавуну методом відбілювання розроблені клинові проби. Щоб визначити хімічний склад чавуну за відбілом клинової проби, треба знати не тільки якісну, але і кількісну залежність між цими параметрами. Ці залежності встановлюють попередніми експериментами. Між складом чавуну і величиною відбілу існує кореляційна

залежність, яка встановлюється на великій кількості проб, після обробки їх результатів методом математичної статистики. Залежність величини відбілу клинової проби від загального вмісту вуглецю і кремнію графічно показана на рис. 7.2.

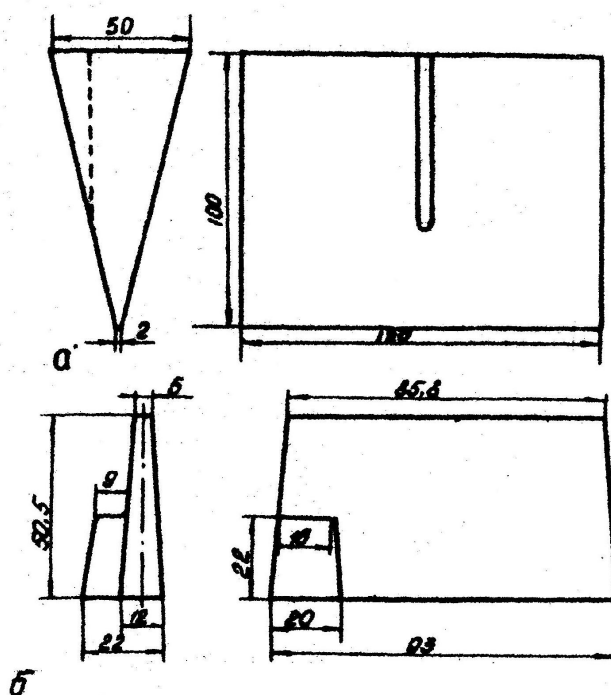


Рис. 7.1. Клинові проби для вивчення схильності чавуну до відбілювання

а) для чавуну з вмістом $C+Si=3.7-4.4\%$;

б) для чавуну з вмістом $C+Si=5.3-6.2\%$

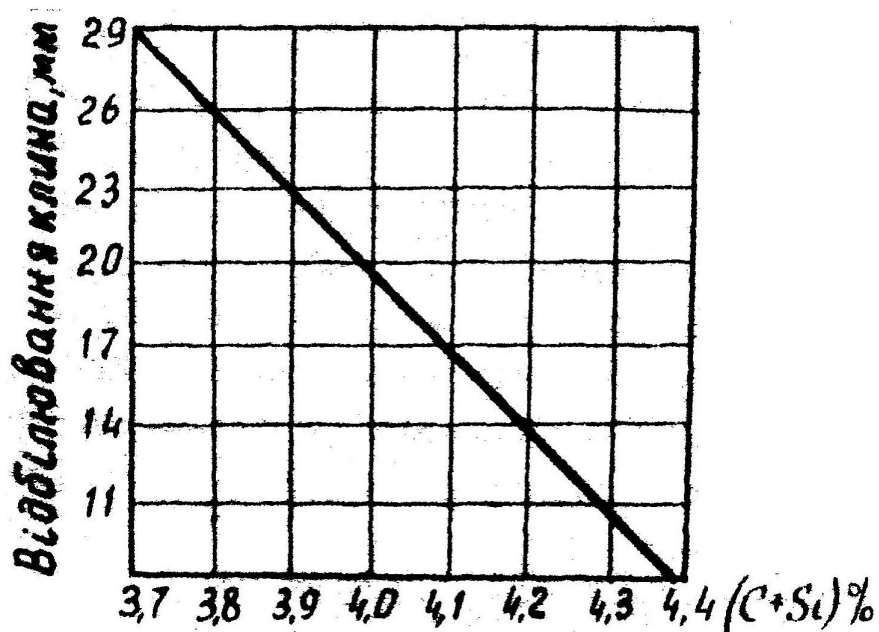


Рис. 7.2. Залежність відбілювання чавуну від вмісту вуглецю і кремнію

Якщо збільшувати вміст вуглецю та кремнію, що відповідає складу сірого чавуну для тонкостінних виливків машинобудування, відбілювання в пробі не відбувається.

Для характеристики загального вмісту вуглецю і кремнію у тонкостінних виливках можна застосовувати іншу пробу (рис. 7.1, б), форма для якої виготовляється у вигляді сухого стержня у стержневому ящику (рис. 7.3). При заливанні форму ставлять нижньою стороною на металеву плиту. Прискорене охолодження проби від металевої плити сприяє відбілюванню чавуну.

Практикою встановлено, що брак тонкостінних виливків за причини відбілювання не спостерігається, якщо глибина відбілу клинової проби перебуває у межах 3-8 мм при загальному вмісту вуглецю і кремнію 5,3-6,2%. Отже, на підставі значення глибини відбілювання клинової проби, можна швидко оцінити хімічний склад чавуну, не виконуючи хімічного аналізу. Це дає змогу оперативно реагувати на зміни складу чавуну під час плавки і запобігти випуску бракованих виливків.

Зміст роботи

Прийняти спосіб виготовлення проб – у сирій чи в сухій формі і склад формувальних сумішей для виготовлення форм. Підготувати форми і суміші.

Вибрати склад шихти та хімічний склад металу. Розплавити метал, залити проби і оцінити результати.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити вплив хімічного складу і швидкості охолодження чавуну на структуру виливків.
2. Ознайомитися з методикою виконання роботи.
3. Приготувати сирі форми для визначення відбілу у білому чавуні і сухі форми для сірого чавуну.

-

Таблиця 7.1 – Протокол результатів роботи

Сплав				Номер проби	Результати		
Назва	Хімічний склад, %				Величина відбілу, мм	Критерій Стьюдента	Середня величина відбілу, мм
	C, %	Si, %	C+Si, %				
				1			
				2			
				3			
				1			
				2			
				3			

Для того щоб умови експерименту в усіх випадках були однаковими, температура заливання проб має бути постійною (наприклад, 1320...1330 °С – для сірого і 1370...1380 °С – для білого чавуну).

Проби видаляти із форм через 10-15 хв після заливки. Для прискорення охолодження проби після вибивки із форм можна додатково охолоджувати у воді.

Загальний вміст вуглецю і кремнію у пробах із білого чавуну можна визначити за графіком (рис. 7. 2).

У пробах із сірого чавуну визначають зв'язок між вмістом вуглецю і кремнію та величиною відбілювання.

Запитання для самоконтролю

1. Залежність структури чавуну від хімічного складу і швидкості охолодження виливка.
2. Відбілювання виливка – критерій хімічного складу чавуну.
3. Проби, які використовуються для визначення відбілу.
4. Оцінка хімічного складу чавуну за величиною відбілювання клинової проби.
5. Правила техніки безпеки під час виконання роботи.

Список рекомендованої літератури

1. Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спасский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1984. – 432 с.
2. Москальов І.Н. Ливарні сплави та їх плавка. - К. НМК. ВО. 1993. – 368 с.
3. Жевтунов П.П. Литейные сплавы. - М.: Машгиз, 1957. - 430 с.
4. Леви Л.И., Кантеник С.К. Литейные сплавы. –М.: Высш. шк., 1967. – 437 с.
5. Гуляев Б.Б. Синтез сплавов. - М.:Металлургия, 1984. - 158 с.
6. Корольков А.М. Лийные свойства металлов и сплавов. - М.: Наука, 1967. - 199 с.
7. Луньов В.В., Москальов І.Н. Практикум з ливарних сплавів та їх плавки. - К. 1993, 228 с.
8. Москалев И.Н. Методические указания к изучению дисциплины “Литейные сплавы”. – Кировоград: КИСМ, 1988. – 84 с.

Навчально-методичне видання

Ливарне виробництво

Методичні рекомендації

до лабораторних робіт
для студентів спеціальності
131 – "Прикладна механіка"
(для всіх форм навчання)

Укладач: В.М. Ломакін, к.т.н., доцент

Здано до тиражування _____. Підписано до друку _____.

Формат 60x84 1/16(A5). Папір газетний. Ум. друк. арк. 3,0. Тираж 50 прим. Зам.

№ ____/2020 р.

ЦНТУ, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.

Тел.: 39-04-55