

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

ВИРОБНИЦТВО ВИЛИВКІВ ЗІ СТАЛЕЙ

**Методичні вказівки
до лабораторних робіт**

**для студентів спеціальності
136 «Металургія» денної та заочної форм навчання**

Затверджено
на засіданні
методичної ради
Протокол № 1 від 21.09.2017

Краматорськ
ДДМА
2017

Виробництво виливків зі сталей : методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів спеціальності 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання / уклад. : О. Р. Абдулов, П. Г. Агравал. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – 34 с.

Методичні вказівки призначені для підготовки до лабораторних робіт з дисципліни «Виробництво виливків із сталей». Містять загальні відомості, порядок виконання робіт і вимоги до оформлення звітів з лабораторних робіт для студентів спеціальності 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання. Для перевірки знань з вивченого матеріалу наведені контрольні питання після кожної лабораторної роботи.

Укладачі:

О. Р. Абдулов, доц.

П. Г. Агравал, доц.

Відп. за випуск

М. А. Турчанін, проф.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Лабораторна робота 1. Дослідження впливу хімічного складу на мікроструктуру і властивості вуглецевих ливарних сталей	5
Лабораторна робота № 2. Дослідження впливу легуючих елементів на мікроструктуру і властивості конструкційних легованих ливарних сталей	9
Лабораторна робота 3. Розрахунок шихти для плавки вуглецевих і легованих сталей в електричних печах	4
Лабораторна робота 4. Особливості проектування ливниково-живильних систем для отримання якісних сталевих виливків	20
Лабораторна робота 5. Розробка технології виготовлення сталевих виливків	27
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	32
ДОДАТОК А. Варіанти завдань для лабораторної роботи 5	33

ВСТУП

Методичні вказівки з дисципліни «Виробництво виливків із сталей» призначені для більш поглибленого вивчення теоретичного курсу. Даний курс призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» і є однією з дисциплін, присвячених особливостям і тонкощам виготовлення відливок з такого поширеного матеріалу, як сталь, яка широкого застосовується в машинобудуванні та багатьох інших галузях.

Лабораторні роботи з дисципліни «Виробництво виливків із сталей» побудовані таким чином, щоб при їх виконанні у студентів була можливість повторити і закріпити матеріал по вивченим дисциплінам, зокрема, «Технологія металургійного виробництва», «Печі ливарних цехів» і «Технологія ливарної форми». Це є актуальним також у зв'язку з тим, що по двох останніх з них виконуються курсові проекти, які для більшості студентів є основою для виконання дипломного проекту на кваліфікаційний рівень «Бакалавр».

Для виконання лабораторних робіт 3 і 4 студентам потрібні дані, отримані в ході виконання курсових проектів з дисциплін «Печі ливарних цехів» і «Технологія ливарної форми», відповідно. Так, в лабораторній роботі №3 при виконанні розрахунку шихти студент в якості плавильного агрегату, його ємності та інших параметрів вибирає ті, які були в завданні на курсовий проект з дисципліни «Печі ливарних цехів». Для виконання лабораторної роботи №4 студенту потрібні дані курсового проекту з дисципліни «Технологія ливарної форми» для розрахунку елементів ливниково-живильної системи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ НА МІКРОСТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ ЛИВАРНИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи: вивчити класифікацію конструкційних низько-, середньо- і високовуглецевих сталей для виробництва виливків, а також вплив хімічного складу на мікроструктуру і властивості ливарних сталей.

1.1 Загальні відомості

Для виробництва литих деталей в промисловості, особливо в машинобудуванні, широко використовують вуглецеві нелеговані сталі. Хімічний склад вуглецевих сталей відповідно до вимог ГОСТ 977–88 представлено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад конструкційних нелегованих ливарних сталей (ГОСТ 977–88)

Марка сталі	C	Mn	Si
15Л	0,12...0,20	0,45...0,90	0,20...0,52
20Л	0,17...0,25	0,45...0,90	0,20...0,52
25Л	0,22...0,30	0,45... 0,90	0,20...0,52
30Л	0,27...0,35	0,45...0,90	0,20...0,52
35Л	0,32...0,40	0,45... 0,90	0,20...0,52
40Л	0,37...0,45	0,45...0,90	0,20...0,52
45Л	0,42...0,50	0,45...0,90	0,20...0,52
50Л	0,47...0,55	0,45...0,90	0,20...0,52

Більшість конструкційних вуглецевих сталей мають порівняно хороші ливарні властивості, тому їх використовують для виготовлення виливків будь-яких маси, складності, габаритних розмірів і з різними товщинами стінок. Незважаючи на невелику кількість марок, вуглецеві конструкційні сталі займають провідне місце серед ливарних матеріалів для виготовлення фасонних виливків.

Близько 75% всіх сталевих виливків виготовляють з вуглецевих конструкційних сталей. Найбільш часто для виготовлення фасонних сталевих виливків використовують сталі марок 25Л, 30Л і 35Л, оскільки вони мають найкраще поєднання ливарних і механічних властивостей, добре зварюються і обробляються на металорізальних верстатах.

Марки сталей за хімічним складом відрізняються тільки вмістом в них вуглецю:

- 15Л, 20Л – низьковуглецеві сталі;
- 25Л, 30Л, 35Л, 40Л і 45Л – сталі з середнім вмістом вуглецю;
- сталь 50Л відносять до високовуглецевої сталі.

Основні області застосування сталей для виготовлення виливків представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Приклади виливків з нелегованих конструкційних сталей

Марка сталі	Приклади виливків із сталей
15Л	Деталі залізничного транспорту, шестерні, черв'ячні колеса, ролики, кулачки, що піддаються хіміко-термічній обробці
20Л	Деталі електричних машин, казани для виробництва каустичної соди, тиглі для плавлення сплавів на основі кольорових металів
25Л	Станини прокатних станів, шківни, траверси, ролики, корпуси підшипників, маховики, шаботи, вали, баби для шихтових дворів
30Л	Маточини коліс і колеса, корпуси турбін, станини верстатів, прокатних станів і ін.
35Л	Ковзанки, тяги, кронштейни, колеса, рами, корпуси, литі деталі сільськогосподарських машин та ін.
40Л	Станини, деталі бурових машин, компресорів, деталі відповідального призначення, що працюють в умовах ударних навантажень і піддаються інтенсивному зносу
45Л	Теж саме
50Л	Литі деталі, що працюють в умовах інтенсивного зносу, але незначних ударних навантажень, валки, шнеки, шестерні колеса, катки та ін.

На властивості вуглецевих ливарних сталей сильно впливає їх хімічний склад. Головним за своїм впливом на властивості сталей є вуглець. Збільшення його змісту збільшує кількості карбідів, а, отже, сприяє підвищенню характеристик міцності і зниженню пластичності. Для підвищення пластичності виливки піддають термічній обробці – відпалу або нормалізації з наступним відпуском.

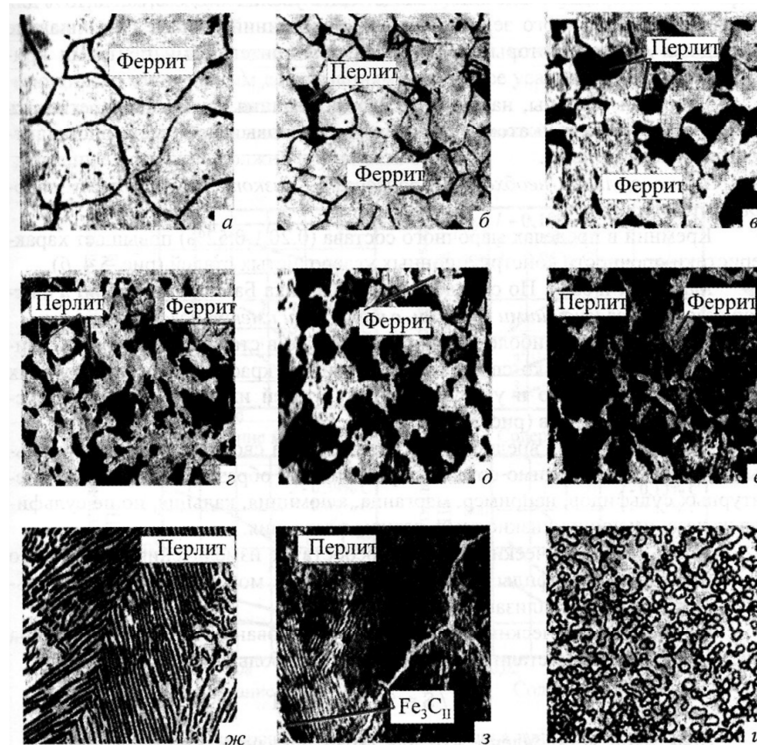
Вуглець значно впливає на ливарні властивості сталей:

- підвищення вмісту вуглецю знижує температуру плавлення сталі і збільшує практичну рідкоплинність. Одночасно з підвищенням в сталі вуглецю збільшується інтервал кристалізації, що сприяє зниженню рідкоплинності. Отже, в виробничих умовах під час розробки технологічних процесів виготовлення виливків з вуглецевих сталей необхідно враховувати обидва чинники;

- підвищення вмісту вуглецю внаслідок збільшення усадки сталі в рідкому стані (через збільшення інтервалу кристалізації) і при кристалізації, а також внаслідок зниження теплопровідності металу, збільшує обсяг дефектів усадочного походження і, в першу чергу, обсяг усадочних раковин;

– підвищення вмісту вуглецю внаслідок зменшення доперлітної усадки і можливості розливання сталі при знижених температурах, зменшує небезпеку утворення гарячих тріщин у виливках з механічним гальмуванням усадки.

На рис. 1.1 представлені мікроструктури вуглецевих сталей з різним вмістом вуглецю в них.



*a – 0,06%С; б – 0,01%С; в – 0,22%С; г – 0,30%С; д – 0,40%С; е – 0,55%С;
ж – 0,80%С; з – 1,10%С; і – 1,30%С*

Рисунок 1.1 – Мікроструктура ливарних сталей з різним вмістом вуглецю ($\times 450$)

Кремній і алюміній – хімічні елементи, які використовуються як розкислювачі ливарних сталей будь-якої марки. Практикою встановлено, що для гарантованого розкислення сталі залишковий вміст алюмінію має бути в межах 0,02... 0,05%. Кремній в межах марочного складу (0,20...0,52%) підвищує характеристики міцності конструкційних вуглецевих сталей.

Сірка є найбільш шкідливою домішкою в сталях для фасонного лиття, оскільки не тільки сприяє розвитку червоноламкості і гарячих тріщин у виливках, але і погіршення показників їх механічних і експлуатаційних властивостей. Фосфор – є причиною холодноламкості сталей, різкого зниження їх міцності і пластичності в умовах нормальних і низьких температур внаслідок накопичення його на кордонах зерен під час ліквацийних процесів.

1.2 Матеріали, обладнання

Металографічний оптичний мікроскоп, шліфи із зразків вуглецевих ливарних сталей 20Л, 30Л і 45Л в литому стані, дані про механічні властивості сталей.

1.3 Порядок виконання роботи

1. Використовуючи довідкові дані і технологічні карти вивчити основні типи структур, способи плавки і отримання виливків з вуглецевих конструкційних сталей.
2. Налаштувати мікроскоп для вивчення мікроструктури шліфів.
3. Вивчити мікроструктуру шліфів з вуглецевих сталей.
4. Результати вивчення мікроструктури занести в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Опис досліджених шліфів

№ з/п	Матеріал	Хімічний склад, %					Структурний клас	Опис мікроструктури
		C	Mn	Si	S	P		

5. Привести дані за властивостями ливарних сталей і проаналізувати вплив хімічного складу і фазового складу на механічні властивості.

6. У звіті повинні бути вказані назва та мета роботи, наведені загальні та короткі теоретичні відомості і порядок виконання роботи. Після опису досліджених шліфів з вуглецевих ливарних сталей замалювати їх мікроструктуру, зазначивши на них основні структурні складові. Привести графічні залежності властивостей сталей від хімічного складу. Зробити висновок про особливості структури ливарних вуглецевих сталей і її вплив на властивості.

1.4 Контрольні питання

1. Марки ливарних вуглецевих сталей.
2. Класифікація ливарних вуглецевих сталей.
3. Області використання вуглецевих сталей для виливків.
4. Вплив хімічного складу вуглецевих сталей на їх властивості.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА МІКРОСТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ ЛЕГОВАНИХ ЛИВАРНИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи: вивчити мікроструктуру, класифікацію і властивості конструкційних легованих сталей для виробництва виливків.

2.1 Загальні відомості

Леговані конструкційні ливарні сталі умовно відносять до низько- і середньолегованих. З цих сталей виготовляють близько 10% виливків від загальної кількості сталевого лиття.

Для поліпшення технологічних властивостей сталей, подрібнення первинного зерна і підвищення ударної в'язкості в них додають певну кількість молібдену, ванадію, титану та інших елементів.

Залежно від призначення виливків і вимог, що пред'являються до литим деталям, їх розділяють, як і нелеговані сталі, на три групи: загального, відповідального і особливо відповідального призначення.

Для легованих конструкційних ливарних сталей використовують три основні режими термічної обробки:

- нормалізація + високе відпускання – найбільш простий режим термічної обробки, але він не забезпечує оптимальний комплекс властивостей;
- гартування + високе відпускання – режим забезпечує найкраще поєднання міцності і пластичності сталі (гартування деталей здійснюють в технічному маслі);
- гартування + низьке відпускання – режим дає можливість отримати найбільш високі значення міцності при деякому зниженні пластичності.

За змістом основних легуючих елементів леговані конструкційні ливарні сталі поділяють на кілька груп:

- марганцеві сталі, марганцевокремністі сталі;
- ванадієві сталі;
- хромисті сталі, хромомарганцевокремністі сталі;
- сталі з молібденом і вольфрамом;
- хромонікелеві сталі.

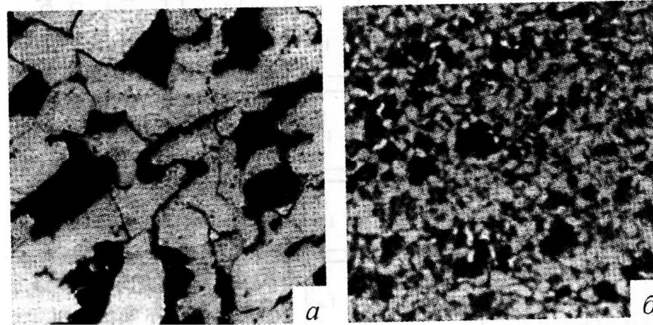
Марганцеві сталі (20ГЛ, 35ГЛ і ін.) – відрізняються, головним чином, вмістом вуглецю. Їх відносять до найбільш дешевим легованих сталей. Сталі цієї групи мають значно вище міцність і прогартовність, ніж звичайні вуглецеві сталі, при цьому зберігається досить висока ударна в'язкість.

Ці сталі використовують для виготовлення литих деталей, що працюють в складних умовах ударних навантажень і зносу – деталей дробарок, змішувачів, екскаваторів і ін.

Структура сталей – перлітна, а після різкого охолодження стає мартенситною. Марганець в сталях цієї групи знаходиться в твердому розчині (до 75%) і в карбідах $(Fe, Mn)_3C$ – до 25%.

В литому стані виливки мають грубозернисту структуру, погано усувається термічною обробкою, а тому необхідно застосовувати відповідні технологічні прийоми для прискорення процесів твердіння сталі в ливарній формі, наприклад, змінювати умови охолодження металу виливки, додавати в сталь елементи, які подрібнюють первинне зерно та ін.

На рис. 2.1 показана зміна структури низьколегованої марганцевої сталі після карбонітридного зміцнення.



а – лита структура сталі 14Г2Л;

б – сталь 16Г2АФ з карбонітридним зміцненням

Рисунок 2.1 – Мікроструктура литої сталі 14Г2Л і сталі 16Г2АФ з карбонітридним зміцненням (x200)

Сталі мають задовільні ливарні властивості, однак слід зазначити, що марганець збільшує доперлітну усадку і знижує теплопровідність металу.

Марганцевокремністі сталі (20ГСЛ, 30ГСЛ і ін.) – характеризуються більш високими показниками міцності і опором зносу.

Кремній в цій сталі істотно знижує її теплопровідність і сприяє утворенню крупнозернистого будови. Для подрібнення первинного зерна в сталі додають до 0,25% титану, карбонітриди якого є додатковими центрами кристалізації, сприяють подрібненню структури металу і підвищують його механічні властивості.

Ванадієві сталі (20ФЛ, 45ФЛ, 20Г1ФЛ і ін.) – мають високі показники механічних властивостей, особливо ударної в'язкості, оскільки наявність в сталі ванадію сприяє подрібненню первинного зерна внаслідок утворення нітридів ванадію, глибокого розкислення розплаву, зменшення ліквіації марганцю та ін.

Цінність сталей цієї групи полягає в тому, що вони мають високу ударну в'язкість при низьких температурах, тому їх широко використовують для виготовлення литих деталей залізничного транспорту, тракторів, артилерії і ін.

Перспективним ливарним матеріалом є ванадієві сталі з хромом і іншими легуючими елементами.

Хромисті сталі (32Х06Л, 40ХЛ і ін.) – мають більш високі характеристики міцності, ніж вуглецеві, зберігаючи при цьому досить високу пластичність.

З хромистих сталей, що містять близько 0,4% вуглецю і близько 1,0% хрому, можна виготовляти виливки з товщиною стінок до 60...80 мм і рівномірними механічними властивостями по їх перетину після гарту в маслі або на повітрі.

Перетворення $\gamma \rightarrow \alpha$ і випадання карбідів в цих сталях здійснюються при порівняно низьких температурах, тому структура їх надзвичайно дрібнозерниста. Хромисті карбіди, що утворюються в цих сталях, дрібні і мають округлу форму. Вони інтенсивно блокують площі ковзання дислокацій в твердому розчині і таким чином підвищують міцність металу, але дещо знижують пластичність, хоча вона залишається вище, ніж вуглецевих сталей.

Низьколеговані хромисті сталі використовують для виготовлення виливків, що мають незначні перерізи стінок, методом лиття по моделях, що витоплюються. Ливарні властивості цих сталей майже не відрізняються від ливарних властивостей вуглецевих сталей з таким же вмістом вуглецю.

Оскільки хром знижує теплопровідність сталей і цим сприяє утворенню грубозернистої структури, то в хромисті сталі додають невелику кількість молібдену (сталь 35ХМЛ), який істотно покращує структуру і властивості металу, підвищує прогартовність виливків і зменшує до нуля відпускну крихкість цієї групи сталей. Для підвищення механічних властивостей в сталі додають також ванадій і обробляють азотом.

У машинобудуванні для виготовлення литих деталей відповідального призначення досить широко використовують сложнолеговані хромисті сталі, особливо з ванадієм, молібденом і міддю.

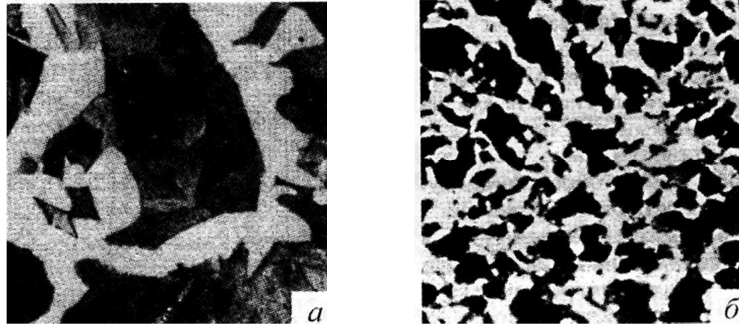
Хромомарганцевокремністі сталі (25ХГСЛ, 30ХГСЛ, 35ХГСЛ і ін.). У виробничих умовах, цю групу сталей називають хромансиль.

Головним легуючим елементом в цих сталях є марганець. Завдяки присутності в сталі більш сильного карбідоутворюючого елемента, тобто хрому, марганець повністю знаходиться в твердому розчині і зміцнює його без помітного зменшення пластичності.

Хром і марганець, що знаходяться в твердому розчині, знижують дифузійну рухливість вуглецю і спільно з кремнієм підвищують тривалість існування аустеніту і прогартовність сталей, в результаті чого високі механічні властивості зберігаються по всьому перетину масивних (з товщиною стінок до 80...100 мм) виливків.

Виливки з цієї групи сталей характеризуються грубозернистою будовою після первинної кристалізації, неоднорідністю структури і непостійністю властивостей в різних частинах вилівка. Отже, високі механічні властивості і однорідну структуру металу досягають тільки після термічної обробки.

На рис. 2.2 показана зміна мікроструктури сталі 30ХГСЛ додатково оброблену азотом, після перекристалізації з нагріванням.



*а – вихідна невпорядкована грубозерниста феритно-перлітна структура;
б – дрібнозерниста феритно-перлітна структура після перекристалізації
з нагріванням вище точки A_{C3} і охолодження з піччю*

Рисунок 2.2 – Мікроструктура хромомарганцевокремністої сталі 30ХГСАЛ (x200)

Сталі використовують для виготовлення литих деталей відповідального призначення, що працюють в умовах тертя, зносу і ударних навантажень. Сталі технологічні для виготовлення литих деталей складної конфігурації з товщиною стінок до 4 мм, але схильні до утворення тріщин і викривлення виливків під час твердіння і термічної обробки.

При виробництві виливків необхідно старанно дотримуватися відпрацьованого і встановленого режиму охолодження їх в опоках, відокремлювати надливу в гарячому стані або після відпалу виливків.

Хромонікелеві сталі (30ХНМЛ, 40ХНЛ, 40ХН2Л і ін.) – по комплексу механічних властивостей займають одне із перших місць серед конструкційних сталей. У машинобудуванні ці сталі використовують для виготовлення особливо відповідальних високонавантажених литих деталей машин і механізмів.

Загальний вплив хрому і нікелю проявляється в подрібненні первинного зерна при кристалізації і фазовій перекристалізації, в значному підвищенні прогартованості, при цьому сталі стають придатними для виготовлення великогабаритних виливків зі значними товщинами стінок.

Нікель в легуючих комплексі інтенсивно зміцнює ферит, зберігаючи при цьому його пластичність, і цим забезпечує поєднання високої міцності з хорошою ударною в'язкістю.

Сталі використовують для виготовлення виливків з товщиною стінок понад 100 мм, а також коли необхідно мати рівномірні механічні властивості незалежно від швидкості охолодження. Нікель істотно покращує структуру хромистих сталей (рис. 2.3) і механічні властивості металу у виливках.



*а – хромиста сталь (2,5% Cr); б – та ж сталь з 3% Ni; в – з 5% Ni
Рисунок 2.3 – Вплив нікелю на поліпшення структури хромової сталі при вторинній кристалізації металу в виливках з товщиною стінки 80 мм*

2.2 Матеріали, обладнання

Металографічний оптичний мікроскоп, шліфи із зразків конструкційних сталей в литому стані і після термообробки.

2.3 Порядок виконання роботи

1. Використовуючи довідкові дані і технологічні карти вивчити основні типи структур, способи плавки і отримання виливків з конструкційних легованих сталей.
2. Налаштувати мікроскоп для вивчення мікроструктури шліфів.
3. Вивчити мікроструктуру шліфів з конструкційних легованих сталей.
4. Результати вивчення мікроструктури занести в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Опис досліджених шліфів

№ з/п	Матеріал	Хімічний склад, %	Структурний клас	Опис мікроструктури

5. Привести дані за властивостями легованих конструкційних ливарних сталей і проаналізувати вплив хімічного складу і фазового складу на механічні властивості.

6. У звіті повинні бути вказані назва та мета роботи, наведені загальні та короткі теоретичні відомості і порядок виконання роботи. Після опису досліджених шліфів з конструкційних легованих ливарних сталей замалювати їх мікроструктуру, зазначивши на них основні структурні складові. Привести графічні залежності механічних властивостей сталі в залежності від хімічного складу. Зробити висновок про особливості структури ливарних конструкційних легованих сталей.

2.4 Контрольні питання

1. Типи ливарних легованих сталей.
2. Термічна обробка легованих ливарних сталей.
3. Марганцеві, марганцевокремністі сталі і область їх застосування.
4. Ванадієві сталі і область їх застосування.
5. Хромисті сталі і область їх застосування.
6. Хромонікелеві сталі і область їх застосування.
7. Вплив змісту легуючих елементів на механічні властивості сталей.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 РОЗРАХУНОК ШИХТИ ДЛЯ ПЛАВКИ ВУГЛЕЦЕВИХ І ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ В ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧАХ

Мета роботи: ознайомитися з основними шихтових матеріалів, що застосовуються в ливарних цехах; вивчити основні методи розрахунку шихти для плавки конструкційних сталей в електричних печах.

3.1 Загальні відомості

Плавка сталі здійснюється при високих температурах (1500...1700°C) і супроводжується складними фізико-хімічними процесами взаємодії розплаву, флюсів, шлаків, пічних і атмосферних газів, футерування печі. Методи плавки різноманітні. Вибір методу плавки і типу плавильного агрегату визначається складом і властивостями сталі, об'ємом виробництва, масою виливків, вимогами до їх якості, техніко-економічними показниками процесу. У ливарних цехах зазвичай сталь виплавляють в електричних дугових і індукційних тигельних печах. Рідше використовуються мартенівські печі й конвертори. Для виробництва сталей з особливими властивостями і високими вимогами до якості застосовуються електрошлакові, вакуумно-дугові, плазменно-дугові, електронно-променеві, індукційні вакуумні печі.

Головними особливостями різних агрегатів і способів плавки сталі є: характер вогнетривкої футеровки, спосіб досягнення високої температури, необхідної для розплавлення шихтових матеріалів і нагрівання металу, хімічний склад газового середовища в робочому просторі.

Найбільш широко в сталеливарних цехах використовуються електроречі. На їх частку припадає 90% всієї сталі, що виплавляється для виливків. Завдяки ряду принципових особливостей плавка в електричних пічах

дозволяє отримувати різноманітні за складом марки ливарних сталей з низьким вмістом кисню, сірки, фосфору та інших небажаних і шкідливих домішок. Це можуть бути пересічні вуглецеві сталі (15Л, 30Л і ін.), Конструкційні леговані (35ХМЛ, 08ГНДФЛ і ін.), Високолеговані зі спеціальними властивостями (12Х18Н9ТЛ, 40Х24Н12СЛ і ін.).

Переваги електросталеплавильних печей в порівнянні з іншими пов'язані з використанням для нагріву металу електричної енергії. Виділення тепла в електропечах відбувається або металі, що нагрівається, або в безпосередній близькості від його поверхні. Це дозволяє в порівняно невеликому обсязі сконцентрувати значну потужність і нагрівати метал з великою швидкістю до високих температур і, якщо буде потрібно, аж до температур кипіння. Витрата тепла і зміна температури металу при електричній плавці досить легко контролюється і регулюються. Найбільше застосування для виплавки сталі в ливарних цехах знайшли кислі і основні дугові електропечі місткістю від 3 до 50 т і продуктивністю від 1,6 до 11,4 т/год.

При виплавці сталі в будь-якому агрегаті перед плавильником стоять два основних завдання: отримання заданої маси рідкої сталі певного хімічного складу і забезпечення необхідної температури. Перше завдання включає в себе рафінування металу, розкислення і легування, а друга, в разі електроплавки, реалізується за рахунок тепла електричної дуги без особливих труднощів.

В основних дугових печах виплавляють близько 35% усієї сталі для виливків (20% високомарганцовистої, 5% високохромистої і хромонікелевої, решта – відповідальні марки вуглецевої і низьколегованої). Способів плавки в основних печах кілька, а в кислих печах процес плавки ведуть або методом переплавки, або з окислюванням шихти.

Індукційні печі знайшли широке застосування при виплавці сталі в цехах дрібного литва. Промисловість випускає високочастотні печі (100...200 кГц), середньої частоти (500...1000 Гц), промислової частоти (50 Гц). Для перетворення частоти застосовуються обертові (ВПЛ) і тиристорні (ТПЧ) перетворювачі частоти. Останні забезпечують істотну економію витрат внаслідок компактності розташування плавильного агрегату, а також зниження шуму в цеху. Печі середньої частоти дозволяють збільшувати потужність, що підводиться в порівнянні з печами промислової частоти, що призводить до зниження часу расплавлення шихти.

У табл. 3.1 представлені рекомендації по вибору плавильного агрегату для плавки різних сталей.

Шихтові матеріали класифікують на:

- металева шихта: доменний чавун, чавунний і сталевий брухт, відходи власного виробництва, легуючі добавки;
- феросплави, рафінуючі і добавки, карбюрізатори;
- спеціальні добавки;
- паливо;
- флюси.

Таблиця 3.1 – Вибір плавильного агрегату для виплавки сталей

Плавильний агрегат	Джерело тепла	Галузь застосування
Дугова електропіч з кислою футеровкою	Електрична дуга	Вуглецеві і низьколеговані сталі для виливків різного призначення
Дугова електропіч з основною футеровкою	Електрична дуга	Вуглецеві, низько-, середньо-, високолеговані сталі для виливків відповідального і особливо відповідального призначення
Індукційна піч з кислою або основною футеровкою	Вихрові струми	Вуглецеві і леговані сталі для дрібних і середніх виливків різного призначення
Вакуумно-дугова піч	Електрична дуга	Для виливків зі спеціальних сталей
Вакуумно-індукційна піч	Вихрові струми	Для виливків спеціального призначення з легованих сталей
Плазменно-дугова піч	Плазмова	Для переплавки високолегованих сталей і тугоплавких сплавів
Електронно-променева піч	Факел	Те саме

В якості металевої шихти використовують первинні (доменні чавуни, феросплави, лігатури і чисті метали) і вторинні (відходи, що утворюються в процесі виробництва і обробки заготовок, невиправний брак виробів (повернення власного виробництва), сталевий і чавунний лом і стружка).

Доменні чавуни поставляються у вигляді чушок товщиною не більше 30 мм (в місці пережиму), масою: 18 кг (без пережиму); 30 кг (з одним пережимом); 45 кг (з двома пережимами). Поверхня чушок повинна бути чистою (допускається наліт вапна і графіту). Доменний чавун отримують доменним процесом із залізної руди при відновленні заліза вуглецем коксу. В даний час в ливарних цехах використовуються ливарні і переробні доменні чавуни.

Згідно ГОСТ 4832–80 виробляють нерафіновані ливарні чавуни шести марок і рафінований магнієм семи марок. Технологічні властивості передільних чавунів регламентує ГОСТ 4805–80. Залежно від призначення переробний чавун виготовляють марок П1 і П2 для сталеплавильного виробництва; ПЛ1 і ПЛ2 для ливарного виробництва; також отримують фосфористий чавун марок ПФ1, ПФ2, ПФ3 і переробний високоякісний чавун марок ПВК1, ПВК2, ПВК3.

Переваги застосування передільних чавунів перед ливарними: зменшується вартість металошихти; скорочується витрата коксу; механічні властивості чавуну вище, ніж на ливарному чушковому чавуні на 5...10%. При використанні передільних чавунів замість ливарних в шихту необхідно вводити феросиліцій з невеликим вмістом кремнію.

Феросплави – це сплави заліза з одним або декількома легуючими елементами, які використовуються для коригування хімічного складу по кремнію, марганцю, хрому, нікелю і інших легуючих елементів, а також для модифікування чавуну.

Феросиліцій (ГОСТ 1415–93) найбільш часто застосовують при виплавці та позапічної обробки чавуну і сталі для виливків. Низькокремністи марки використовують для підшихтовки в процесі плавки, висококремністі – для розкислення сталей і модифікування чавунів. Феромарганець застосовують при виплавці чавунів для підшихтовки і для розкислення сталей. Для отримання низьковуглецевих сталей з низьким вмістом фосфору в шихту вводять дорогі низьковуглецеві сплави, аж до металевого марганцю. При виробництві комплексно-легованих сталей в багатьох випадках виявляється доцільним використання феросилікомарганцю

Ферохром застосовується тільки для легованих чавунів і сталей.

Хімічний склад ферохрому регламентує ГОСТ 4757–91. Для одночасного легування сталі кремнієм і хромом в ливарному виробництві використовується ферросілікохром.

При виробництві легованих сталей і чавунів використовують і інші феросплави: ферровольфрам, ферротитан, фероніобій, феррованадій, ферромолібден, ферробор, феррофосфор і ін.

Підготовка металевих шихтових матеріалів. Феросплави надходять в ливарні цехи у вигляді шматків, на замовлення підприємства в подрібненому вигляді. Майже всі феросплави є немагнітними матеріалами. Великий чавунний лом розбивають під копром. Стружку брикетують. Повернення очищають від залишків формувальної суміші.

Вторинні чорні метали складають значну частину складу шихти. Відповідно до ГОСТу 2787–86 їх поділяють:

- на класи за змістом вуглецю (сталевий брухт та відходи; чавунний лом і відходи);
- на категорії за наявності легуючих елементів (А – вуглецеві і Б – леговані);
- на 25 видів за показниками якості;
- на 67 груп по утриманню легуючих елементів.

Спеціальні добавки вводяться в піч при плавці для коригування хімічного складу сплаву, або для поліпшення властивостей шлаку. Наприклад, для коригування складу чавуну за вуглецем вводять добавки, що навуглержують – карбюрізатори, в якості яких використовують кокс, кам'яне вугілля, електродний бій і графітизованого порошок.

Основним завданням розрахунку шихтових матеріалів є встановлення такого співвідношення компонентів шихти, яке забезпечує отримання сплаву необхідного хімічного складу при мінімальній його вартості.

Вихідними даними для розрахунку шихти служать:

- необхідний хімічний склад сплаву в литві;
- склад, витрата і коефіцієнт засвоєння модифікатора (в разі його застосування);

- тип плавильного агрегату;
- характер футерування печі.

Розрахунок шихти виконують в декілька етапів.

На першому етапі визначають розрахунковий хімічний склад сталі. Для цього, перш за все, встановлюють регламентовані ГОСТ 977–88 або технічні вимоги, яким повинна відповідати марка сталі, що виплавляється, за змістом основних елементів і контрольованих домішок. У багатьох легированих сталях обмежують макисмальний вміст легуючих елементів, які мають негативний вплив на фазовий склад сталі, її механічні та експлуатаційні властивості.

Розрахунковий склад сталі представляють у вигляді двосторонніх або односторонніх нерівностей

$$E_i^H \leq E_i \leq E_i^B; \quad (3.1)$$

$$E_i \leq E_i^B; \quad (3.2)$$

$$E_i^H \leq E_i; \quad (3.3)$$

$$D_k \leq D_k^B, \quad (3.4)$$

де E_i – зміст i -того основного розрахункового елемента в сталі, % (по масі);

E_i^H і E_i^B – нижній і верхній допустимі (або доцільні) межі вмісту i -того розрахункового елемента відповідно, % (по масі);

D_k і D_k^B – зміст k -тої домішки і верхня межа її припустимого вмісту в сталі, % (по масі).

Нерівності виду (3.1-3.3) складають по всіх основних компонентів сталі. Нерівності виду (3.4) складають для всіх домішкових елементів, якими в ливарних сталях зазвичай є фосфор і сірка, а в нержавіючих сталях і вуглець.

При розрахунку шихти для виплавки сталі в дугових печах необхідно враховувати обраний варіант плавки.

На другому етапі складають перелік шихтових матеріалів, які можна (або обов'язково потрібно) використовувати при виплавці сталі заданої марки. До цього переліку обов'язково входять сталевий брухт та повернення виробництва. Крім того, в цей перелік для забезпечення вимог щодо змісту вуглецю, кремнію і марганцю включають карбюрізатори (чавун переробний, бій графітових електродів кокс), феросиліцій і феромарганець.

На третьому етапі встановлюють ступінь засвоєння елементів з шихтових матеріалів і розраховують їх наведений хімічний склад, тобто визначають кількість кожного розрахункового елемента, яка за вирахуванням угару переходить в рідкий метал з усіх компонентів шихти.

Наведений хімічний склад шихтових матеріалів відрізняється від вихідного, так як враховується тільки ефективний, засвоюваний рідкою сталлю зміст елементів. Тому приведений зміст кожного елемента менше вихідного на величину його угару

$$E_{ij,пр} = E_{ij} - \Delta E_{ij}, \quad (3.5)$$

де E_{ij} и ΔE_{ij} – початковий зміст розрахункового елемента E_i в j -тому компоненті шихти і його зміна в процесі плавки сталі, %;

$E_{ij,пр}$ – приведений зміст розрахункового елемента E_i в j -тому компоненті шихти, %.

Угар елементів зазвичай виражають у відсотках

$$Y_{\Delta ij} = \frac{\Delta E_{ij}}{E_{ij}} \cdot 100. \quad (3.6)$$

С урахуванням (3.6) з (3.5) отримуємо

$$E_{ij,пр} = E_{ij} \frac{100 - Y_{E_{ij}}}{100} = E_{ij} K_{E_{ij}}, \quad (3.7)$$

де $K_{E_{ij}}$ – коефіцієнт засвоєння елемента E_i з j -того компонента шихти.

На наступних етапах складають і розв'язують рівняння, які дозволяють розрахувати зміст основних легуючих елементів, зміст контрольованих домішок, кількість шихтових матеріалів, а також рівняння, що накладають обмеження на вміст певних домішок.

Вибір методики розрахунку шихти визначається типом плавильного агрегату, в якому здійснюється плавка металу, його футерування, а також залежить від типу сплаву. Серед найбільш часто використовуваних методів розрахунку шихти є метод підбору, аналітичний метод, графічний метод та ін. Більш детально різні методики з розрахунку шихти для плавки сталей описані в [1, 2].

3.2 Матеріали, обладнання

Марочник сталей, креслення виливка, що проектується, хімічний склад шихтових матеріалів.

3.3 Порядок виконання роботи

1. Дати характеристику сталі, з якої виготовляється вилівок в курсовому проекті з дисципліни «Технологія ливарної форми»: хімічний склад, призначення, структура. Призначити технологічні операції з виготовлення виливки: складальні процеси і фінішні операції.

2. В якості плавильного агрегату для плавки вибрати той, який був розрахований в курсовому проекті «Печі ливарних цехів». Привести в роботі схему печі і описати її основні вузли.

3. Виконати розрахунок шихти для виплавки сталі. Обґрунтувати необхідність застосування того чи іншого методу розрахунку шихти. Виконати відповідні розрахунку і представити отримані дані.

4. У звіті повинні бути вказані назва та мета роботи, наведені загальні та короткі теоретичні відомості і порядок виконання роботи. Привести опис сталі, з якої виготовляється виливок, а також описати плавильний агрегат для виплавки сталі. Зробити розрахунок шихти і представити його в звіті. Зробити висновок про особливості процесу плавки ливарних сталей і впливу способу плавки на її властивості.

3.4 Контрольні питання

1. Типи плавильних агрегатів для плавки ливарних сталей.
2. Шихтові матеріали для плавки сталей.
3. Футерувальні матеріали для плавильних агрегатів.
4. Технологічні процеси отримання рідкої сталі.
5. Особливості плавки конструкційних ливарних сталей і сталей із спеціальними властивостями.
6. Принципи розрахунку шихти для плавки сталей.
7. Розкислення, легування і модифікування ливарних сталей.
8. Позапічна обробка рідкої сталі.

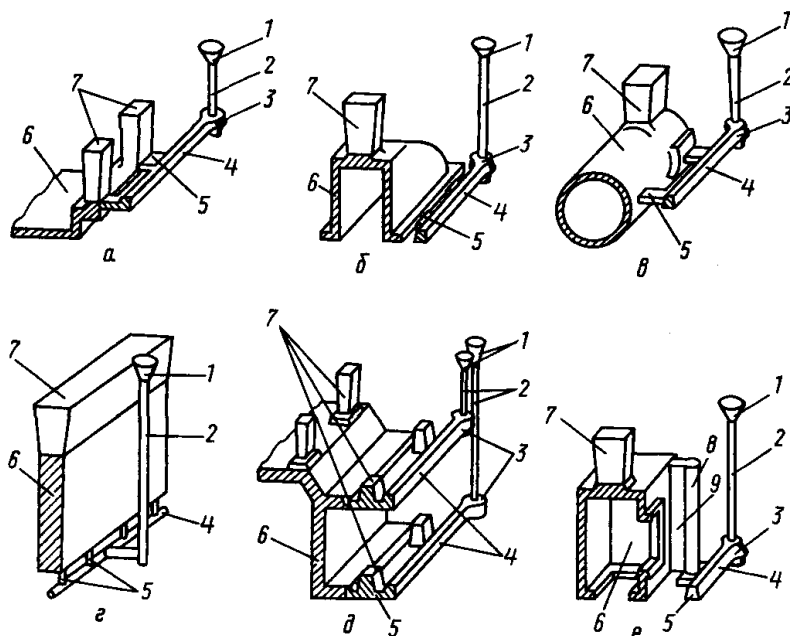
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЛИВНИКОВО-ЖИВИЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЯКІСНИХ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ

Мета роботи: ознайомитися з основними типами ливникових систем для виготовлення сталевих виливків; оволодіти навичками розрахунків розмірів елементів ливникових систем.

4.1 Загальні відомості

Ливникова система – це система каналів і елементів ливарної форми для підведення розплавленого металу в порожнину форми, забезпечення її заповнення та живлення вилівка при твердінні. У сталевому литті застосовують ливникову систему, що складається в найпростішому варіанті з наступних елементів (рис. 4.1): ливникової лійки 1, стояка 2, зумпфа 3, лив-

никового ходу 4, живильника 5 і надливу 7. У більш складних випадках вона може включати також зворотний стояк 8, щілинний живильник 9 і випор 10.



*а – верхня; б – нижня; в – середня; г – сифонна; д – ярусна;
 е – вертикально-щілинна;
 1 – ливникова лійка; 2 – стояк; 3 – зумпф; 4 – ливниковий хід;
 5 – живильник; 6 – виливок; 7 – надлив; 8 – зворотний стояк;
 9 – щілинний живильник; 10 – випор*

Рисунок 4.1 – Типи і елементи ливникових систем

Ливникова лійка призначена для приймання розплавленого металу з ливарного ковшу та напрямки його в стояк. Стояк є вертикальним або похилим каналом для подачі розплавленого металу з ливникової лійки до інших елементів ливникової системи або безпосередньо в порожнину форми. Ливниковий хід – це горизонтальний розподільний канал, призначений для подачі розплавленого металу з стояка до живильників. Зумпф – це поглиблення під стояком, призначене для ослаблення розмиваючого впливу на форму падаючого струменя рідкого металу на початку заповнення стояка. Живильник являє собою канал для підведення розплавленого металу від литникового ходу до порожнини ливарної форми. Випор – це канал для виведення газів з форми і контролю заповнення її розплавленим металом.

За гідродинамічними ознаками розрізняють ливникові системи які звужуються, розширюються і рівного перетину.

У ливникових системах, що звужуються сумарні площі перетину елементів послідовно зменшуються від стояка до ливникового ходу і живильнику. У таких ливникових системах всі канали повністю заповнені розплавом. Це створює сприятливі можливості для спливання шлакових і піщаних частинок в горизонтальних каналах ливникової системи. Однак при

звуженні каналів швидкість потоку розплаву зростає і це створює труднощі забезпечення спокійного заповнення форми.

У ливникових системах, що розширюються сумарні площі перетину їх елементів послідовно збільшуються від стояка до ливникового ходу і живильника. У таких ливникових системах швидкість потоку розплаву в каналах поступово знижується, і рідкий метал надходить в порожнину форми спокійно, без розбризкування. При розливання сталі з стопорних ковшів, коли струмінь розплаву потрапляє в форму з великою швидкістю, вимога спокійного заповнення стає визначальною. Тому ливникові системи, що розширюються застосовують насамперед при виготовленні великого і здебільшого середнього сталевих лиття. Однак в цьому випадку виникає небезпека неповного заповнення каналів ливникової системи, особливо ливникового ходу і живильників.

У ливникових системах рівного перетину сумарні площі всіх елементів однакові. Їх застосовують в умовах стопорного розливання при виробництві великих сталевих виливків, коли канали ливникової системи виконують з використанням складових нормалізованих керамічних виробів у вигляді воронки, трубок, трійників, зірочок і щілинних живильників.

За конструкцією ливникові системи класифікують на верхню, нижню, бокову, ярусну і комбіновану.

При конструюванні ливникової системи необхідно дотримуватися ряду правил, спрямованих на забезпечення вимог до ливникових систем:

1) протяжність каналів ливникової системи повинна бути мінімальною і рідкий метал необхідно підводити до порожнини форми найкоротшим шляхом;

2) потік металу, що підводиться в порожнину форми, повинен бути спрямований уздовж стінки виливки або дотично (тангенціально) до неї, але ніяк не перпендикулярно до поверхні стрижня або стінки форми;

3) підведення металу повинно забезпечувати односторонній рух металу в формі;

4) небажано розміщувати елементи ливникової системи поблизу знаків стрижнів (через погіршення умов газовідводу з форми) і холодильників (через зниження ефективності їх роботи), а також жеребійок (через небезпеку їх проплавлення і обумовленого цим зміщення стрижня);

5) підведення металу здійснюють в найбільш масивну частину виливка, якщо товщина його стінки розрізняється незначно, і, навпаки, метал підводять до тонких стінок, якщо їх товщини істотно розрізняються.

Вибір ливникової системи визначається конструкцією самого виливка. Надзвичайно важливо поєднати цей процес з процесом вибору роз'єму форми і передбачити, щоб масивні частини виливка, що вимагають живлення з надливу, розташовувалися вгорі, а протяжні плоскі стінки похило або вертикально.

У сталевому литві найбільш часто застосовують нижню (для невисоких виливків) або ярусні (для виливків середньої і великої висоти) ливникові системи. При малій товщині стінки виливка краще застосовувати вертикально-

щілинну ливникову систему. Якщо виливок знизу не має горизонтальної стінки, то замість нижньобокової застосовують сифонну ливникову систему. Причому живильник може охоплювати весь нижній контур виливка, трансформуючись у щілинний живильник. Комбіновану ливникову систему вибирають, якщо різні частини виливки вимагають різних умов заповнення.

Якщо можливо технологічно, то доцільно застосовувати ливникові системи, що містять елементи нижнього або сифонного підведення металу, які забезпечують заповнення порожнини форми під затоплений рівень. У цьому випадку навіть при застосуванні ливникових систем, що розширюються, ливниковий хід і живильники виявляються завжди заповненими, як при використанні ливників, що звужуються. Тому, за умови заповнення порожнини форми рідким металом під затоплений рівень, у всіх випадках слід застосовувати ливникові системи, що розширюються і співвідношення площ перетинів елементів витримувати в наступних межах:

$$\Sigma F_{\text{ст}} : \Sigma F_{\text{лх}} : \Sigma F_{\text{жив}} = (1:1,3:1,5) \dots (1:1,5:2).$$

При виготовленні великих сталевих виливків відповідального призначення канали ливникові системи виконують з вогнетривких трубок. При цьому площі елементів ливникової системи приймають однаковими або кратними:

$$\Sigma F_{\text{ст}} : \Sigma F_{\text{лх}} : \Sigma F_{\text{жив}} = (1:1:1) \dots (2:2:2).$$

Якщо за технологічними умовами не вдається сконструювати ливникову систему з підведенням рідкого металу в нижні горизонти виливка, а заливання здійснюється з поворотного ковша, то ливникову систему виконують такою, що звужується. Такі ситуації можуть виникати при виготовленні дрібного і, частково, середнього лиття. У цих випадках зазвичай рекомендують наступне співвідношення площ перетинів елементів ливникової системи:

$$\Sigma F_{\text{ст}} : \Sigma F_{\text{лх}} : \Sigma F_{\text{жив}} = (1,1:1,05:1) \dots (1,4:1,2:1).$$

Для зниження швидкості потоку рідкого металу на вході в порожнину форми, особливо при використанні ливникових систем, що звужується, живильники виконують у вигляді розтрубів зі збільшенням площі вихідного перетину в 1,2...1,3 рази.

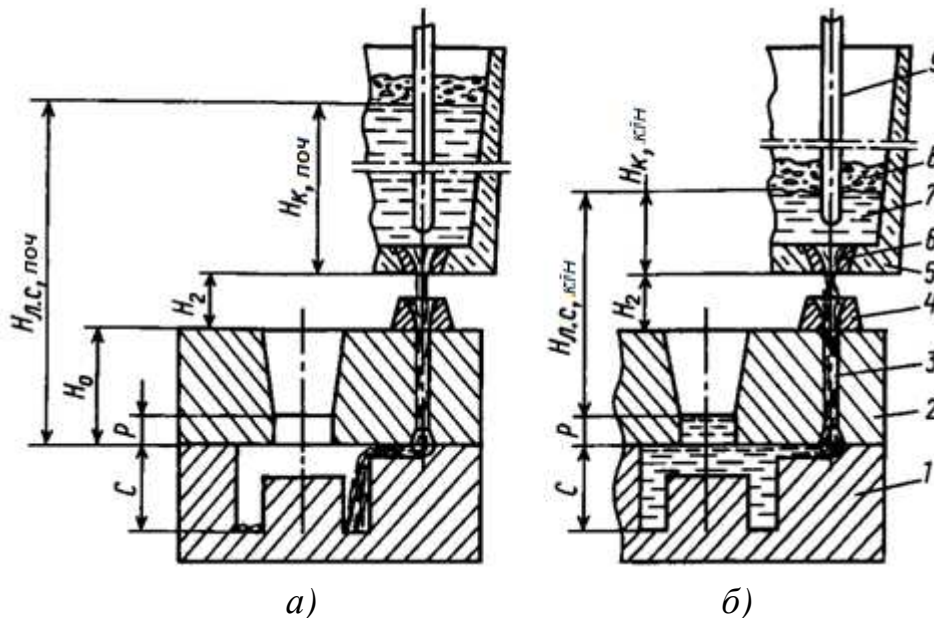
При заливанні з стопорного ковша, на відміну від заливки з поворотного ковша, напір рідкої сталі в ньому змінюється в процесі заповнення форми. У цьому випадку має місце змінний натиск і в ковші, і в ливарній формі. Причому ківш як гідравлічний пристрій діє автономно, але ливникова система ливарної форми повинна діяти узгоджено з ковшем.

На початку розливання статичний напір рідкого металу, що дорівнює $H_{\text{к.поч}}$, завжди більше, ніж в кінці $H_{\text{к.кін}}$. Відповідно витрата його з ковша максимальний на початку розливання $q_{\text{к max}}$ і мінімальний в кінці її $q_{\text{к min}}$.

На початку розливання ливарна форма також заповнюється розплавом під найбільшим статичним напором (рис. 4.2, а):

$$H_{л.с.поч.} = H_0 + H_2 + H_{к.поч.}, \quad (4.1)$$

де H_2 і $H_{к.поч.}$ – відстань від верхнього горизонту форми до вихідного зрізу стопорного отвору і початкова висота розплаву в ковші відповідно, м.



а – початок заповнення; *б* – закінчення заповнення
 1 – нижня півформа; 2 – верхня півформа; 3 – ливникова система;
 4 – воронка надставна; 5 – ківш; 6 – стопорний стакан;
 7 – рідкий метал; 8 – шлак; 9 – стопор

Рисунок 4.2 – Схема для визначення розрахункового напору рідкої сталі при заливанні форм з стопорного ковша на початку (а) і наприкінці (б) заповнення порожнини вилівка у формі

В кінці розливання статичний напір металу стає найменшим (рис. 4.2, б):

$$H_{л.с.кін.} = (H_0 - P) + H_2 + H_{к.кін.}, \quad (4.2)$$

де $H_{к.кін.}$ – кінцева висота розплаву в ковші, м.

Відповідно витрата розплаву в литниковій системі також максимальний на початку $q_{л.с.} = q_{л.с.маx}$ і мінімальний в кінці розливання $q_{л.с.} = q_{л.с.мін.}$ З умови злагодженої роботи ковша і ливникової системи форми слідує

$$q_{к.маx} = q_{к.мін.}, \quad (4.3)$$

де

$$q_{к.маx} = \mu_{к.ст} F_{к.ст} \sqrt{2g H_{к.поч.}}, \quad (4.4)$$

$$q_{л.с.мін.} = \mu_{л.с.} F_{л.с.мін.} \sqrt{2g H_{л.с.кін.}}, \quad (4.5)$$

де μ_k и $\mu_{л.с}$ – коефіцієнти витрати для стопорного стакану ковша і ливникової системи відповідно;

$F_{к.ст}$ и $F_{л.с.min}$ – площі перетинів отвору стопорного стакану і вузького місця ливникової системи відповідно, м².

З виразів (4.3 ... 4.5) слід:

$$F_{к.ст} = F_{л.с.min} (\mu_{л.с}/\mu_k) \sqrt{H_{л.с.кін} H_{к.поч.}} \quad (4.6)$$

Площу перетину вузького місця ливникової системи знаходять за формулою (4.7):

$$F_{л.с.min} = \sum F_{вузьк} = \frac{M_p}{\mu_{л.с} \tau_{опт} \rho_p \sqrt{2g H_p}}, \quad (4.7)$$

где M_p – розрахункова маса рідкого металу, кг;

ρ_p – щільність рідкого металу, кг/м³;

$\mu_{л.с}$ – коефіцієнт витрати ливникової системи;

$\tau_{опт}$ – оптимальна тривалість заповнення форми, с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

H_p – розрахунковий напір металу, м.

Ливникову воронку виконують у вигляді усіченого конуса, перевернутого основою вгору. При цьому нижнім перетином ливникова воронка з'єднується з верхнім перетином стояка $d_{в.н.} = d_{ст.в.}$. У сталевому литті використовують воронки середньої конусності, з відношенням верхнього діаметра до нижнього $d_{в.в.}/d_{в.н} = 2... 3,7$, причому зі збільшенням розміру стояка це співвідношення зменшується. Так, максимальне значення використовують при діаметрі стояка $d_{ст.в} = 35$ мм, а мінімальна при $d_{ст.в} = 80$ мм. Висоту воронки зазвичай виконують рівної верхньому діаметру $h_v = d_{в.в.}$.

Стояк виконують циліндричним з невеликим формувальним ухилом в сторону вилучення моделі стояка. Діаметр нижнього перетину стояка визначають по розрахованій площі його перетину:

$$d_{ст.н.} = \sqrt{\frac{4 \sum F_{ст}}{\pi n_{ст}}},$$

де $n_{ст}$ – кількість стояків, зазвичай $n = 1$, але при виробництві великого лиття при розливанні одночасно з двох стопорних ковшів число стояків може досягати чотирьох.

Ливниковий хід може мати кілька гілок і в ливниковій системі може бути розташовано декілька живильників для кращого живлення виливки. Площа кожного з елементів розраховується за такими формулами:

$$F_{л.х} = \sum F_{л.х} / n_{л.х},$$

$$F_{ж} = \sum F_{п} / n_{ж},$$

де $n_{л.х.}$ – кількість гілок ливникового ходу, яке стає відомою після розміщення виливка або виливків у формі відповідно до загальних правил конструювання ливникової системи;

$n_{ж.}$ – кількість живильників в ливарній формі.

Профілі перетинів даних елементів ливникової системи можуть мати різну форму: квадратні, трапецієвидні, напівкруглі і ін. Залежно від їх геометричної форми розраховуються геометричні розміри каналів.

4.2 Матеріали, обладнання

Креслення виливка, що проектується, номограми для визначення розмірів елементів ливникової системи.

4.3 Порядок виконання роботи

1. Для розрахунку розмірів ливникової системи вибрати виливок, технологія виготовлення якого була розроблена в курсовому проекті з дисципліни «Технологія ливарної форми».

2. Всі розрахунки виконати із застосуванням формул (4.1...4.7).

3. Визначити оптимальну тривалість заливки форми рідким металом.

4. Зіставити отримані результати, з результатами отриманими в курсовому проекті з застосуванням програми Foundry.

5. У звіті повинні бути вказані назва та мета роботи, наведені загальні та стислі теоретичні відомості і порядок виконання роботи. Привести ескіз виливка, що проектується, і литниково-живильної системи для її отримання. Виконати всі необхідні розрахунки і зобразити профілі перетинів всіх елементів ливниково-живильної системи з розрахованими геометричними розмірами відповідно до ГОСТ 3.1125-88 «Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок». Зробити висновок про особливості розрахунку елементів ливниково-живильних систем для виготовлення якісних сталевих виливків.

4.4 Контрольні питання

1. Елементи ливникових систем та їх типи.

2. Правила конструювання ливникових систем.

3. Ливникові системи для виготовлення сталевих виливків.

4. Розрахунок розмірів елементів систем літників при заливці форм з поворотного і стопорного ковшів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями проектування ливарної технології виготовлення сталевих виливків; вивчити основні принципи розробки робочих креслень з елементами ливарних форм; розробити технологічний процес виготовлення сталевих виливків і заповнити технологічну карту.

5.1 Загальні відомості

Підставою для розробки технологічного процесу виготовлення виливка є замовлення і креслення деталі. Після аналізу замовлення технолог-ливарник приступає до аналізу технологічності конструкції литої деталі і, з урахуванням технічних вимог, висунутих до деталі або виливка, приступає до розробки технологічного процесу. При цьому технолог вирішує такі основні питання:

- вибір способу виготовлення виливка;
- вибір положення виливка у формі при заливанні і поверхні роз'єму моделі і форми;
- визначення норм точності виливка (класів точності розмірів і маси, допусків розмірів і маси і т. д.);
- визначення непроливних елементів виливка;
- проектування стрижнів;
- проектування надливів, випорів і ливникової системи;
- проектування модельного комплекту;
- вибір способу виготовлення ливарної форми і стрижнів;
- визначення способу збирання ливарної форми і ін.

Технологічний процес виготовлення виливка включає в себе розробку наступної основної графічної і текстової документації. Незалежно від серійності виробництва, основним кресленням при розробці технологічного процесу є креслення «Елементи ливарної форми» (ЕЛФ). Це креслення являє собою креслення деталі з нанесеними ливарно-технологічними вказівками. Виконується він відповідно до вимог ГОСТ 3.1125–88 «Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок». В умовах індивідуального і дрібносерійного виробництва креслення ЕЛФ виконується за ксерокопією креслення деталі. На кресленні ЕЛФ наносяться наступні ливарно-технологічні вказівки:

- положення виливка у формі при заливці і твердінні виливка;
- поверхня роз'єму моделі і форми;
- припуски на механічну обробку, непроливні і додаткові елементи виливка, формувальні ухили;

- зображення і позначення стрижнів і всіх елементів, що відносяться до стрижнів;
- зображення елементів ливниково-живильної системи;
- додаткові елементи (жеребейки, холодильники, стяжки, усадочні ребра, піднадливні напуски, проби для випробувань та ін.);
- інші ливарні вказівки.

Розробці технологічного процесу виготовлення виливки передуює етап опрацювання на ливарну технологічність. Технологічною вважається така конструкція виливки, яка дозволяє отримувати її заданої якості при мінімальних трудових, матеріальних і енергетичних витратах і мінімальній вартості. Розробка технологічного процесу починається з вибору найбільш раціонального положення виливка у формі під час її заливки і твердіння.

Далі вибирається положення виливка у формі. Вибором правильного положення виливка у формі керують такі чинники технологічного процесу, як умови живлення виливка, конфігурація модельного комплексу, наявність і кількість стрижнів, розміри ливарної форми, спосіб і обладнання для виготовлення форм і інше. Як, правило, для конкретного виливка можливо кілька варіантів положення його в формі. Кожен з цих варіантів має свої переваги і недоліки, і тому технолог на підставі аналізу можливих варіантів вибирає оптимальне положення виливка у формі при заливці.

Від вибору поверхні роз'єму форми залежить роз'єм моделі, її конструкція, необхідність застосування стрижнів, їх кількість і конструкція, величина формувальних ухилів, висота півформ і форми в цілому, обладнання для виготовлення форм і цілий ряд інших параметрів процесу лиття. Для виливка можливо кілька варіантів поверхні роз'єму. Технолог-ливарник, порівнюючи можливі варіанти, обирає оптимальний.

Після завершення вищевказаних операцій визначаються норми точності виливка і величини припусків на механічну обробку згідно ГОСТ 26645–85 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку». Отримати виливок точно з зазначеними на конструкторському кресленні деталі розмірами в більшості випадків не представляється можливим. Найчастіше розміри на реальних виливках можуть відхилятися від зазначених на кресленні, як в більшу, так і меншу сторони. Тому, для того щоб встановити, чи відповідає отриманий виливок вимогам технічних умов, встановлюють норми точності виливка. Норми точності встановлюються на виливок в цілому, або на його окремі поверхні і розміри. Точність виливка характеризується класом розмірної точності, ступенем короблення, ступенем точності поверхні і класом точності маси. Обов'язковими для застосування є два показники: клас точності розмірів і клас точності маси виливка.

На кресленні ЕЛФ вказуються непроливні і додаткові елементи виливки. Непроливними елементами виливки називають такі елементи деталі, які не отримують в литві. Непроливні елементи виливка зображують на кресленні ЕЛФ на мінімальному, але достатньому числі проекцій шляхом перекреслення тонкою лінією, яку допускається наносити червоним кольо-

ром. Додаткові елементи виливка вводяться технологом в конструкцію деталі додаткові елементи (стяжки, цапфи, проби для хімічного аналізу металу, приливні проби для механічних випробувань і ін.). Зображують додаткові елементи в масштабі креслення суцільною тонкою лінією, яку допускається наносити червоним кольором. На полиці лінії-виноски робиться напис, що вказує призначення додаткового елемента.

Проектування стрижнів включає в себе вирішення наступних основних завдань:

- вибір кількості і границь стрижнів у виливку;
- визначення методів фіксації стрижнів у ливарній формі і розрахунків величини знаків стрижнів;
- визначення ухилів знакових частин і зазорів між знаками стержня і знаковими частинами ливарної форми;
- визначення розмірів стрижневих ящиків і напрямки набивання стрижня;
- визначення напрямку виведення повітря і газів з стрижня.

При визначенні числа стрижнів і їх границь слід враховувати конфігурацію і габаритні розміри виливка. При цьому на границі і кількість стрижнів впливає серійність виробництва, положення виливка у формі, поверхня роз'єму форми і цілий ряд інших чинників. Проектування стрижнів починається з нанесення зовнішнього контуру кожного стержня і границь між ними. При цьому проектування ведуть в два етапи. Спочатку роблять принципові намітки щодо визначення зовнішніх обрисів стержня і уточнюють контур кожного стрижня. Положення стрижня у формі фіксується його знаками, тобто опорними частинами стержня, що не омиваються рідким металом. Залежно від положення в ливарній формі знаки стрижнів можуть бути вертикальними і горизонтальними.

Величина знаків стрижнів визначається відповідно до вимог ГОСТ 3212–92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров».

Подальшим етапом розробки технологічного процесу виготовлення виливка є проектування і розрахунків геометричних розмірів елементів ливникової системи. Для компенсації усадки в рідкому стані і частково при затвердінні на виливках передбачають спеціальні технологічні припливи – надливи, бобишки, випора, що живлять. Надливом називається спеціальний, не передбачений кресленням литої деталі, технологічний прилив до поверхні виливки, який твердіє пізніше стінок виливка.

Надлив розташовується так, щоб метал, що зберігається в надливі в рідкому стані, міг безперервно надходити в частини виливка, що затвердіває, для компенсації зменшення їх обсягу. Процес заповнення об'ємної усадки сплаву рідким металом, що поступає їх прибутку, називається живленням виливка.

Поряд з основною функцією живлення виливка, що твердіє, надлив служить так само випором і резервуаром, в який можуть спливати продукти руйнування стінок форми, шлакові включення, неметалеві включення,

які випадково потрапили в порожнину ливарної форми. Основне призначення надливів – отримання виливка без усадочних раковин і пористості. Застосування надливів – вимушена технологічна міра, вони служать тільки на етапі виготовлення виливка, і після вони видаляються. Після визначення кількості надливів і розрахунку їх геометричних розмірів проектується випора. При заливанні форм металом до повітря, наявного в порожнині форми, додаються гази, що виділяються зі стінок форми. Обсяг повітря і газів під впливом температури рідкого металу різко збільшується. Однієї газопроникності суміші може не вистачити для їх видалення, тому встановлюють випор.

Випор – канал ливникової системи, призначений для виведення газів і повітря з порожнини форми в процесі заливки її рідким металом. Крім свого основного призначення, випор є резервуаром, куди можуть спливати шлакові та інші неметалеві включення, газові бульбашки і інші сторонні частинки, що потрапили в метал або утворилися в процесі заливки.

Випора також є сигналізаторами закінчення заливки форми металом і зменшують динамічний вплив рідкого металу на верхню напівформу. Також випора служать для живлення або підживлення металом виливка, що заливається, тоді їх називають живлячими випорами.

Подача розплаву в форму здійснюється за допомогою ливникової системи. Правильне підведення металу в форму має виключно велике значення для отримання якісної виливки, тому що будь-яка добре виготовлена форма може бути зіпсована підведенням до неї розплавленого металу. Основні принципи проектування систем літників і розрахунок їх основних геометричних розмірів були детально розглянуті в лабораторній роботі 4.

Креслення ЕЛФ доповнюється технологічною картою згідно вимогам ГОСТ 3.1401–85 «Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы литья». Основними розділами технологічної карти є наступні:

- спосіб виготовлення виливки;
- розробка технології ливарної форми (спосіб виготовлення форм і стрижнів, матеріал і форма модельного комплексу, склади формувальної і стрижневої сумішей, тип і конструкція ливникової системи);
- підготовка ливарного сплаву і заливка форм (тип плавильного агрегату, тип футерування, температура випуску сталі, способи легування і модифікування, температура заливання форми);
- фінішні операції (температура вибивання виливків, способи вибивання, обладнання для фінішних операцій та термічної обробки).

5.2 Матеріали, обладнання

Креслення деталей, нормативна документація.

5.3 Порядок виконання роботи

1. Вивчити креслення деталі, видане викладачем кожному студенту відповідно до варіанту в Додатку. Виконати ескіз деталі в звіті з лабораторної роботи. Охарактеризувати матеріал, з якого буде виготовлятися виріб. Описати конфігурацію деталі.

2. Вибрати метод і спосіб виготовлення виливка.

3. Проаналізувати технологічність конструкції литої деталі для обраного способу лиття.

4. Вибрати розташування виливка у ливарній формі.

5. Визначити поверхні, що піддаються механічній обробці і позначити на ескізі виливка оброблювані поверхні.

6. Нанести на ескіз деталі формувальні ухили і закруглення в місцях, де це необхідно.

7. Визначити кількість стрижнів, їх границі і знаки.

8. Спроекувати ливниково-живильну систему для подачі рідкого металу в форму і живлення виливка в процесі твердіння.

9. Заповнити технологічну карту процесу виготовлення виливка.

10. У звіті повинні бути вказані назва та мета роботи, наведені загальні та стислі теоретичні відомості і порядок виконання роботи. Привести ескіз деталі і нанести на неї всі необхідні елементи ливарної форми згідно з ГОСТ 3.1125–88 «Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок». Описати всі етапи роботи, зазначені в пунктах 1...8. Привести в роботі заповнену технологічну карту. Зробити висновок про особливості розробки технологічного процесу виготовлення сталевих виливків.

5.4 Контрольні питання

1. Розробка технологічного процесу виготовлення виливків.

2. Принципи оформлення креслення ЕЛФ.

3. Технологічність литих виробів.

4. Визначення норм точності виливка і величини припусків на механічну обробку.

5. Проектування стрижнів і ливниково-живильної системи.

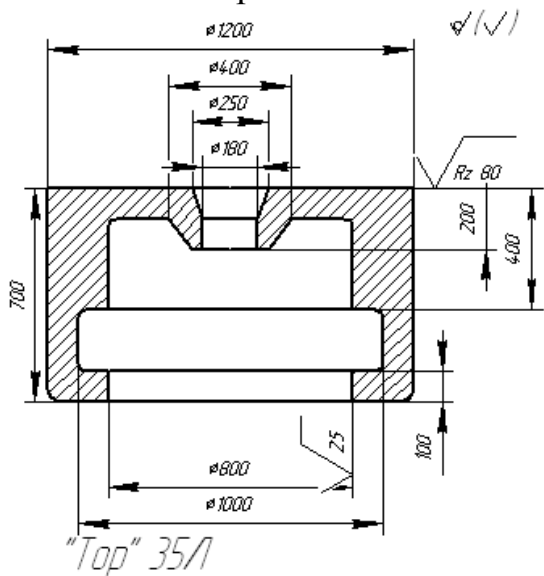
6. Принципи заповнення технологічної карти.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

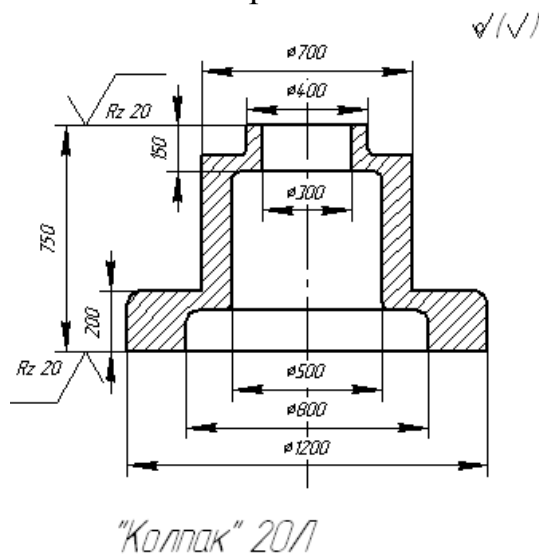
1. Стальное литье : монография / Г. Е. Федоров, М. М. Ямшинский, Е. А. Платонов, Р. В. Лютый ; ред.: Л. Н. Сыропоршневу. – К. : Випол, 2013. – 896 с.
2. Производство стальных отливок / Козлов Л. Я., Колокольцев В. М., Вдовин К. Н. и др. – М. : МИСИС, 2003. – 352 с.
3. **Можарин, В. П.** Литейное производство : учебное пособие в двух книгах. Книга 1 / В. П. Можарин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 408 с.
4. **Макаревич, О. П.** Виробництво виливків із спеціальних сталей / О. П. Макаревич, Г. Є. Федоров, Є. О. Платонов. – К. : Видавництво НТУУ „КПІ“, 2005. – 712 с.
5. **Назаратин В. В.** Технология изготовления стальных отливок ответственного назначения / В. В. Назаратин. – М. : Машиностроение, 2006. – 234 с.
6. **Голод, В. М.** Теория, компьютерный анализ и технология стального литья / В. М. Голод, В. А. Денисов ; под общ. ред. В. М. Голода. – СПб. : ИПЦ СПГУТД, 2007. – 610 с.
7. **Пикунов М. В.** Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок : учеб. пособ. для вузов — М. : МИСИС, 1997. — 376 с.
8. ГОСТ 977–88. Отливки стальные. Общие технические условия.
9. ГОСТ 3.1401–85. Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы литья.
10. ГОСТ 3.1125–88. Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок.
11. ГОСТ 26645–85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку.
12. ГОСТ 3212–92. Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров.

ДОДАТОК А
Варіанти завдань для лабораторної роботи 5

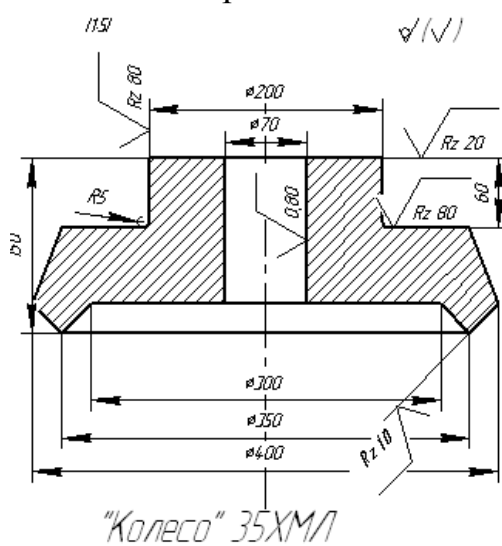
Варіант 1



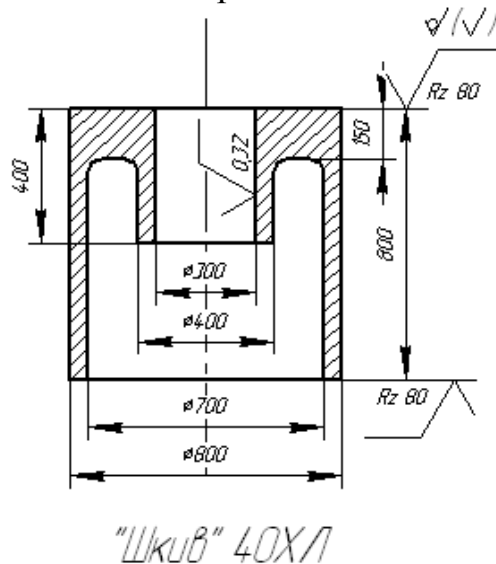
Варіант 2



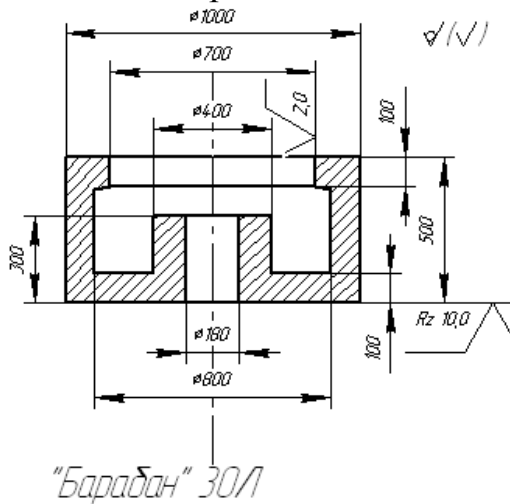
Варіант 3



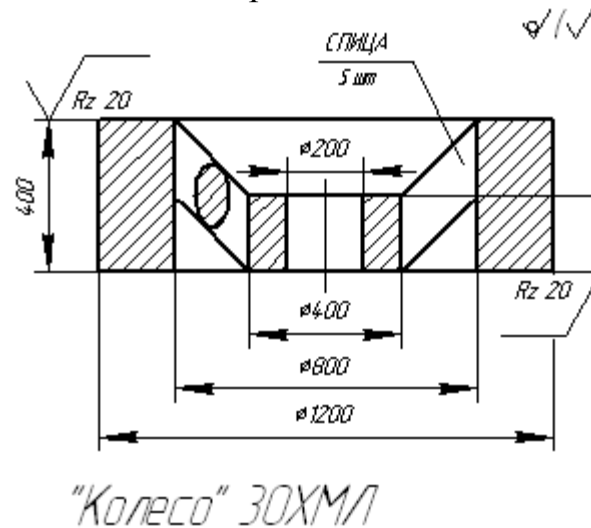
Варіант 4



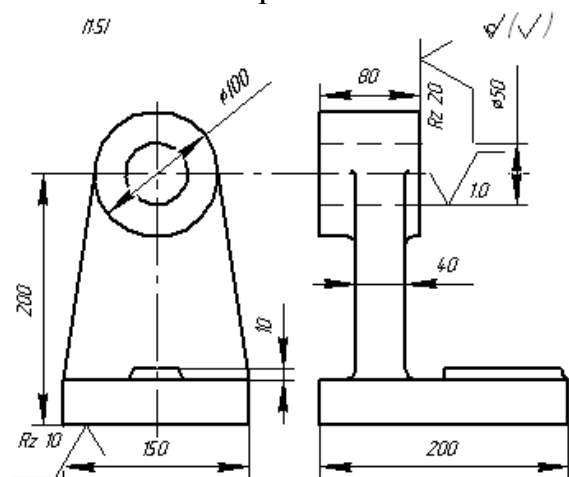
Варіант 5



Варіант 6

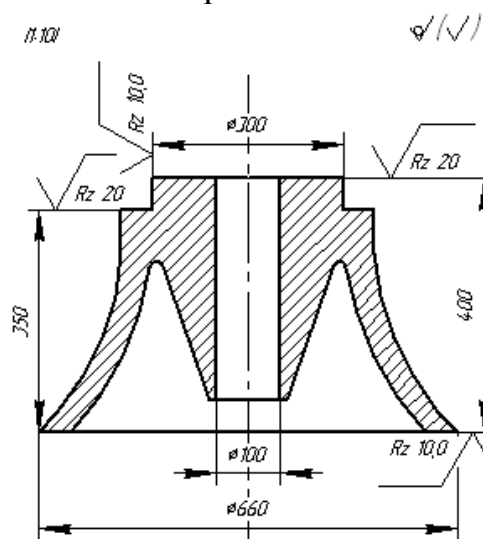


Вариант 7



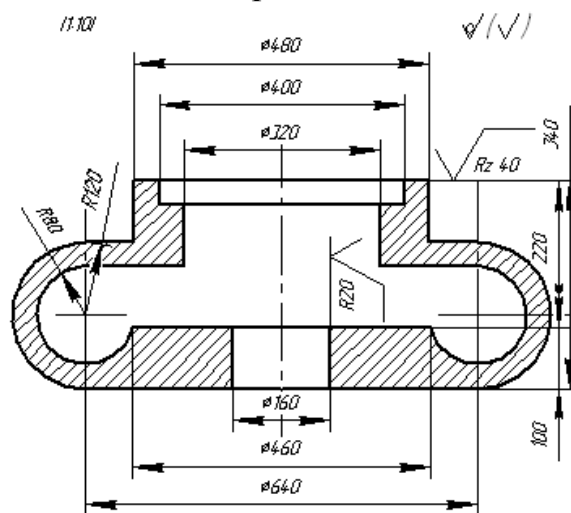
"Опора" 35Л II

Вариант 8



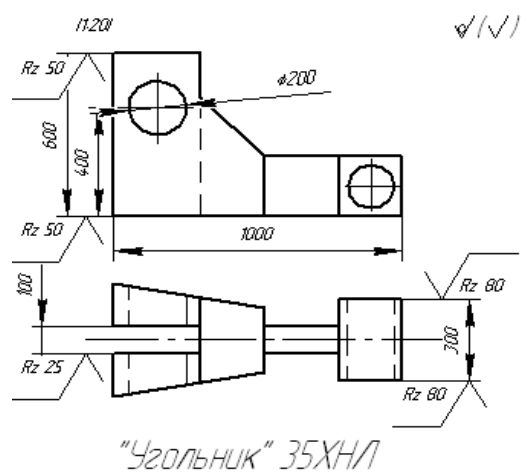
"Колокол" 20Л-II

Вариант 9



"Диск" 25Л

Вариант 10



"Угольник" 35ХНЛ

Навчальне видання

Виробництво виливків зі сталей

**Методичні вказівки
до лабораторних робіт
для студентів спеціальності 136 «Металургія»
денної та заочної форм навчання**

Укладачі: АБДУЛОВ Олександр Радікович,
АГРАВАЛ Павло Гянович

За авторським редагуванням

Комп'ютерне верстання О. М. Болкова

13/2016. Формат 60 x 84/16.
Ум. друк. арк. 2,03. Обл.-вид. арк. 1,84.

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003