

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

ДЕФЕКТИ ВИЛИВКІВ. ЧАСТИНА 2

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**з виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Ливарні сплави та технології плавки»**

для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка

Затверджено
Вченою радою НТУ «ХП»,
протокол № 5 від 28 травня
2021 року

Харків
НТУ «ХП»
2021

Дефекти виливків. Частина 2. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни «Ливарні сплави та технології плавки» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка рівня бакалавра / Упоряд. : К. О. Костик. - Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – 56 с.

Укладач: К. О. Костик

Рецензент: О. В. Акімов

Кафедра ливарного виробництва

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка рівня бакалавра.

Лабораторні роботи являють собою невеликі дослідження, що дозволяють студентам більш детально ознайомитися з основними дефектами третьої, четвертої і п'ятої групами і методами їх визначення, вивчити особливості освіти несплошностей в тілі виливки, включень і невідповідностей за структурою.

Кожна лабораторна робота містить перелік матеріалів, короткий виклад теоретичних відомостей і методів дослідження, порядок виконання, що допомагає студентам правильно і осмислено виконати практичну частину роботи і зробити висновки.

Мета методичних вказівок – допомогти студентам більш глибоко вивчити тему «Несплошності в тілі виливків» з дисципліни «Ливарні сплави та технології плавки», розвинути навички самостійної роботи та наукового дослідження.

Крім основної мети, методичні вказівки спрямовані на розвиток інтересу до наукової діяльності, знайомство зі складною і різноманітною експериментальною технікою, що допоможе студентам в подальшому при виконанні дипломної роботи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ТРЕТЯ ГРУПА ЛИВАРНИХ ДЕФЕКТІВ «НЕСПЛОШНОСТІ В ТІЛІ ВИЛИВКИ». КЛАСИФІКАЦІЯ ТРІЩИН

1.1. Мета роботи

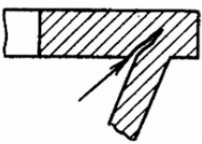
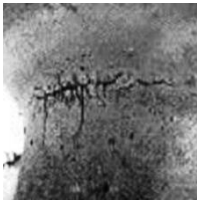
1. Вивчити види дефектів третьої групи виливків зі сплавів на основі заліза і кольорових металів «Несплошності в тілі виливки».
2. Вивчити основні методи виявлення несплошностей виливків.
3. Провести макроаналіз ливарних дефектів сплавів.

1.2. Основні положення

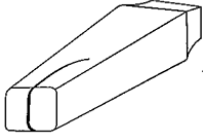
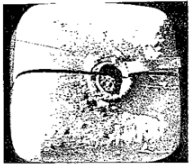
Третя група ливарних дефектів виливків, включає в себе шістнадцять видів (табл. 1.1). Ця група внутрішніх дефектів різного виду і походження найбільш численна і найбільш небезпечна через наслідки, що виникають при експлуатації виливків.

Гарячі тріщини виникають в виливках в процесі затвердіння при температурах, близьких до температури солідусу, внаслідок досягнення усадочними напруженнями межі міцності металу. Лінійна усадка металу починає проявлятися з моменту утворення суцільного скелета зі зрощених дендритів поверхневої кірки виливки. У цей момент метал володіє дуже низькими властивостями міцності й пластичності. Напруження, що виникають внаслідок гальмування лінійної усадки, швидко досягають межі міцності, що і призводить до руйнування утвореного кристалічного скелета. Тріщини носять міждендритний характер, тому мають нерівний, рваний профіль. Поверхня гарячих тріщин сильно окислена. Знизити ймовірність появи гарячих тріщин дозволяють створення максимально податливої ливарної форми; застосування сплавів, що мають більш високу межу міцності при температурах утворення тріщин; відпрацювання конструкції виливки з точки зору її технологічності.

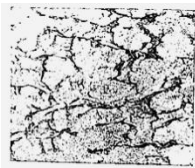
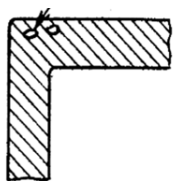
Таблиця 1.1 – Група 3 «Несплошності в тілі виливки»

№	Термін, визначення та еквіваленти термінів	Ескіз дефекту	Основні причини дефекту
1	2	3	4
1	Гаряча тріщина – це дефект у вигляді розриву або надриву тіла виливки усадочного походження, що виник в інтервалі температур затвердіння. Гаряча тріщина розташовується по межах кристалів, має нерівну окислену поверхню, на якій іноді видно дендрити. D. Warmbruch, Warmriss E. Shrinkage crack, hot tear F. Cassure chaud	 	Утворюються в результаті внутрішніх напружень. Ці напруження з'являються внаслідок нерівномірної усадки виливків, наявності в окремих місцях виливки сил, що протидіють усадці. Причини виникнення цих сил: неоднакова швидкість охолодження різних частин виливки (тонкі частини охолоджуються швидше, ніж товсті) і утруднена усадка через недостатню податливість форми і стрижнів.

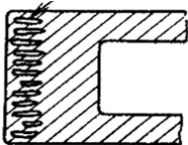
Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
2	Холодна тріщина – це дефект у вигляді розриву тіла затверділої виливки внаслідок внутрішніх напружень або механічного впливу. Холодна тріщина зазвичай має чисту світлу або з кольорами мінливості зернисту поверхню. D. Kaltbruch, Kaltriss E. Cold crack F. Cassure froid	1) тріщина викликана залишковими напруженнями;  2) викликана залишковими напруженнями тріщина – в донній частині злитка;  3) викликана залишковими напруженнями (поперечний переріз). 	Внутрішні напруження в виливках, що виникають після затвердіння, різні механічні пошкодження в процесі вибивання і очищення виливків і погана якість приготованого сплаву; утворюється в твердому металі в місцях найбільшого впливу внутрішніх напружень, тобто в зонах переходу від товстих перетинів до тонких.

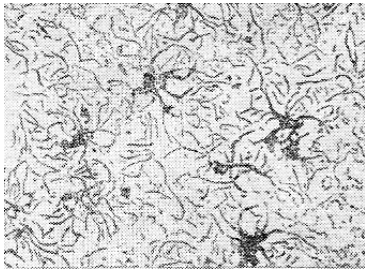
Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
3	Міжкристалічна тріщина – це дефект у вигляді розриву тіла виливки при охолодженні виливки в формі. У зламі термічно оброблені виливки мають вигляд згладжених поверхонь з дзеркальним блиском на загальному сірому тлі волокнистої складової зламу. D. Mikroriss, Korngrenzenriss E. Intercrystalline crack F. Fissure intercristallique		Утворюється під впливом водню, розчиненого в сталі, на межах первинних зерен аустеніту в температурному інтервалі розпаду.
4	Газова раковина – це дефект у вигляді порожнини, яка утворена виділеними з металу або впровадженими в метал газами. У зламі термічно оброблена виливка має вигляд згладжених поверхонь з дзеркальним блиском на загальному сірому тлі волокнистої складової зламу. D. Blasen E. Blowholes F. Soufflure		Утворюється під впливом водню, що розчинений в сталі; утворюється газами, що потрапили в виливок при взаємодії рідкого металу з матеріалом форми або виділилися з металу при його затвердінні.

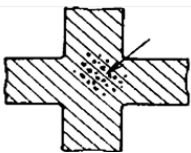
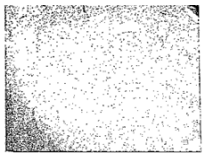
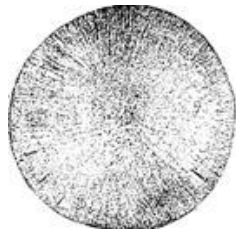
Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
5	Ситовидна раковина – це дефект виливки у вигляді подовжених тонких раковин, що орієнтовані нормально до поверхні виливки. D. Sieblunker, Sieblase F. Cavite		Викликана підвищеним вмістом водню в кристалізованому шарі.
6	Усадочна раковина – це дефект виливки у вигляді відкритої або закритої порожнини з грубою шорсткою іноді окисленою поверхнею, що утворилася внаслідок усадки при затвердінні металу. D. Schwindungshohlraum E. Draw, contraction cavity F. Effet Leonard		Утворюється зазвичай в теплових вузлах виливки. Причиною виникнення є утруднене, недостатнє живлення виливки.
7	Піщана раковина – це дефект виливки у вигляді порожнини, повністю або частково заповненої формувальним матеріалом. D. Sandeinschluss E. Sand holes, drop F. Inclusion de sable		

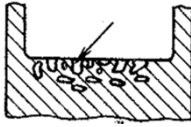
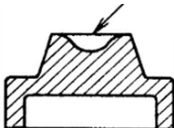
Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
8	Шлакова раковина – це дефект виливки у вигляді порожнини, повністю або частково заповненої шлаком. D. Schlackenblasen E. Slag blowholes, slag inclusion F. Soufflures de scorie		
9	Залитий шлак – це дефект виливки у вигляді часткового заповнення ливарної форми шлаком. D. Ausgefutterte Schlacke E. Poured slag F. Laitier		
10	Графітова пористість – це дефект виливків з сірого чавуну у вигляді зосереджених або павукоподібних виділень графіту, які викликають нещільності металу при випробуванні гідравлічним або газовим тиском. D. Graphitporositat E. Graphite porosity F. Porosite de graphite		

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
11	Усадочна пористість – це дефект виливки у вигляді дрібних пор. D. Schwindungsporositat E. Shrinkage porosity F. Porosite de retrait		Внаслідок усадки металу під час його затвердіння при недостатньому живленні виливки.
12	Газова пористість – це дефект виливки у вигляді дрібних пор. D. Gasporositat E. Gas porosity F. Porosite de gas		В результаті виділення газів з металу при його затвердінні.
13	Рихлота – це дефект виливки у вигляді скупчення дрібних усадочних раковин. D. Mikrolunker E. Microporosity, shrinkage porosity, grain boundary cracks F. Microretassure		
14	Непровар жеребків (холодильників) – це дефект виливки у вигляді несплошності з'єднання металу виливки з поверхнею жеребків (холодильників). D. Trennung zwischen Kern-stutzen (Gusstuckmetall) E. Unfused chaplets (coolies) F. Incuit de support de noyau (refroidisseur)	Внаслідок забруднення жеребків (холодильників), невідповідності мас, зниженої температури заливаемого металу.	

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
15	Вскип – це дефект виливки у вигляді скупчення раковин і наростів.		Пароутворення в місцях перезволоження ливарної форми або проникнення газів зі стрижнів в порожнину ливарної форми
16	Утяжина – це дефект виливки у вигляді поглиблення з закругленими краями на поверхні виливки. D. Aussenlunker , Einfallstelle E. Shrinkage depression F. Poquette retassure de surface		Недолік живлення виливки; утворюються зазвичай в масивних частинах виливки внаслідок усадки металу при затвердінні.

Холодні тріщини утворюються при температурах, що лежать нижче температури переходу металу з області пластичних деформацій в область пружних (для сталі – нижче 620–650 °С, для чавуну – нижче 400–650 °С). На відміну від гарячих тріщин холодні тріщини мають прямолінійний профіль. В процесі їх утворення руйнуються як межі зерен, так і самі зерна металу. Залежно від температури утворення поверхня холодних тріщин може мати кольори мінливості або залишатися зовсім не окисленою. Холодні тріщини виникають під впливом внутрішніх напружень – термічних або фазових, коли структурні перетворення протікають зі зміною обсягу. З холодними тріщинами борються шляхом конструктивного або технологічного зміцнення виливки в місцях можливого виникнення тріщин, а також створення умов рівномірного охолодження всіх вузлів виливки.

Міжкристалічні (міжзеренні або сіткові) *тріщини* характерні для виливків з легованих сталей. Вони виникають в сталевих виливках в

результаті розвитку внутрішніх усадочних напружень на межі первинних зерен аустеніту. На цих межах можуть виділятися фази, які досягли граничної розчинності в аустеніті. Найчастіше це неметалеві включення сульфідів і нітридів алюмінію. Міжкристалічні тріщини, як правило, утворюються всередині виливки, але іноді вони можуть виходити і на поверхню. При виготовленні сталевих виливків для попередження цього дефекту знижують вміст в сталі сірки та азоту. Бажано при заливці створити відновлювальну атмосферу в формі.

Холодна тріщина представляє розрив суцільності, що часто ледве помітна, так як зазвичай виливок не розділяється на кілька шматків. Геометрія виливки дає підстави припустити, що має місце ефект напружень при охолодженні. Колір зламу світло-сірий.

При охолодженні виливків нижче інтервалу температур 400–500 градусів в їх матеріалі переважають пружні властивості. Тріщини, що утворюються в виливках в період переважання в їх матеріалі пружних властивостей, називаються холодними.

Холодні тріщини утворюються в зоні розтягуючих напружень і розташовуються переважно в гострих кутах і інших місцях концентрації напружень. Причиною утворення холодних тріщин є залишкові напруження, що виникають в виливку при її охолодженні. Крім того, на утворення холодних тріщин впливають і тимчасові напруження.

Холодні тріщини, що викликані залишковими напруженнями, з'являються при експлуатації виливків під впливом навантажень значно менших, ніж розрахункові. Практично вони можуть виникнути навіть без впливу зовнішніх сил – при очищенні, транспортуванні або механічній обробці. Імовірність утворення тріщин тим більше, чим менше міцність або пластичність металу.

Термічна тріщина – це розрив суцільності у вигляді тріщини, помітної неозброєним оком. Тріщина має гострі краї і може бути поверхневою або проходити по всьому поперечному перерізу. Стінки тріщини, внаслідок окислення при нагріванні, пофарбовані.

При термічній обробці різних видів, в тому числі й відпалу, в виливку можуть виникнути тимчасові температурні напруження. Збільшенню цих напружень сприяє:

- нерівномірний нагрів виливки;
- різке нагрівання або охолодження виливки;
- виникнення різниці температур між стінками малого перерізу і між стінками малого перерізу і більш масивними, між зовнішніми і внутрішніми зонами, залишковими напруженнями в виливку. Якщо величина сумарних напружень перевищить граничні значення міцності або пластичності матеріалу виливки, в ній можуть утворитися тріщини.

В процесі виконання термічної обробки в виливку можуть виникнути тимчасові температурні напруження, які обумовлені нагріванням різних ділянок виливки з різною швидкістю. При досягненні температурних напружень рівня критичних для конкретного металу, в ньому можуть виникнути термічні тріщини. Одночасно на це впливають геометрія самої виливки і структура металу в тонких і товстих стінках, збільшуючи або зменшуючи небезпеку тріщиноутворення. Для зниження напруженого стану в виливку при термообробці необхідно вести нагрів з меншою швидкістю і з витримкою для вирівнювання температур. Холодні виливки слід укладати в гарячу піч. Щільне укладання виливків призводить до інтенсивного розігріву зовнішніх частин виливків і повільного нагрівання внутрішніх, що сприяє виникненню додаткових напружень. Отже, виливки не можна укладати дуже щільно. Конструкція печі і укладання виливків повинні забезпечувати вільну циркуляцію газів між різними частинами всіх виливків. Відпал протягом 6 годин при температурі 550 °C зменшує залишкові напруження на 90 %. Для зняття напружень важливіше підвищення температури відпалу, ніж збільшення його тривалості, однак при цьому можливе зниження механічних властивостей.

Розрив холодний – це розрив суцільності у вигляді помітної тріщини постійної ширини з гострими кутами, яка зазвичай перетинає весь виливок, зерно в місці розриву має звичайний вид зерна при холодному зламі. Дефект зустрічається на ділянках, що піддаються розтягуванню, тобто в тих частинах виливки, які тверднуть останніми, в той час як частини виливки, що тверднуть першими, піддаються стисненню.

При охолодженні чавунних виливків нижче інтервалу температур 400–500 °C, в їх матеріалі переважають пружні властивості. Тріщини, що утворюються в виливках в період переважання в їх матеріалі пружних

властивостей, називаються холодними. Холодні тріщини утворюються в зоні розтягуючих напружень і розташовуються переважно в гострих кутах та інших місцях концентрації напружень. Причиною утворення холодних тріщин є залишкові напруження, що виникають в виливку при її охолодженні. Крім того, на утворення холодних тріщин впливають і тимчасові напруження. Холодні тріщини, викликані залишковими напруженнями, з'являються при експлуатації виливків під впливом навантажень значно менше розрахункових. Практично, вони можуть виникнути навіть без впливу зовнішніх сил – при очищенні, транспортуванні або механічній обробці. Імовірність утворення тріщин тим більше, чим менше міцність або пластичність металу.

Гарячі тріщини – це більш-менш глибокі міжкристалічні тріщини. Злам іноді має дрібну дендритну структуру і окислений вигляд. Дефект найчастіше з'являється на ділянках, що тверднуть останніми, де виникають напруження (наприклад, зміни площі поперечного перерізу, виступаючі кути).

Процес формування гарячої тріщини в виливку можна представити наступним чином. Спочатку кірка набуває міцність і жорсткість на плоских або циліндричних поверхнях і зовнішніх кутах сполучення стінок виливків. Дещо пізніше набуває міцність і жорсткість кірка у внутрішніх кутах. Виникнення напружень в кірці, що пов'язані з гальмуванням усадки з боку форми, стає можливим після того, як вся кірка на основних стінках, виступаючих частинах і в кутах буде пов'язана в одне жорстке ціле. З плином часу товщина кірки збільшується, питома міцність металу при її охолодженні зростає і загальна міцність кірки зростає ще інтенсивніше. З плином часу формувальна суміш розширюється, спікається і надає зростаючий опір усадки, що викликає зростання напруження в твердій кірці. Якщо напруження в «слабкому місці» кірки досягають межі міцності металу, утворюється тріщина, що охоплює всю товщину твердого шару. За рахунок утворення тріщини, напруження розряджаються.

Більш-менш глибокі міжкристалічні тріщини. Злам іноді має дрібну дендритну структуру і окислений вигляд. Дефект найчастіше з'являється на ділянках, що застигають останніми, де виникають напруження (наприклад, зміни площі поперечного перерізу, виступаючі кути). При термічній

обробці різних видів, в тому числі і відпалу, в виливку можуть виникнути тимчасові температурні напруження. Збільшенню цих напружень сприяє нерівномірний нагрів виливки, різкий нагрів або охолодження виливки, виникнення різниці температур між стінками малого перетину і більш масивного. Якщо величина сумарних напружень перевищить граничні значення міцності або пластичності матеріалу виливки, в ній можуть утворитися тріщини.

З моменту утворення на поверхні виливки твердої кірки, в подальшому з'являються розриви суцільності у вигляді тріщини, помітної неозброєним оком. Тріщина має гострі краї і може бути поверхневою або проходити по всьому поперечному перерізу.

Вивчення випущеного матеріалу свідчить про наявність на виливках однотипних дефектів. До них можна віднести наступні:

1. Неспай і недолив, що встановлюються при розбракуванні виливків в заводі.

2. Хвилястість і завороти на поверхні виливків, що знижують їх міцність і товарний вигляд.

3. Гарячі тріщини.

Фотографії дефектних місць виливків з присутністю на них неспая, недолива і хвилястості, які наведені на рис. 1.1.

На рис. 1.1, *а* наведено фрагмент виливки з недоливом її верхньої і бічної частини. Форма недоливу відповідає низькій рідкотекучості металу.

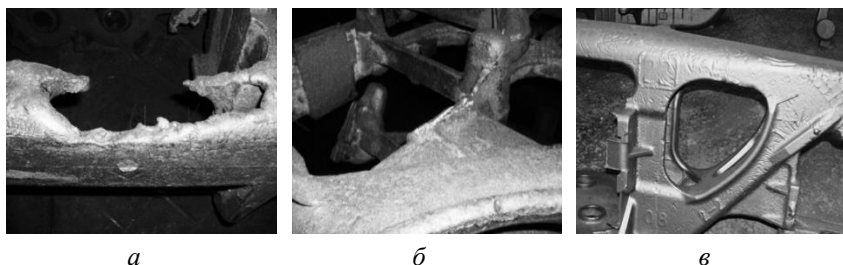


Рисунок 1.1 – Фрагмент виливки "Рама бічна": *а* – недолив металу; *б* – недолив ребра, позначений крейдою; *в* – поверхня, покрита окисними плівками

На рис. 1.1, б не долитим виявилось ребро виливки (позначено крейдою). Для виготовлення виливків використовується сталь 20ГЛ, що містить підвищену кількість марганцю. Слід зазначити, що марганцевиста сталь агресивна до кислих вогнетривів, матеріалу ливарної форми і кисню в формі. У період плавки сталі проводять процес її розкислення для підвищення міцності і технологічних властивостей, в тому числі рідкотекучості. Після заливки металу в ківш можлива початкова стадія виникнення вторинного окислення сталі. При заливці форми оксиди на поверхні металу входять в контакт з речовинами, що покривають порожнину форми і мають кислі властивості. Якщо форма містить кварцовий пісок, можливе утворення силікатів марганцю. Якщо температура металу низька і швидкість заливки невелика, то виливки можуть бути вражені плівками внаслідок контакту поверхні металу з киснем повітря, що заповнює порожнину форми. Під час контакту з киснем активується вторинне окислення розкисленою раніше сталі. При виході в розширений простір форми, плівка встигає покрити всю поверхню форми і іноді надає їй зморщений вигляд, як показано на рис. 1.1, в.

Можливі причини вторинного окислення металу:

- переривання струменя металу при заливці в воронку або чашу (на деяких заводах по техпроцесу допускається переривання струменя металу від 3 до 8 разів);
- збільшений шлях течії металу від стояка до буксових отворів виливки і далі двома зустрічними потоками уздовж виливки;
- відсутність розосередженого підведення металу, що дозволяє збільшити швидкість і зменшити час заливки до певної величини. З міркувань більшої продуктивності і отримання рівномірного температурного поля в вилівку, швидкість розливання підтримують максимальною. Вона обмежена лише небезпекою ерозійного руйнування форми і необхідністю вивести гази, що виділяються;
- створення окислювальної атмосфери в ливарній формі при заливці металу.

Дефекти, що пов'язані з хвилястістю і заворотами на поверхні розглянутих виливків, також пов'язані з процесами вторинного окислення

металу. Слід зазначити, що для зниження окислюваності сталі потрібне підвищення її температури, що явно позначиться на збільшенні кількості гарячих тріщин. Отже, необхідно визначати оптимальні значення зазначених вище параметрів і технологічних рішень для створення прийнятних умов формування виливки без неспая і недоливу.

Гарячі тріщини на виливку сприяють її можливому руйнуванню при тривалому динамічному навантаженні. Існує кілька варіантів утворення і ліквідації гарячих тріщин. На рис. 1.2 наведено фрагмент виливки з гарячою тріщиною на рівній та однаковій по товщині поверхні.

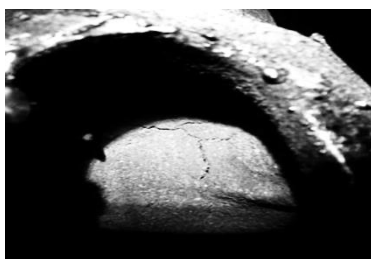


Рисунок 1.2 – Фрагмент виливки «Рама бічна» з гарячою тріщиною

На внутрішній поверхні виливки в області буксового отвору, видно зміцнююче ребро і кінець гарячої тріщини, розташованої поруч з ребром. Місце утворення тріщини знаходиться поруч з місцем підведення збільшеного за розміром живильника. При збільшенні температури металу з метою підвищення його рідкотекучості, інтенсивно розігрівається місце підведення збільшеного по перетину живильника. Це сприяє тривалому збереженню температури в перегрітому місці форми, незначної міцності металу, що призводить до утворення гарячої тріщини при усадці сталі. Така ситуація відноситься до виникнення тріщини в місці підведення гарячого металу збільшеним живильником і на інших виливках.

Другий, найбільш поширений варіант утворення гарячих тріщин, представлений на рис. 1.3. На рис. 1.3, а наведено фрагмент виливки, що має стрижень з виступаючими кутами, де в місці контакту виступаючих кутів є термічні вузли.

Механізм формування гарячої тріщини в цьому випадку можна представити наступним чином. При наявності термічного вузла і виступаючого в цей вузол частини стрижня, відбувається інтенсивний розігрів гарячим металом виступаючої частини стрижня, що контактує з термічним вузлом.

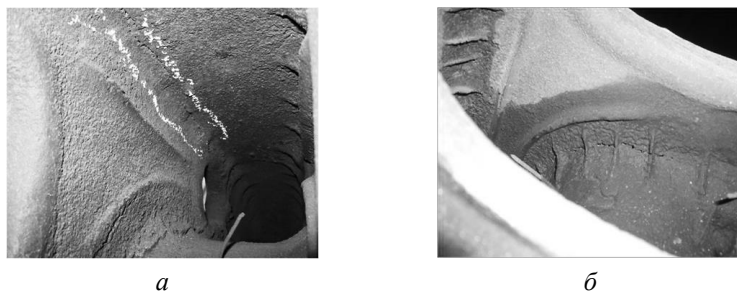


Рисунок 1.3 – Фрагмент виливки «Рама бічна»: *а* – зміцнюючі ребра і гаряча тріщина; *б* – гаряча тріщина в термічному вузлі

В процесі охолодження залитого металу, в місці контакту залишається досить висока температура металу і його недостатня міцність. При усадці металу, реалізація напруження відбувається в області низької міцності сталі у вигляді добре помітної гарячої тріщини. Представлений виливок (рис. 3.3, *а*) має гарячу тріщину, яка розташована вздовж термічного вузла. На протилежному боці виливки видно зміцнюючі ребра для попередження утворення в термічному вузлі гарячих тріщин. На цій стороні гарячі тріщини не спостерігаються. Слід зазначити, що гарячі тріщини утворюються не на всіх виливках, а переважно на залитих гарячим металом.

На рис. 3.3, *б* представлений фрагмент виливки зі зміцнюючими ребрами в термічному вузлі. Гаряча тріщина на цьому виливку розташована уздовж термічного вузла і перетинає зміцнюючі ребра. Пояснити розглянуту ситуацію можна заливкою форми перегрітим металом і виконання зміцнюючих ребер зменшеного розміру.

Проблема виникнення гарячих тріщин має зв'язок з дефектами неспай і недолив через температуру заливаемого металу. Для зниження

процесу вторинного окислення металу і підвищення його рідкотекучості, сталь перегрівають, що призводить до виникнення гарячих тріщин. Для зниження можливості утворення неспая, недоливу і гарячих тріщин необхідно знизити процес вторинного окислення металу, що виникає при заливці металу в форму.

Для визначення несплошностей в тілі виливків також використовують неруйнівні і руйнівні методи контролю. Застосовують люмінесцентну і кольорову дефектоскопію.

При *люмінесцентної дефектоскопії* виливки занурюють на деякий час в розчин, що складається з керосину, бензину і мінерального масла, до якого підмішують флуоресцируючу речовину (дефектоль, люмінофор), яка здатна світитися при опроміненні його ультрафіолетовим випромінюванням. Вийнятий з такого розчину виливок промивають, сушать і обсіпають порошком окису магнію або іншою речовиною, що здатна вбирати рідину. Після цього виливок піддають опроміненню ртутно-кварцовою лампою. Якщо виливок не має тріщин, то вона при опроміненні залишається темною. Якщо ж в виливку є поверхневі тріщини, то вони починають світитися блакитним або зеленуватим світлом.

Для *кольорової дефектоскопії* готують розчин, що складається з керосину, трансформаторного масла і скипидару. У цей розчин додають органічний барвник (судан). Для перевірки виливок не менше ніж на 30 хв занурюють в цей розчин, а після вилучення промивають сильним струменем води. Пульверизатором або пензлем покривають виливок тонким шаром каоліну (біла глина) або розчином крейди і сушать при температурі 100–120 °С. Після того як каолін або крейда вбере в себе розчин з тріщин і висохне, на білій поверхні виливки виявляються тонкі яскраво-помаранчеві лінії, що показують місце знаходження тріщин.

1.3. Матеріал дослідження

Робота проводиться на зразках колекції виливків зі сталей, чавунів та алюмінієвих ливарних сплавів, запропонованих викладачем:

– вуглецеві та низьколеговані сталі: Сталь 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л,

40Л, 45Л, 50Л, 70Л, 20ГЛ, 35ГЛ, 45ГЛ, 65ГЛ, 40Х та ін.;

– сірі чавуни: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35;

– жаростійкі (зносостійкі) чавуни: ЧХ16, ЧХ16М2, ЧХ22, ЧХ32, ЧХ28Н2, ЧХ9Н5, ЧХЗТ, ЧХ1, ЧХ2, ЧХ3 та ін.;

– антифрикційні чавуни: АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3, АЧС-5, АЧС-6 та ін.

1.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити класифікацію дефектів виливків залежно від ступеня ураженості.

2. Провести аналіз якості виливків, що запропоновані викладачем, і пояснити причини появи дефектів.

3. Виготовити макрошліфи із зразків, що запропоновані викладачем, послідовним шліфуванням на шліфувальних шкурках різної зернистості. Промити проточною водою і просушити фільтрувальним папером. Макрошліф протравити, промити проточною водою і просушити фільтрувальним папером.

4. Намалювати ескізи третьої групи дефектів виливків і вказати основні причини їх виникнення. Запропонувати можливі методи їх виявлення.

5. Зробити висновки.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікуються ливарні дефекти виливків третьої групи залежно від ступеня ураженості?

2. Коли з'являються холодні тріщини в виливках?

3. Вказати причини появи гарячих тріщин.

4. Що собою являє міжкристалічна тріщина?

Рекомендована література: [1–12].

ТРЕТЯ ГРУПА ЛИВАРНИХ ДЕФЕКТІВ «НЕСПЛОШНОСТІ В ТІЛІ ВИЛИВКИ». КЛАСИФІКАЦІЯ ГАЗОВИХ РАКОВИН

2.1. Мета роботи

1. Вивчити види дефектів третьої групи виливків «Несплошності в тілі виливки».
2. Вивчити основні методи виявлення газових раковин.
3. Провести макро- і мікроаналіз ливарних дефектів сплавів.

2.2. Основні положення

Газові раковини за морфологічним станом і розташуванням можна розділити на 8 різновидів. У наведеному матеріалі розглянуті основні характеристики газових раковин. Наприклад, якщо газова раковина буде гладка, з точковими шорсткими місцями, блискуча, сіро-синього кольору недоливої виливки, округлоприплюснута, розміром більше 5–10 мм, яка розташована на горизонтальних поверхнях і відокремлена від поверхні тонкою кіркою металу, то це точно буде газова раковина «бульбашки підкіркові». Інший приклад: якщо газова раковина буде гладка, блискуча, світла, ближче до каплеобразної форми, довжиною до 5 мм, що розташовується біля поверхні виливки скупченнями, то це буде «пористість підкіркова».

Надлишок вологи в формі або стрижні неминуче призведе до появи раковин гладких, світлих, блискучих, розосереджених по поверхні контакту стрижня або форми з металом. Раковини можуть мати сферичну або близьку до неї форму.

Формування раковин може виникнути в результаті наступних причин:

– насичення воднем металу в результаті зіткнення з сирого футеровкою печей, невисушеним жолобом і ливарним ковшем, вологими стрижнем і формою;

– утворення окису азоту і вуглецю в результаті контакту з найдрібнішими окисленими бризками металу, зі стрижнями на основі карбамідної смоли та ін.;

– дифузія водню, азоту і окису вуглецю із зовнішніх частин виливки до внутрішніх.

На рис. 2.1 представлений дефект виливки з газовою раковиною «скип», порожнини якої мають гладкі стінки, в основному сфероїдальні, іноді сполучені з поверхнею. Внутрішні стінки раковини блискучі. Колір поверхні газових раковин свідчить про природу їх виникнення. Газові раковини світлі, без слідів окислення говорять про їх утворення в зв'язку з виділенням водню, азоту або вуглеводню. Дефект розташовується у внутрішніх частинах виливки, але може бути і на поверхні.

Формування раковин може виникнути в результаті наступних причин:

– механічне проникнення газу в рідкий розплав, якщо гази виділяються з вологого стрижня або перезволоженої форми;

– ефект кипіння розплаву або викид його з форми (скип);

– зіткнення рідкого металу з вологою поверхнею заливального ковша (наприклад, свіжий відремонтований заливальний носок), форми, стрижня.



Рисунок 2.1 – Дефект виливки з газовою раковиною «Вскип»

Ситовидна раковина – це поверхневі стільникові раковини типу «шпилькових наколів» округлої, але не сферичної, швидше краплеподібної форми з яскраво вираженим гирлом, спрямованим до поверхні виливки

(рис. 2.2). Діаметр їх близько 2 мм, а довжина іноді досягає 5 мм, поруч з шпильковими, можуть бути раковини іншої форми. Раковини розташовуються безпосередньо під тонкою поверхневою кіркою, проте надзвичайно тонке гирло раковини дозволяє їх виявити або при заточуванні, або при відпалі виливків після відшарування окалини.

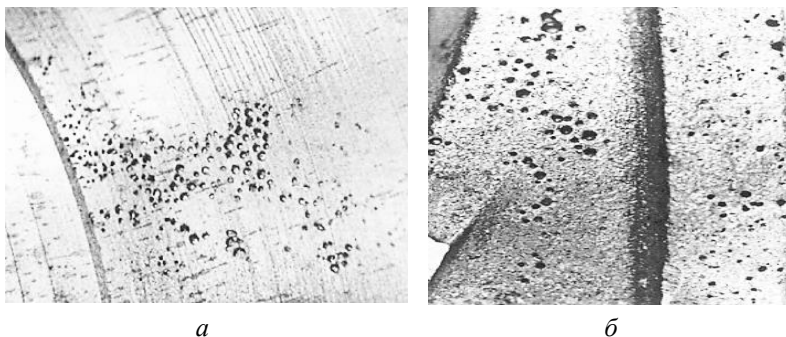


Рисунок 2.2 – Фрагменти виливків з дефектом
«Ситовидна раковина»

Ситовидна раковина може виникнути в результаті наступних причин:

- наявність зародкових бульбашок CO, які утворені в результаті присутності в чавуні відносно легко відновлюючих оксидів, головним чином плівкоподібних. Вони виникають при реакціях магнію з киснем в чавуні з кулястим графітом, при виборчому окисленні поверхневих шарів, а також при окисленні поверхні розплаву графітом;

- при контакті сирих форм з чавуном, що містить 0,01–0,1 % алюмінію або 0,01–0,05 % титану, з парів води виділяється водень, який проникає в поверхневі шари виливків і в порожнину утворившихся газових зародкових раковин, де його концентрація може бути поступово збільшена;

- при проникненні азоту з азотовмісних сполучних або добавок розміри раковин можуть бути збільшені до 3 мм;

- в результаті стискання газів затверділим чавуном виникає прорив поверхневого шару металу, утворюється типовий «шпильковий укол».

Пористість вражає не окремі ділянки, а цілі поверхні виливків, не обов'язково верхніх при заливці. Найчастіше такого типу раковини мають неокислену блискучу поверхню, завдяки чому вони дуже чітко виділяються на зламах дефектних виливків.

Шлакова раковина представляє поєднання газової раковини зі шлаковим включенням, де шлакове включення за обсягом менше навколишньої її раковини. Подібного роду дефекти поодинокі або розташовані нерівномірними групами. Стінки раковин ніколи не бувають світлими, неокисленими. Найчастіше на поверхні шлакогазової раковини є жовтуватий наліт шлакової плівки. Раковина може не мати сферичної форми. Дефект зазвичай спостерігається у верхній частині виливки.

Шлак потрапляє в розплав при механічному перемішуванні його в процесі плавки і при переливі з плавильного агрегату в ківш. Разом зі шлаком в метал потрапляють оксиди, бульбашки розчиненого газу, частинки оплавленої кладки вагранки, печі та ін. У процесі вистою металу в ковші відбувається спливання частинок шлаку на поверхню металу внаслідок їх меншої питомої ваги. При цьому чим буде вище температура металу і менше в'язкість шлаку, тим інтенсивніше буде відбуватися процес спливання шлаку. Одночасно зі спливанням шлаку будуть видалятися бульбашки розчиненого в металі газу, по шляху захоплюючи більш дрібні бульбашки газу і частинки сторонніх включень, в тому числі і оксидів. Накопичившись на дзеркалі металу шлак зчищають скребком до повного видалення його з поверхні.

Усадочна раковина являє собою закриті приповерхневі порожнини неправильної форми, можливо рядкові з вузьким гирлом. Розташовуються вони в нагрітих великими живильниками частинах виливки, або в її термічних вузлах, де гирло раковини відкривається до перегрітої поверхні форми, а велика вісь раковини спрямована до термічного вузла. Дефект, утворений місцевим перегрівом частини форми або стрижня, в поперечному перерізі має форму раковини (ближче до газової, ніж до усадочної). Поверхня раковини гладкошорстка, місцями гладка, як у газової раковини. Строчкова раковина в поперечному перерізі може мати вигляд невеликої розкритої гарячої тріщини, але обов'язково з гладкою частиною раковини.

Велика газоусадочна раковина утворюється в місцях інтенсивного розігріву форми або стрижня металом, що підводиться. У момент інтенсивного розігріву з форми і стрижня виділяється газ, який впроваджується в рідкий метал розігрітого обсягу виливки. При припиненні подачі в форму металу відбувається його охолодження з усадкою. В цей час газ з форми або стрижня заповнює обсяг усадки, округляючи при цьому порожнину раковини. Строчкова раковина утворюється на ранніх стадіях затвердіння, в основному, в термічних вузлах виливків, пов'язаних з газотворними стрижнями, сирою формою або формою і відволоженими стрижнями, які піддаються сильному місцевому перегріву. При наявності в центральній частині термічного вузла рідкої фази і надходження до нього нових порцій металу усадка на окремих ділянках шару, що кристалізується, буде компенсуватися цим надходженням. При припиненні надходження металу триваюча усадка буде створювати умови розрідження в термічному вузлі. Якщо в цей час зі стрижня, форми або металу буде виділятися велика кількість газу, то він буде прагнути заповнити розріджені частини виливки, метал в яких знаходиться в рідко-тістоподібному стані. В результаті усадочні порожнечі будуть приймати більш округлу форму, поверхня раковини може бути більш-менш гладкою або шорсткою залежно від ступеня розрядження термічного вузла і тиску газу, що утворюється. Залежно від складу газів, що виділяються в результаті місцевого перегріву формувальної або стрижневої суміші, а також від ступеня розвитку кристалізації на момент прориву газів через тонку кірку в метал стінки раковини можуть мати різний колір і більш-менш виражений дендритний рельєф.

Наприклад, виливок «Гальмівний барабан» (рис. 2.3) мала збільшений живильник, що сприяло інтенсивному розігріву форми. В результаті, в кінці заливки, ясні гази форми проникли в рідкий метал виливки в районі живильника. В процесі охолодження і усадки металу утворилася газоусадочна раковина.

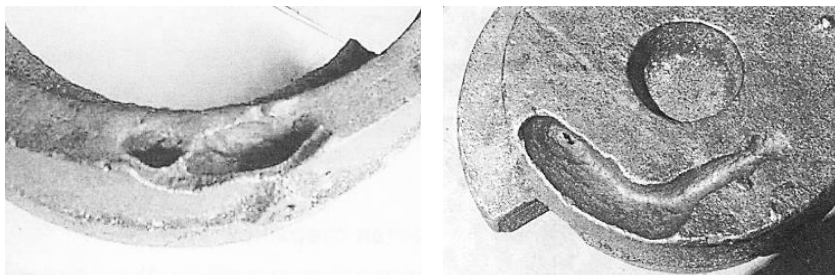


Рисунок 2.3 – Виливки з газоусадочними раковинами:
а – «Гальмівний барабан»; *б* – виливок «Фланець»

Відкрита усадочна раковина – це виходяча назовні раковина, зазвичай розташовується у верхній масивної частини виливки і має форму воронки, продовженням якої можуть бути ізольовані порожнини. Стінки цих порожнин шорсткі, найчастіше дендритні. Дефект може починатися у вхідних кутах виливки, у живильників і мати колір поверхні недоливої виливки, тобто сірувато-синій. Усадочні раковини зазвичай утворюються в потовщених місцях виливки, які тверднуть в останню чергу (рис. 2.4).

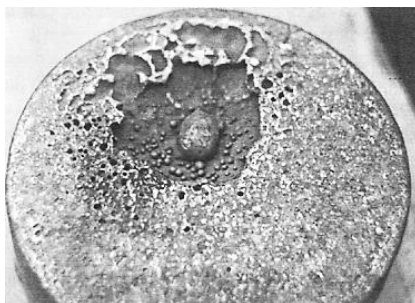


Рисунок 2.4 – Виливок «Диск» з відкритою усадочною раковиною

Явище усадки викликано скороченням обсягу і лінійних розмірів виливки в формі в період застигання залитого металу. Після заливки в форму рідкий метал охолоджується і у поверхні контакту з формою

утворюється кірка затверділого металу. При значному зменшенні швидкості затвердіння металу у верхній частині виливки, викликаному потовщенням конструкції, розігрівом металом, що заливається, або іншими способами, кірка металу у верхній частині не утворюється і рідкий метал використовується на підживлення нижніх шарів металу, які в цей час зменшуються в обсязі. В результаті метал з верхньої частини виливки опускається вниз і у верхній частині утворюється відкрита воронка з явно вираженими дендритними стінками, звана відкритою усадочною раковиною.

Закрита усадочна раковина – це закриті порожнини, з шорсткими стінками, поодинокі або розсіяні. Колір поверхні дефекту темно-синій. Дефект розташовується в зонах, які тверднуть в останню чергу, або розташовується поблизу живильників (рис. 2.5).

Щільний виливок, без усадочних раковин, можна отримати лише в тому випадку, якщо усадка кожного кристалізується шару буде компенсуватися припливом до нього нових порцій рідкого металу, тобто якщо цей шар буде отримувати «живлення». При наявності в центральній частині термічного вузла виливки рідкого металу, живлення виливки буде протікати нормально.

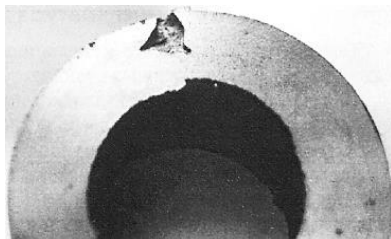


Рисунок 2.5 – Виливок «Фланець» із закритою усадочною раковиною

Усадка на окремих ділянках шару, що кристалізується, компенсується переміщенням маточного розчину в самому цьому шарі, а загальний спад обсягу металу у всьому шарі заповнюється надходженням перегрітої рідини з сусідньої зони, де кристалізація ще не починалася.

Витрата рідкого металу на живлення шарів, що послідовно кристалізуються, призводить до утворення центральної усадочної раковини. При подальшому охолодженні металу до температури трохи нижче лінії ліквідуса, зона, цілком зайнята рідким металом, зникає. У шарі, де до цього моменту ще існують тверда і рідка фази, кристалізація триває, але вже без участі підживлення з центру виливки. В результаті утворюється усадочна раковина.

Усадочна пористість – це пористість, рихлота, дрібні усадочні раковини сірого кольору зустрічаються в частинах виливки, твердіючих в останню чергу (масивні ділянки, стики стінок, виступаючі кути, стрижні, з'єднання літників і прибутку). Вони часто супроводжують усадочні раковини і є їх продовженням. Метал з цим дефектом зустрічається в сплавах з великим інтервалом кристалізації, має губчастий вигляд, часто дендритну структуру і скупчення дрібних раковин. Дефект можна виявити одним з таких способів:

- випробуванням на герметичність;
- оглядом неозброєним оком;
- оглядом через оптичний прилад розкритих ділянок з дефектами.

У сплавах, що тверднуть в інтервалі температур, що ростуть від поверхні виливки, кристали глибоко вдаються в рідкий метал. У них утворюється проміжна двофазна зона, що складається з твердого і рідкого металу. Поки зростаючі від поверхні кристали не зустрінуться, верхні шари рідкого металу або бічні прибутки компенсують усадку металу. Однак після зрощення зростаючих кристалів обсяги рідкого сплаву між ними ізолюються один від іншого і додаткове підведення рідкого металу припиняється. При затвердінні рідкого сплаву в таких умовах в ізольованому просторі утворюються дрібні усадочні раковини, пори. Скупчення дрібних усадочних раковин і називають усадочною пористістю.

2.3. Матеріал дослідження

Робота проводиться на зразках колекції виливків зі сталей, чавунів та алюмінієвих ливарних сплавів, що запропоновані викладачем:

- вуглецеві та низьколеговані сталі: сталь 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 70Л, 20ГЛ, 35ГЛ, 45ГЛ, 65ГЛ, 40Х та ін.;
- сірі чавуни: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35;
- жаростійкі (зносостійкі) чавуни: ЧХ16, ЧХ16М2, ЧХ22, ЧХ32, ЧХ28Н2, ЧХ9Н5, ЧХ3Т, ЧХ1, ЧХ2, ЧХ3 та ін.;
- антифрикційні чавуни: АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3, АЧС-5, АЧС-6.

2.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити класифікацію дефектів виливків залежно від ступеня ураженості.
2. Провести аналіз якості виливків, що запропоновані викладачем, і пояснити причини появи дефектів.
3. Виготовити макрошліфи із зразків, що запропоновані викладачем, послідовним шліфуванням на шліфувальних шкурках різної зернистості. Промити проточною водою і просушити фільтрувальним папером. Макрошліф протравити, промити проточною водою і просушити фільтрувальним папером.
4. Намалювати ескізи третьої групи дефектів виливків і вказати основні причини їх виникнення.
5. Запропонувати можливі методи виявлення несплошностей виливків із запропонованих викладачем сплавів.
6. Зробити висновки.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікуються газові раковини і пористість виливків зі сталей і чавунів?
2. Чим відрізняються усадочна раковина від шлакової? Які причини їх появи в виливках?
3. Коли виникає усадочна і газова пористість в виливках?

Рекомендована література: [1-15].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

ЧЕТВЕРТА ГРУПА ЛИВАРНИХ ДЕФЕКТІВ «ВКЛЮЧЕННЯ» ВИЛИВКІВ ЗІ СПЛАВІВ

3.1. Мета роботи

1. Вивчити основні різновиди ливарних дефектів четвертої групи виливків зі сплавів на основі заліза і кольорових металів.
2. Вивчити основні методи виявлення включень виливків.
3. Провести мікроаналіз дефектів і визначити включення.

3.2. Основні положення

Виготовити якісний вилівок – означає отримати вилівок, який не містить неприпустимих зовнішніх і внутрішніх дефектів і володіє необхідними механічними, технологічними, структурними та іншими властивостями. Цілий ряд цих властивостей тісно пов'язаний з наявністю сторонніх частинок (включень) в металі, що розливається. Від таких частинок необхідно позбавлятися.

Включення можуть мати різне походження і в розплав можуть потрапити протягом усього процесу плавки і розливу рідкого металу. Залежно від способу виникнення включення поділяються на екзогенні, які потрапляють в метал ззовні, наприклад, внаслідок ерозії футерування печі, випускних жолобів або ковша, у вигляді частинок первинного шлаку, що виникли від окислення киснем з повітря; ендогенні – так звані внутрішні, що утворюються в металі в результаті металургійних реакцій під час розливу або затвердіння.

При температурі розливання включення бувають в твердому, рідкому або напіврідкому (в'язкому) стані. Деякі мають форму компактних частинок, інші утворюють плівку невеликої товщини, але з великим розміром поверхні. Деякі являють собою одиничні частинки, інші збираються в пов'язані формації. Одні включення з мікроструктурою сплаву не пов'язані, інші збираються головним чином в порожнинах між

зернами. Залежно від їх складу включення бувають металеві і неметалеві. Неметалеві включення зустрічаються в виливках набагато частіше, і їх дія, як правило, завдає більшої шкоди, ніж дія металевих включень.

Наявність включень в виливках в різному ступені негативно проявляється декількома способами.

Погіршення якості поверхні виливки – включення шкідливі тим, що погіршують зовнішній вигляд поверхні виливків, тим більше що вони можуть досягати значних розмірів. Позбутися від такого дефекту дорого і трудомістко.

Погіршення механічних властивостей – включення – це стороння частинка, яка порушує металеву решітку сплаву і призводить до погіршення його механічних властивостей, особливо пластичності і витривалості. Крім кількості включень в виливку негативний вплив на її механічні властивості мають також розміри включень і їх форми. Особливо шкідливі включення, що утворюють плівку. Вони порушують структуру металу на великих площах, крім того, створюють ефект «надрізу».

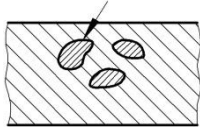
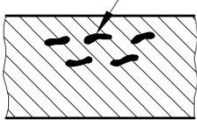
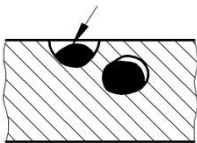
Погіршення оброблюваності – більшість неметалевих включень має більш високу твердість, ніж основний сплав. В результаті цього погіршується якість обробленої поверхні, знижується ріжуча здатність і довговічність обробних інструментів.

Нещільність виливків – як правило, виникає в зв'язку з наявністю включень типу оксидних плівок, що тягне за собою зниження гідросцильності виливків.

Газова пористість – такий дефект викликається або наявністю включень, які хімічно реагують з металом з виділенням газу, або через те, що самі включення можуть служити відповідним матеріалом для утворення зародків газових раковин під час затвердіння. Усуненням включень вирішується проблема газової пористості.

У цю групу входять дефекти у вигляді сторонніх металевих або неметалевих частинок, що потрапили в метал механічним шляхом (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Група дефектів «Включення»

№	Термін, визначення та еквіваленти термінів	Ескіз дефекту	Основні причини дефекту
1	2	3	4
1	Металеve включення – це дефект виливки у вигляді стороннього металевого включення, що має поверхню розділу з виливком. D. Metallischer Einschluss Fremden Ursprungs E. Exogenous metallic inclusion F. Inclusion metallique d'origine etrangere		
2	Неметалічне включення – це дефект виливки у вигляді неметалевої частинки. D. Nichtmetallischer Einschluss E. Exogenous non-metallic inclusion F. Inclusion non-metallique		Потрапляє в метал механічним шляхом або утворилося внаслідок хімічної взаємодії компонентів при розплавленні і заливці металу.
3	Корольок – це дефект виливки у вигляді кульки металу, окремо застиглого і несплавившогося з виливком, що утворився бризками при неправильній заливці. Причин розбризкування металу може бути кілька: неправильна конструкція литникової системи, неправильне заповнення форми, надмірне зволоження суміші.		Утворена з бризок кулька металу твердне і потрапляє на ще не заповнену металом поверхню форми; метал кульки може не злитися з металом виливки.

Включення, що присутні в виливку, найкраще усуваються за допомогою фільтрування. Для цього на шляху руху розплаву встановлюється відповідний тип фільтра, який здатний фільтрувати різні забруднення. За допомогою фільтрування можна вирішити всі проблеми, пов'язані з наявністю включень. Завдяки введенню технології фільтрації зменшується кількість браку, підвищується якість виливків, що призводить до певного економічного ефекту. З точки зору якості лиття - фільтрування забезпечує збільшення механічних і експлуатаційних властивостей виливків.

Металеві включення – це наявність в виливку частинок сплаву, що відрізняються від основного металу (рис. 3.1).

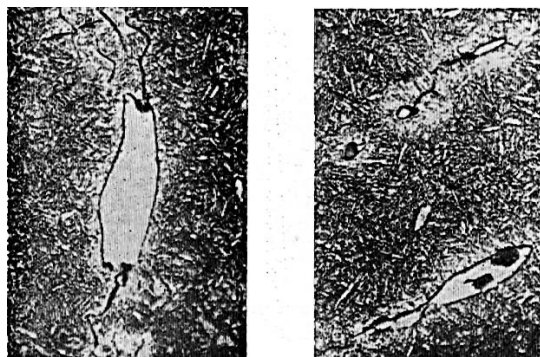


Рисунок 3.1 – Мікроструктура розривного зразка з тріщиною, викликаної включеннями, $\times 500$

Неметалеві включення – це скупчення на поверхні заготовки неметалевих включень, які часто зустрічаються спільно зі скупченнями пір і плівами. Вони можуть розташовуватися також в приповерхневої зоні заготовки (рис. 3.2).

Неметалічні включення в злитках зустрічаються, як правило, у вигляді оксидів, сульфідів, нітридів (рідше фосфідів), а також у вигляді більш складних сполук – оксисульфідів, силікатів, сульфосилікатів, алюмініатів, алюмосилікатів і т.п. Найбільші включення, які різко

знижують механічні властивості сталі, утворюються з конгломератів оксидів або оксисульфідів.

Загальна кількість неметалевих включень у великому злитку зазвичай не перевищує 0,02–0,03 % (по масі).

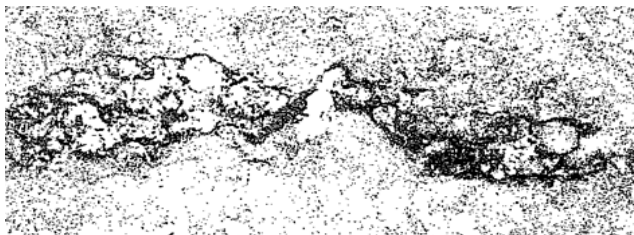


Рисунок 3.2 – Неметалеві включення (місця скупчення шлаку) на поверхні заготовки

За джерелами утворення включення можуть бути розділені на *ендогенні* і *екзогенні*.

Включення *першого типу* зазвичай мають невеликі розміри і є результатом хімічних реакцій і масопереносу, що відбуваються в рідкій сталі. Екзогенні включення є продуктами взаємодії рідкої сталі зі шлаком і вогнетривами печі, жолоба, ковша, сифонних проводок. Ці включення мають великі розміри і складний склад. Орієнтовна частка екзогенних і ендогенних оксидних включень, що надходять з різних джерел в злиток становить: металева шихта – 20 %; футеровка печі – 0,5 %, пічний шлак – 3 %; футерування жолоба – 0,5 %; футерування ковша – 3%; сифонний припас – 1%; продукти розкислення – 40%; продукти вторинного окислення – 32 %. Велика частина екзогенних включень спливає на поверхню металу в ковші, але частина все ж потрапляє в злиток, сприяючи утворенню грубої скоринки на дзеркалі металу в виливниці. Екзогенні включення мають великі розміри, а їх вміст становить 15–25 % від загального вмісту включень в сталі. Одним з класів ендогенних неметалевих включень є оксиди – продукти взаємодії розчиненого в сталі кисню з іншими хімічними елементами. Вони мають лінійні розміри до 10–

15 мкм. Оксидні ендегенні неметалічні включення можна розділити на три групи:

1. Первинні неметалеві включення, що утворилися після введення в сталь розкислювачів. Видалення цих включень в результаті спливання в рідкій сталі відбувається, головним чином, в ковші і потім триває в процесі кристалізації злитка.

2. Вторинні неметалеві включення, що формуються в процесі охолодження металу до температури ліквідуса за рахунок зсуву рівноваги реакції розкислення в бік зменшення концентрації розчиненого кисню. Вторинні оксидні включення можуть спливати з рідкої серцевини злитка в його прибуткову частину.

3. Третинні неметалеві включення, що утворюються при затвердінні рідких ділянок металу в двофазній області, яка формується при затвердінні злитка. Ці включення не видаляються, тому що їх утворення відбувається в замкнутих обсягах двофазної зони.

Другим класом неметалевих включень є сульфіди, які формуються переважно в процесі затвердіння злитка (сульфіди заліза і марганцю). Відповідно до класифікації К. Сімса розрізняють три типи сульфідних включень:

- великі глобулярні включення (перший тип);
- включення, що розташовані у вигляді рядків, сіток і евтектичних утворень (другий тип);
- включення багатогранної форми, безладно розташовані по тілу зразка (третій тип).

Сульфідні включення *першого типу* спостерігаються в периферійних зонах злитків через високу швидкість нарощування твердої скоринки і наявності оксидних фаз з високою розчинністю сірки. При цьому залежно від хімічного складу оксисульфіду спочатку виділяються оксидні фази, на яких осідають сульфідні фази. Внаслідок наявності кисню в сульфідній фазі вона залишається рідкою до низьких температур і набуває глобулярну форму (рис. 3.3).

Великі скупчення сульфідних включень *другого типу* спостерігаються в осьовій зоні верхніх горизонтів злитка. Однак ці включення виявляються практично у всіх зонах великих злитків.

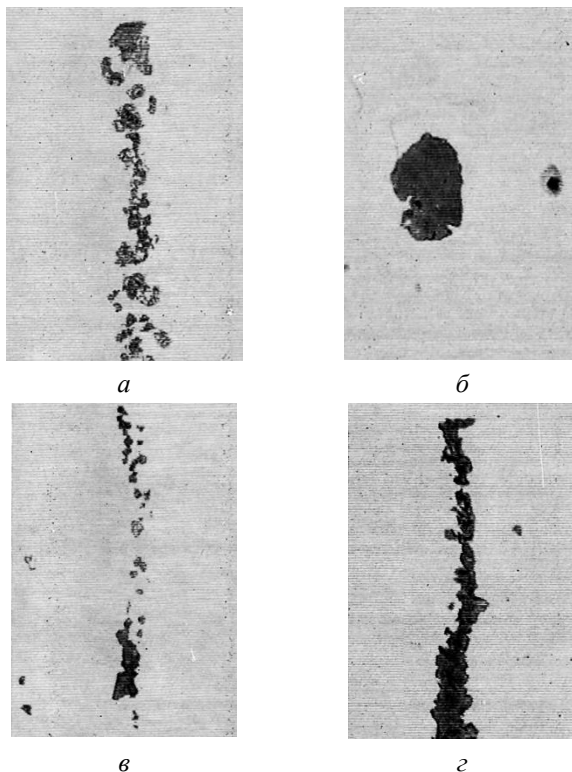


Рисунок 3.3 – Типові включення в плавках сталі ШХ15:
а – оксиди в оболонці скла(плавка розкислена алюмінієм);
б – глобулі (плавка розкислена силікокальцієм);
в – оксиди (плавка розкислена алюмінієм);
г – силікати (плавка розкислена алюмінієм)

Характерно, наприклад, що цей вид включень має розвинену гіллясту форму в проміжній зоні злитка. Включення цієї групи набувають вигляду грубих потовщених дендритів (але також тонких в перетині) при переході до осьової зони, і навпаки, характеризуються слабorozвиненою гіллястою формою в периферійних шарах злитка, формуючись тут у вигляді тонких паличок, обривків дендритних осей та ін. Протяжність таких включень може бути від 3–5 мікрон до декількох сотень мікрон. При

цьому такі неметалеві включення схильні розташовуватися ланцюжками, що багаторазово підвищує ймовірність руйнування металу по цих ланцюжках в процесі кування.

Сульфідні включення *третього типу* у великій кількості спостерігаються в проміжній зоні злитка. Формування кристалічних закінчень гілок і утворення правильних багатокутників має місце на тих ділянках дендритних каналів, де відсутній температурний градієнт, і зростання сульфідного кристала відбувається рівномірно з усіх боків в результаті дифузійних процесів (рис. 3.4).

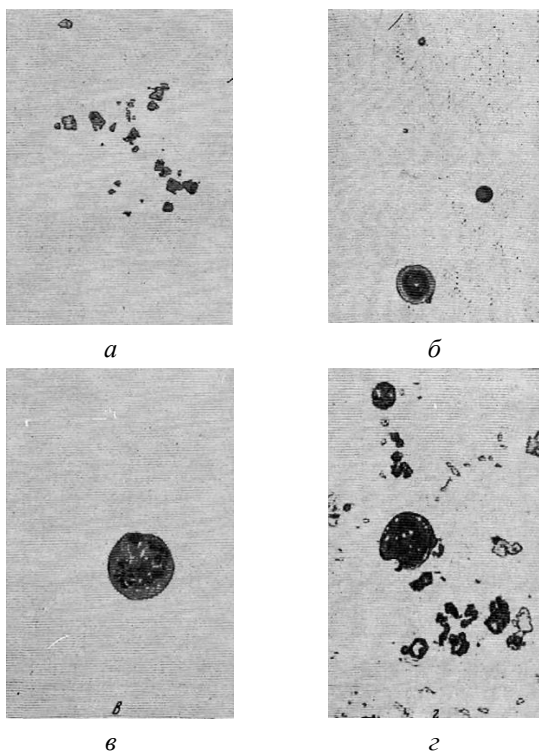


Рисунок 3.4 – Включення в сталі 1X18H9Т по ходу плавки:
а – хроміти; б – силікатні скла; в – силікати заліза і хрому;
з – нітриди, оксиди і силікати титану, $\times 750$

Максимальний вміст сульфідів зазвичай припадає на верхній і середній горизонти злитків, що відповідає місцю найбільшої ліквідації сірки. У корковій зоні злитків є у великій кількості дрібні точкові сульфідні глобулярної форми діаметром 0,75–1,50 мкм, які розташовані довільно або по контуру зерна. Поряд з дрібними глобулярними сульфідами тут присутні також окремі включення овальної і витягнутої форми розміром 2–13 мкм, які розташовані безладно або невеликими скупченнями. У міру віддалення від поверхні злитка сульфідні включення укрупнюються, а число їх на одиниці поверхні шліфа зменшується.

Введення в рідку сталь розкислювачів і легувальних елементів змінює умови утворення сульфідів. Наприклад, тугоплавкі сульфідні кальцію, магнію, церію і лантану можуть зароджуватися в рідкій сталі і віддалятися з неї шляхом асиміляції шлаковою фазою.

Відомо, що азот в сталі утворює хімічні сполуки з рядом розкислювачів і легувальних елементів. Розрахунки показують, що в рідкій низьколегованій сталі можуть існувати лише нітриди титану, алюмінію і цирконію. Нітриди титану в сталі являють собою непрозорі правильної квадратної і призматичної форми частинки дрібних і середніх розмірів, а нітриди алюмінію – тонкі включення світло-сірого кольору голчастої форми, довжина яких коливається від 0,05 до 3 мкм. Флотація і видалення нітрідів при обробці в ковші утруднені внаслідок їх високої щільності і малих розмірів.

Найбільша кількість оксидних неметалевих включень, як правило, виявляється в донній частині злитка, а менша – у верхніх його горизонтах. Зону з підвищеним вмістом оксидних неметалевих включень, яку локалізовану в донній частині злитка, прийнято називати конусом осадження. Неметалеві включення в зоні конуса осадження представлені, головним чином, частинками корунду, силікатами марганцю, алюмосилікатами і т.п. При цьому силікатні включення в пробах, відібраних з рідкої фази злитка, мають характерну округлу форму і лінійний розмір 10–15 мкм, а в конусі осадження їх розмір збільшується до 80–150 мкм.

Укрупнення твердих неметалевих частинок відбувається при їх зіткненнях за рахунок явища коагуляції (злипання). Наприклад, при русі

частинок глинозему разом з конвективними потоками вниз частота їх зіткнень різко зростає. При цьому вони спікаються і в результаті цього коагулюють. Слід зазначити, що інтенсивність конвекції металу найбільша в початковий період кристалізації. Надалі швидкість конвективних потоків зменшується, а область їх циркуляції звужується і переміщається вгору. При цьому частота зустрічей включень внаслідок перемішування знижується, тобто, погіршуються умови для коагуляції. Спостережуване ж їх укрупнення при переході від периферії до центральних ділянок злитка, ймовірно, пояснюється порівняно тривалим перебуванням цих ділянок в рідкому стані, що сприяє укрупненню включень за механізмом дифузії.

Забрудненість металу великих злитків двофазними неметалічними включеннями типу оксисульфідів і сульфосилікатів набагато нижче, ніж однофазними сульфідами або оксидами. Геометрична форма двофазних включень, як правило, глобулярна або овальна, а розташування або одиничне, або у вигляді невеликих скупчень. Легкоплавкі включення оксисульфідів виділяються в рідкому вигляді при затвердінні злитка. Такі включення викликають ослаблення межзеренних зв'язків, особливо при підвищенні температури (красноломкість). Найбільше число оксисульфідів зазвичай припадає на верхній і середній горизонти злитка, а сульфосилікатів – на середній і донний.

Беручи до уваги ту значиму роль, яку несуть неметалеві включення з точки зору забезпечення високої якості виробів з великих злитків, на практиці прагнуть зменшити їх кількість і глобулізувати їх форму ще в рідкій сталі. В цьому плані в технологічному циклі виплавки сталі передбачається обов'язкова рафінуюча обробка сталі на установці ківш-піч і при необхідності її вакуумування. При цьому особлива увага приділяється відсіченню шлаку при випуску сталі з плавильного агрегату, а також захисту струменя сталі від вторинного окислення під час наповнення виливниці.

Причини виникнення неметалевих включень:

- локальне групування продуктів розкислення, частинок шлаку і засипки;
- вторинне окислення металу;
- розмивання розливного жолоба;

– розмивання вогнетривких матеріалів ковша і проміжного пристрою.

Попередження. Підтримка оптимального вмісту алюмінію в сталі. Зменшення контактної поверхні взаємодії рідкої сталі з повітрям і скорочення тривалості цієї взаємодії (застосування погрузної склянки). Видалення шлаку з дзеркала металу (з відкритого струменя при заливці).

Ретельна установка і підготовка проміжного пристрою, розливного жолоба і ковша.

Застосування легкоплавкої засипки.

Усунення. Включення можуть бути видалені вогневою зачисткою.

Примітка. Шлакові включення, занадто глибоко лежать під поверхнею, можуть призводити до шлюбу і зниження якості напівфабрикатів на наступних етапах переділу.

Корольком називають металеве включення того ж складу, що і виливок. У більшості випадків включення оточене металом. При заливці форми струмין металу, потрапляючи на її стінку, розбризкується і в початковий момент утворюються і тверднуть окремі його краплі. Ці краплі потрапляють в потік розплаву і знову розплавляються. В окремих випадках затверділі краплі не розплавляються і викликають виникнення дефекту – «Корольок». Виникнення корольків найбільш ймовірно при виготовленні тонкостінних виливків в сирих піщано-глинистих формах.

Утворені в процесі заливки тверді металеві краплі швидко покриваються плівками оксидів. Останні, володіючи більш високою температурою плавлення, ніж основний сплав, при швидкому охолодженні виливки перешкоджають повторному розплавлення королька. Крім того, при попаданні королька в основну масу розплаву, окисні плівки сприяють газоутворенню. Так, в чавунних виливках, що складається з оксидів заліза, плівка реагує з вуглецем, при цьому навколо королька утворюється газ – окис вуглецю. Є випадки потрапляння королька в світлу раковину, утворену випаровуванням вологи зі стрижня або форми (рис. 3.5).

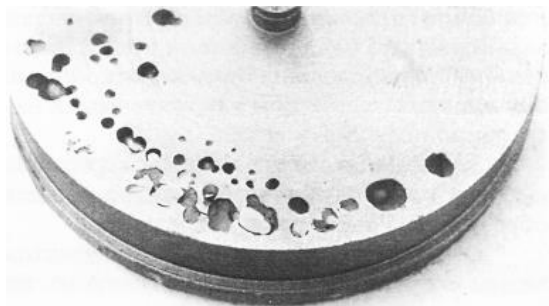


Рисунок 3.5 – Виливок «Ролик» з дефектами «Корольок»

3.3. Матеріал дослідження

Робота проводиться на зразках колекції виливків зі сталей, чавунів та алюмінієвих ливарних сплавів, що запропоновані викладачем:

- вуглецеві та низьколеговані сталі: сталь 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 70Л, 20ГЛ, 35ГЛ, 45ГЛ, 65ГЛ, 40Х та ін.;
- сірі чавуни: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35;
- жаростійкі (зносостійкі) чавуни: ЧХ16, ЧХ16М2, ЧХ22, ЧХ32, ЧХ28Н2, ЧХ9Н5, ЧХЗТ, ЧХ1, ЧХ2, ЧХ3 та ін.;
- антифрикційні чавуни: АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3, АЧС-5, АЧС-6 та ін.

3.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити різновиди включень в виливках сталей і чавунів.
2. Виготовити мікрошліфи із зразків, що запропоновані викладачем, послідовним шліфуванням на шліфувальних шкурках різної зернистості. Промити проточною водою і просушити фільтрувальним папером. Відполірувати, промити проточною водою і просушити фільтрувальним папером.
3. Мікрошліф дослідити під оптичним мікроскопом при різних збільшеннях і зіставити включення.

4. Намалювати ескізи включень, описати їх і вказати основні причини виникнення.

5. Зробити висновки.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікуються включення в виливках?

2. Які бувають неметалеві включення?

3. Що собою являє дефект «Корольок»?

Рекомендована література: [1–15].

ЛАБОРОТОРНА РОБОТА 4

П'ЯТА ГРУПА ЛИВАРНИХ ДЕФЕКТІВ ВИЛИВКІВ «НЕВІДПОВІДНІСТЬ ЗА СТРУКТУРОЮ»

4.1. Мета роботи

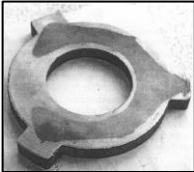
1. Вивчити основні різновиди дефектів п'ятої групи виливків зі сплавів на основі заліза.

2. Вивчити основні методи виявлення дефектів виливків «невідповідність за структурою» і провести мікроаналіз сплавів на невідповідність за структурою при наявності дефектів.

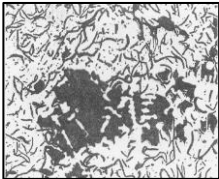
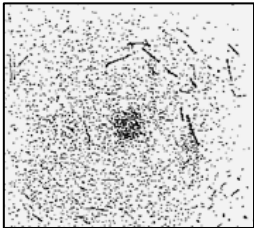
4.2. Основні положення

У цю групу входять дефекти у вигляді сторонніх металевих або неметалевих частинок, що потрапили в метал механічним шляхом (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Група ливарних дефектів «Невідповідність за структурою»

№	Термін, визначення та еквіваленти термінів	Ескіз дефекту	Основні причини дефекту
1	2	3	4
1	Вибіл – це дефект у вигляді твердих місць, що важко піддаються механічній обробці, в різних частинах виливки з сірого чавуну. Вибіл характерний для тонких перетинів виливків (стінок, ребер і т.п.). D. Harte Stellen E. Chill hard spots F. Points durs		Скупчення структурно вільного цементиту.

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
2	Половинчастість – це дефект виливки у вигляді прояву структури сірого чавуну в виливках з білого чавуну. D. Halbheit Meliertes Roheisen E. Mottleness F. Fonte		
3	Ліквація – це дефект виливки у вигляді місцевих скупчень хімічних елементів або сполук в тілі виливки. D. Seigerung, Entmischung E. Segregation F. Liqutation, segregation		Виникає в результаті виборчої кристалізації металу виливки при затвердінні.
4	Флокен – це дефект виливки у вигляді розриву тіла виливки під впливом розчиненого в сталі водню і внутрішніх напружень, що проходить повністю або частково через обсяги первинних зерен аустеніту. D. Flocken E. Flakes F. Flocon		

Вибіл, відбілювання чавуну – утворення структури білого чавуну (цементиту) в виливках з сірого чавуну, зазвичай в їх тонких перетинах або на поверхні виливки, що стикається зі стінкою форми. Якщо вибіл не є спеціальним технологічним прийомом, то вибіл вважається дефектом виливки, що призводить до крихкості виробу і утруднень механічній обробці.

Вибілом називається стан структури виливки з сірого чавуну зі зниженим вмістом вуглецю і кремнію або підвищеним вмістом карбідоутворюючих елементів: хрому, титану, марганцю, ванадію. Він чітко виявляється в зламі виливків у вигляді світлих ділянок на тлі більш темних (від світло - до темно-сірого кольору) ділянок. Вибіл виявляється в тонких частинах виливків або близько гострокутних крайок (рис. 4.1).

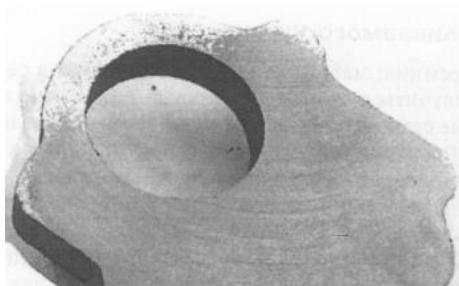


Рисунок 4.1 – Виливок «Кришка корпусу» з дефектом «Вибіл»

Причини *вибілу*: знижений вміст в металі C і Si і підвищений - карбідоутворюючих елементів, низька температура заливки чавуну, велика швидкість охолодження залитого металу (неправильний вибір холодильників, підвищена вологість формувальної суміші), підвищена вологість дуття в вагранці, неефективне модифікування та ін. Вибіл усувають графітизуючим відпалом.

Вибілений чавун, половинчастий чавун – сірий або високоміцний чавун зі структурою білого чавуну в периферійних частинах виливки. Вибілений чавун застосовують в зносостійких, міцних і термостійких виливках (лемешів плугів, обідів вагонних коліс, носиків коромисел клапанів та інших виливків). Структуру білого чавуну отримують збільшенням швидкості охолодження виливки за допомогою встановлених в ливарну форму металевих холодильників, фарбуванням ливарної форми фарбою з карбідоутворюючими елементами, наприклад, Te , розплавленням периферійних частин виливки з подальшим швидким охолодженням – Елотерм-процес.

Зворотний вибіл, аномальний вибіл – утворення структури білого

чавуну (цементиту) у внутрішніх частинах виливків з сірого чавуну. Причинами зворотного вибілу можуть служити: підвищення тиску в центральній частині виливки під дією усадки затверділої кірки, скупчення у внутрішніх обсягах виливків водню, зменшення вмісту кремнію через його зворотної ліквідації при кристалізації чавуну.

Попередження вибілу:

1. Для попередження вибілу чавун в ковші модифікують добавками феросиліцію, силікокальцію, графіту. Кількість модифікатора становить 0,2-0,8 % від ваги рідкого металу. Найбільш ефективно модифікування чавуну при температурі не нижче 1380–420 °С.

2. На утворення вибілу в особливо тонкостінних виливках впливає температура заливки. Зниження температури заливки чавуну нижче 1400 °С часто призводить до утворення вибілу.

3. При литті чавуну в металеві форми (кокілі) часто виникає вибір, що пов'язано з високою швидкістю охолодження при кристалізації сплаву. Для попередження вибілу порожнину металевих форм фарбують теплоізолюючими фарбами і підігрівають перед заливкою до температури 500–600 °С.

4. При рідкісному контролі модельного оснащення у виробництво можуть потрапляти зношене оснащення і стрижневі ящики, які можуть служити формуванню виливки з тонкостінними порожнинами. Це може привести до виникнення вибілу.

5. Використання зношених штирів і втулок опок, деформованих підмодельних плит може привести до появи вибілу. При проектуванні литникової системи слід уникати надходження останнього охолодженого металу в тонке місце виливки.

6. Причиною вибілу може бути використання чавуну з низьким вуглецевим еквівалентом. У зв'язку з цим треба прагнути до використання чавуну (по можливості) з еквівалентом не нижче 4 одиниць.

7. Вміст сірки понад 0,1 % може служити появі вибілу в тонких місцях виливки без істотної зміни великих перетинів.

Для усунення вибілу при виробництві виливків з сірого чавуну застосовують графітизуючі модифікатори. Модифікування доцільно тільки при низькому вмісті вуглецю, кремнію та ін. графітизуючих елементів або

при підвищеній концентрації елементів, що перешкоджають графітизації. В якості модифікаторів найбільш поширені графітизуючі добавки: 75 %-ний феросиліцій, силікокальцій (28 % Ca, 62 % Si, 1,5 % Al) і графіт. При введенні модифікуючих добавок в рідкому чавуні (на жолоб вагранки або в ківші) збільшується число зародків графіту, що впливає на характер евтектичної кристалізації. У порівнянні зі звичайним чавуном модифікований чавун такого ж хімічного складу в меншій мірі схильний до відбілювання і утворення міждендритного точкового графіту.

При нормальному вмісті вуглецю, кремнію, марганцю та інших елементів в сірому чавуні при його заливці в форму може вийти виливок, що має вибілені і невибілені місця. Причина полягає в товщині стінок виливки. У тонкому перерізі (близько 5 мм) може бути присутнім вибіл, в звичайному (близько 10 мм) вибілу не буде. Для попередження вибілу чавуну при 1400–1420 °С його модифікують в ковші добавками феросиліцію, силікокальцію, графіту. Температура заливки чавуну в форму для корпусних автотракторних заливок рекомендується в межах 1380 °С.

Половинчастий чавун – чавун, в якому частина вуглецю знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, а частина – в зв'язаному у вигляді карбідів. Застосовують його в якості фрикційного матеріалу, що працює в умовах тертя без мастильного матеріалу (гальмівні колодки), а також для виготовлення деталей підвищеної зносостійкості (прокатні, борошномельні валки).

Ліквациєю називають хімічну неоднорідність металів, що виникає при їх кристалізації. Ліквация в сталевому злитку вперше була виявлена і досліджена А.С. Лавровим і Н.В. Калакуцьким в 1866 р. Ліквация в межах злитка називається *зональною ліквациєю* (макроскопічний рівень), а ліквация в межах дендриту – *дендритною ліквациєю* (мікроскопічний рівень). Вперше фундаментальне дослідження дендритної ліквациї в легованих сталях виконав І.М. Голіков. Усередині дендриту розрізняють склад сплаву в осях, в міжосних просторах і по його границям. Ліквация відноситься до категорії явищ розшарування, що призводять до коливань складу, які виникають в результаті затвердіння в макро- і мікрообластях; ліквация прямо пов'язана з неомогенністю структури (рис.4.2).

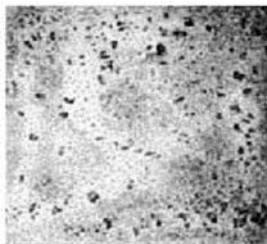
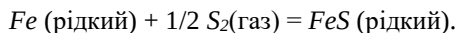


Рисунок 4.2 – Ліквація в виливку

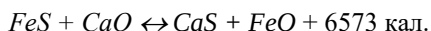
Зональна ліквація можлива при утворенні в рідкому розплаві тугоплавких з'єднань з високою або низькою питомою вагою і тому спливаючих в ньому або осідаючих на дно форми, а також при утворенні легкоплавких евтектик, які тверднуть в останню чергу в теплових вузлах виливків. У металах найбільше ліквірують фосфор і сірка, а потім вуглець. Зональна ліквація тим сильніше, чим повільніше охолодження виливки. Тому вона спостерігається головним чином в товстостінних виливках. Для кожного сплаву існують межі змісту основних хімічних елементів, які забезпечують отримання в виливку певних фізико-механічних і технологічних властивостей. Властивості металу, такі як міцність при підвищених температурах, зносостійкість, корозійна стійкість та ін., визначаються вмістом легувальних елементів. Це відноситься, наприклад, до виливків типу сідел клапанів, розподільних валів, гальмівних барабанів, головок блоку циліндрів, деталей хімічної апаратури, в яких неприпустимо відхилення хімічного складу за основними легувальними елементами.

Нерівномірний розподіл хімічних елементів по висоті і перетину сталевих виливків негативно позначається на властивостях сталі і на якості виливків. Підвищена концентрація сірки не тільки негативно позначається на властивостях сталі, але, в деяких випадках, призводить до руйнування виливків в процесі їх виготовлення або експлуатації. Для складних корпусних і товстостінних виливків концентрацію сірки доцільно обмежувати в межах 0,03–0,035 %. Сірка, з'єднуючись з залізом, утворює легкоплавкий сульфід заліза FeS . Для нейтралізації негативного впливу сульфиду заліза плавку проводять в присутності марганцю і кальцію.

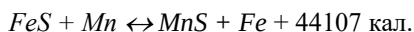
Перебіг процесу видалення сірки зі сталі в основному процесі можна простежити за такими реакціями:



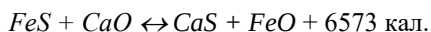
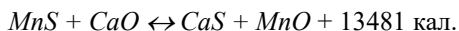
FeS знаходиться як в металі, так і в шлаку. Для сталеплавильних процесів мають значення сульфіди: *FeS*, *MnS* і *CaS*. Видалення сірки з металу полягає в переході *FeS* і *MnS* з металу в шлак і зв'язуванням його там з *CaO*:



При перекладі сірки з металу в шлак велике значення має вміст її з марганцем:



MnS менш розчинний у металі, ніж *FeS* і легше розчинний у шлаку. Тому для знесірювання здійснюється перехід сірки в сполуки, які нерозчинні в металі:



Для протікання цих реакцій в потрібному напрямку необхідно мати в шлаку достатню кількість вапна (*CaO*), оновлювати, у міру необхідності, шлак, що насичений *CaS*, підтримувати високу температуру металу, мати «активний» шлак, проводити якісно період «кипіння» металу (хороше перемішування металу, полегшення умов взаємодії металу зі шлаком). При кислій футеровці печі дефосфорація і десульфурація практично неможливі.

На утворення *ліквації в чавуні*, що виникає при високій температурі, впливає підвищений вміст сірки. Сірка, присутня в чавуні у вигляді сульфідів, багатих залізом, або в складі потрійної евтектики, гальмує графітизацію. При цьому знижуються механічні властивості через утворення на границях зерен крихкої евтектики, а також погіршуються ливарні властивості чавуну. В результаті в виливку може виникнути ефект «червонокрихкості», тобто поява тріщин від напруження в гарячому стані. Нейтралізація впливу сірки на властивості чавуну досягається за рахунок взаємодії сульфиду заліза і марганцю. При співвідношенні марганцю до сірки, рівному п'яти, сірка, в основному, знаходиться у вигляді сульфідів марганцю, що не впливають на графітизацію. Сірка потрапляє в вагранку з

паливом, флюсами і металом (особливо з розсипною стружкою). Для зменшення сірки слід збільшити витрату вапняку (35–50 % від ваги коксу), дещо збільшити вміст в чавуні Mn , в шлаку MnO , застосовувати в шихті дзеркальний чавун, а в числі флюсів – марганцеву руду і вести плавку гаряче. Чим гаряче чавун, тим менше в ньому буде сірки. Різде зниження сірки досягається переходом на основний процес або при обробці чавуну кальцинованою содою в ковші або копильнику. Ступінь знесірнення збільшується, якщо разом з содою додавати феросиліцій для розкислення (з розрахунку 0,3 % кремнію до ваги металу) і якщо обробка содою ведеться в ковші з основною футеровкою. Витрата соди становить 5–10 кг на 1 т рідкого чавуну. Соду дають на дно ковша під струмінь металу. Утворений при цьому рідкий шлак згущують подрібненим вапняком. При вмісті сірки в чавуні 0,12–0,15 % і при присадці 5 кг соди на 1 тону чавуну, вміст сірки в ньому падає до 0,06–0,08 %. Слід зауважити, що процеси знесірнення і обесфосфорування одночасно протікати не можуть. Для кращого знесірнювання треба домагатися зниження FeO в шлаку і максимального підвищення температури. Для кращого обесфосфорування треба домагатися підвищення вмісту FeO в шлаку, не допускаючи підвищення температури вище оптимальної.

Ліквацію класифікують наступним чином:

1. Ліквація в межах кристала (в мікрооб'ємах).
2. Ліквація в злитку, або зональна ліквація (в макрооб'ємах), яка підрозділяється на:

- ліквацію, пов'язану з напрямком теплового потоку (з спрямованим тепловідводом); може бути звичайною (нормальною) і зворотною;
- ліквацію, пов'язану з дією силового поля; може бути графітаційною (за вагою) і виникає при центрифугуванні.

Для зональної макроліквації можлива ще наступна класифікація:

1. Загальна, яка може бути позитивною ліквацією в злитку або виливку (прямою) і негативною (зворотною).
2. Місцева (кайма по кромці затвердіння; V-подібна ліквація; лікваційні шнури; зворотна V-подібна ліквація, або тіньові смуги; плямиста ліквація; ліквація, яка пов'язана з газовими бульбашками).

Ліквація посилюється при:

- збільшенні швидкості охолодження (особливо дендритна ліквация);
- зменшенні швидкості дифузії.

Ліквация зменшується (в рідкісних випадках дендритна ліквация усувається) в результаті гомогенізаційного або дифузійного відпалу. Кількісна оцінка ліквации в кристалі здійснюється за допомогою *коефіцієнта ліквации* $K_{\text{лікв}}$. На величину ліквации в кристалі впливає поєднання кількостей легуючих добавок. Ліквацию за вагою також можна усунути добавкою певних легувальних елементів.

При розливанні *сталі на злитки і сляби*: ліквация збільшується зі збільшенням маси злитка. Схильність до ліквации у киплячій сталі набагато більше, ніж у спокійній.

Утворення флокенів в сталях (флокеноутворення)

Опис флокенів. Матово-глянцеві, що мають металевий блиск ділянки майже круглої або еліптичної форми, виявлені на поверхні руйнування. Залежно від температури кінця гарячої деформації і ступеня деформації поверхня руйнування по флокенам має тонко- або грубокристалічну будову.

У поперечному перерізі, наприклад на травлених темплетях, флокени проявляються як прямі, що не мають певної орієнтації інтракристалітні тріщини

Причини виникнення. Водень, що знаходиться в рідкому металі при високих температурах, а потім утворює твердий розчин впровадження в аустеніті, під час перетворення останнього при охолодженні виділяється в газоподібному стані, якщо охолодження відбувається занадто швидко і перетин занадто великий, то для видалення водню зі сталі шляхом дифузії недостатньо часу. Накладення термічних напружень, що виникають при охолодженні, структурних напружень в результаті перетворення, залишкових напружень через нерівномірну деформації і адсорбцію водню в місцях дефектів решітки призводить до того, що в області температур 100–200 °С створюються високі сумарні напруження, які можуть викликати тріщини (рис.4.3).

Основними заходами *попередження* є прогартовування присадок і хороше кипіння розплаву. Сприятливі результати дає вакуумування рідкої

сталі, особливо якщо вона схильна до флокеноутворення. Рекомендується застосування для нагрівальних печей палива з незначним вмістом водню. Повільне охолодження після закінчення гарячої деформації. Застосування відпалу (або відпалів) для запобігання флокеноутворення (температура і тривалість залежать від розмірів заготовки і марки сталі) безпосередньо після гарячої деформації з метою зменшення вмісту водню.

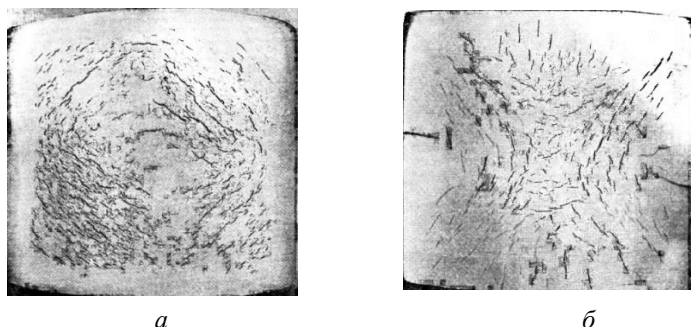


Рисунок 4.3 – Макроструктура темплетів від заготовок:
а - зі сталі У9А; б - зі сталі 30ХНМА

Усунення. Часто можна використовувати ту частину металу, яка не вражена флокенами, проводячи подальшу деформацію на менші розміри (для інших цілей).

Флокени особливо часто зустрічаються після деформації заготовок великих перетинів. До флокеноутворення схильні перш за все леговані сталі, а також сталі з вмістом більше 0,2 % С. Виняток становлять не маючі перетворень феритні або аустенітні сталі і сталі, що містять спеціальні карбіді. Схильність до флокеноутворення знижується зі зменшенням ступеня легування сталі.

Ліквацийні тріщини, а також міжкристалітне руйнування по границям первинних зерен або руйнування по раковинах можуть бути аналогічні флокенам: однак, якщо ці види руйнування мають флокеноподібний характер, то вони не повинні бути витягнуті в напрямку деформації.

4.3. Матеріал дослідження

Робота проводиться на зразках колекції виливків зі сталей, чавунів та алюмінієвих ливарних сплавів, що запропоновані викладачем:

- вуглецеві та низьколеговані сталі: сталь 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 70Л, 20ГЛ, 35ГЛ, 45ГЛ, 65ГЛ, 40Х та ін.;
- сірі чавуни: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35.

4.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити класифікацію дефектів виливків залежно від ступеня ураженості.

2. Виготовити мікрошліфи із зразків, що запропоновані викладачем, послідовним шліфуванням на шліфувальних шкурках різної зернистості. Промити проточною водою і просушити фільтрувальним папером. Відполірувати, промити проточною водою і просушити фільтрувальним папером.

3. Мікрошліф протравити, промити проточною водою і просушити фільтрувальним папером.

4. Намалювати ескізи дефектів в сплавах групи «Невідповідність за структурою» і вказати основні причини виникнення дефектів.

5. Запропонувати можливі методи виявлення дефектів виливків із запропонованих викладачем сплавів.

6. Зробити висновки.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікуються дефекти виливків п'ятої групи «Невідповідність за структурою»?

2. Коли з'являється вибіл?

3. Які бувають види ліквіації і що це таке?

4. Які причини виникнення флокенів в сталях і чавунах?

Рекомендована література: [1–15].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1.ГОСТ 19200-80 «Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов» – «Iron and steel castings. Terms and definitions of defects». – Введ. 01.07.1981.
- 2.Иванов В. Н. Словарь-справочник по литейному производству / В. Н. Иванов. – М. : Машиностроение, 1990. – 384 с.
- 3.Циммерман Р. Металлургия и материаловедение : справ изд. / Р. Циммерман, К. Гюнтер : пер. с нем. – М. : Metallurgia, 1982. – 480 с.
- 4.Бернштейн М. Л. Атлас дефектов стали / М. Л. Бернштейн : пер. с нем. – М. : Metallurgia, 1979. – 188 с.
- 5.Баландин Г. Ф. Реологическое исследование трещиностойкости отливок во время затвердевания / Г. Ф. Баландин, Л. П. Каширцев // Литейное производство. – 1978. – № 1. – С. 5–8.
- 6.Monroe C. Development of a Hot Tear Indicator for Steel Castings / C. Monroe, C. Beckermann // Material Science and Engineering : A. – 2005. – V.413–414. – P. 30–36.
- 7.Грузин В. Г. Температурный режим литья стали / В. Г. Грузин. – М. : Metallurgizdat, 1962. – 351 с.
- 8.Воронин Ю. Ф. Система определения и ликвидации трещин в отливках из чугуна и стали : учеб. пособ. / Ю. Ф. Воронин. – ВолгГТУ, 2010. – 155 с.
- 9.Каторгин С. В. О влиянии технологических параметров на качество отливок «Рама боковая» / С. В. Каторгин, Ю. Ф. Воронин // Молодой ученый. – 2011. – №11. Т.1. – С. 50–52.
- 10.Огородникова О. М. Компьютерное моделирование горячих трещин в литых деталях / О. М. Огородникова, Е. В. Пигина С. В. Мартыненко // Литейное производство. – 2007. – № 2. – С.27–30.
- 11.Новиков И. И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов / И. И. Новиков. – М. : Наука, 1966. – 300 с.
- 12.Козлов Л. Я. Производство стальных отливок : учебник для вузов / Л. Я. Козлов, В. М. Колокольцев, К. Н. Вдовин и др. ; под ред. Л. Я. Козлова. – М. : МИСИС, 2003. – 352 с.
- 13.Житников Ю. З. Определение пористости материалов / Ю.З. Житников, А. Н. Иванов, Ю. Н. Матросова, А. Е. Матросов // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 4. – С. 40–43.
- 14.Ершов Г. С. Микронеоднородность металлов и сплавов / Г. С. Ершов, Л. А. Позняк. – М. : Metallurgia, 1985. – 214 с.
- 15.Бидуля П. Н. Технология стальных отливок / П. Н. Бидуля. – М. : Metallurgizdat, 1961. – 352 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Лабораторна робота 1. Третя група ливарних дефектів «Несплошності в тілі виливки». Класифікація тріщин	4
1.1. Мета роботи.....	4
1.2. Основні положення.....	4
1.3. Матеріал дослідження.....	19
1.4. Порядок виконання роботи.....	20
2. Лабораторна робота 2. Третя група ливарних дефектів «Несплошності в тілі виливки». Класифікація газових раковин.....	21
2.1. Мета роботи.....	21
2.2. Основні положення.....	21
2.3. Матеріал дослідження.....	28
2.4. Порядок виконання роботи.....	29
3. Лабораторна робота 3. Четверта група ливарних дефектів «Включення» виливків зі сплавів.....	30
3.1. Мета роботи.....	30
3.2. Основні положення.....	30
3.3. Матеріал дослідження.....	41
3.4. Порядок виконання роботи.....	41
4. Лабораторна робота 4. П'ята група ливарних дефектів виливків «Невідповідність за структурою».....	43
4.1. Мета роботи.....	43
4.2. Основні положення.....	43
4.3. Матеріал дослідження.....	53
4.4. Порядок виконання роботи.....	53
Список літератури.....	54

Навчальне видання
ДЕФЕКТИ ВИЛИВКІВ. ЧАСТИНА 2
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Ливарні сплави та технології плавки»

для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка
рівня бакалавра
Українською мовою

Укладач
КОСТИК Катерина Олександрівна

Відповідальний за випуск проф. *О. В. Акімов*
Роботу до видання рекомендувала проф. *О. І. Пономаренко*
В авторській редакції