

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”

2377

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

З ДИСЦИПЛІНИ “МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО”
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З РОЗДІЛУ
“МАКРОСКОПІЧНИЙ ТА МІКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОДИ
ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства.
Протокол № 13 від 16.06.11.

ДНІПРОПЕТРОВСЬК ДВНЗ УДХТУ 2012

Методичні вказівки з дисципліни “Матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Макроскопічний та мікроскопічний методи дослідження матеріалів” для студентів усіх форм навчання / Укл.: В.В. Трофименко, О.П. Клименко, В.І. Овчаренко. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 43 с.

Укладачі: В.В. Трофименко, канд. техн. наук
О.П. Клименко, канд. техн. наук
В.І. Овчаренко, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки з дисципліни “Матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Макроскопічний та мікроскопічний методи дослідження матеріалів” для студентів усіх форм навчання.

Укладачі: ТРОФИМЕНКО ВІТАЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ
КЛИМЕНКО ОЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ
ОВЧАРЕНКО ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ

Авторська редакція

Підписано до друку 03.12.12. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф. Ум.-друк. акр. 1,94. Обл.-вид. акр. 1,97. Тираж 50 прим. Зам. № 64. Свідоцтво ДК № 303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТ, 49005, м. Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ВСТУП

Матеріалознавство – це прикладна наука, яка вивчає взаємозв'язок між складом, будовою і властивостями матеріалів.

Серед структурних методів вивчення матеріалів найбільш поширеним є металографічний метод макро- та мікроскопічного дослідження структури (додаток А). Між структурою матеріалу та його властивостями в більшості випадків існує надійний зв'язок, тому за результатами цих досліджень можливо встановлення того, як зміни в структурі будуть впливати на механічні, фізичні, хімічні та інші властивості матеріалів. Таким чином, матеріалознавство є важливою базовою дисципліною при підготовці інженерів-технологів та інженерів-механіків. Тому вивчення дисциплін “Матеріалознавство”, “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство”, “Матеріалознавство та обробка матеріалів” та “Електротехнічні матеріали” передбачає обов'язкове знайомство з методами макро- та мікроскопічного дослідження матеріалів.

Макроскопічний метод дає уявлення про загальну будову матеріалу і дозволяє оцінити його якість після різних видів обробки: литва, обробки тиском, зварювання, термічної та хіміко-термічної обробки. Метод макроаналізу завдяки простоті здійснення не потребує складного спеціального обладнання та значних витрат часу, він широко застосовується інженерами та технічними працівниками у виробничому процесі.

Структурні дослідження будови нових матеріалів починаються з макроструктурного аналізу, лише потім, для більш тонких досліджень застосовуються методи мікроструктурного, електронно-мікроскопічного, рентгенівського аналізу тощо. При експертному дослідженні пошкодженої деталі за характером макроструктури поверхні руйнації можна визначити причину пошкодження, а за макроструктурою деформованої деталі - технологію виготовлення і спроможність застосування її в тих чи інших умовах.

Для контролю якості зварних з'єднань застосовуються методи неруйнівного контролю, проте повна картина якості зварного з'єднання з'ясовується тільки завдяки металографічним методам, в тому числі, макроструктурному аналізу. Особливого значення макроструктурний аналіз набуває при вивченні структури зливків сталі. Він дозволяє спостерігати розподілення домішок за перерізом зливка, форму і положення усадкової раковини, крихкості та різноманітних порожнин.

За зломом термообробленої деталі можна визначити якість термообробки, глибину поверхневого гартування, глибину хіміко-термічної обробки і, навіть, визначити вид термообробки.

Для вирішення деяких завдань матеріалознавства окрім традиційних методів макроструктурного аналізу застосовуються також методи електронної мікроскопії, наприклад, для точного дослідження зломів використовуються методи електронної растрової мікроскопії.

Мікроскопічний метод випробування металів і сплавів за допомогою оптичних металографічних мікроскопів, запроваджений П.П.Амосовим у

1931 р., широко використовується для дослідження матеріалів усіх класів і для технічного контролю в промисловості. Це пояснюється тим, що між мікроструктурою матеріалів та багатьма їх властивостями існує певний зв'язок, хоч і якісний. Досліджуючи структуру матеріалів за допомогою світлового мікроскопа, можна пояснити зміни властивостей сплавів у залежності від зміни хімічного складу або умов обробки.

Мікроструктурний аналіз проводиться звичайно після макроструктурного дослідження і дає можливість виявити більш тонкі особливості структури, що часто дозволяє якісно робити висновки про властивості досліджуваного матеріалу. Дослідження матеріалів під мікроскопом дозволяє виявити різні дефекти, які утворилися в результаті порушення технології виробництва та експлуатації деталей, апаратів і конструкцій.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

МАКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: ознайомитися з методикою макроструктурного аналізу; ознайомитися з основними типами зломів і можливостями аналізу за допомогою зломів; навчитися готувати макрошліфи та ознайомитися з технологією макроаналізу зварних з'єднань.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Макроструктура – будова матеріалу, яку спостерігають оглядом його поверхні неозброєним оком або за допомогою лупи чи бінокулярного мікроскопу при невеликих збільшеннях (до 30...50 разів).

Цей метод дослідження, який не потребує складного й точного обладнання, служить дослідникам металу впродовж багатьох сотень років і сьогодні дуже широко використовується в техніці. Відомо, наприклад, що якість булатної сталі, якій більше двох тисяч років, визначалась за малюнком на поверхні сталевого виробу, який проявлявся внаслідок травлення соками трав (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Візерунчаста поверхня булатного клинка, $\times 5$

Основна перевага макроаналізу полягає в одночасному досліджуванні великої поверхні, що дозволяє мати уявлення про загальну будову матеріалів,

про наявність у них окремих дефектів, а також про характер розподілення домішок на перерізі деталі або зразка.

Макроструктурний аналіз - не остаточний, а лише попередній вид дослідження. Характеризуючи обсяг особливостей будови матеріалів, макроаналіз дає змогу обрати ділянки, що потребують подальшого мікроскопічного дослідження.

За допомогою макроаналізу виявляють:

- характер руйнування матеріалу;
- особливості будови литого матеріалу або матеріалу після гарячої деформації;
- газові бульбашки, усадкові раковини, вкраплення шлаку;
- характер обробки, яка застосовується для надання деталі кінцевої форми та властивостей (литво, обробка тиском, різання, термічна та хіміко-термічна обробка);
- якість та будову зварних з'єднань.

Макроаналіз проводять на **зломах** або спеціальних **макрошліфах**, якщо макроструктуру виявляють травленням шліфованої поверхні зразка.

1.1. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЛОМІВ МАТЕРІАЛІВ

За **виглядом** злому визначають характер руйнування матеріалу, яке може бути **крихке, в'язке** або **втомне**.

За **структурою** (за зовнішнім виглядом) зломи можуть бути **волокнисті, кристалічні** або **змішані**.

Волокнисті зломи спостерігаються при в'язкому руйнуванні матеріалу значною пластичною деформацією під дією дотичних напружень, яка викривлює поверхню і не дає можливості отримати відомості щодо інших структурних складових матеріалу, окрім того, що він в'язкий.

Кристалічний злом – результат крихкого руйнування під дією нормальних напружень. При цьому зерна не деформуються; зберігається їх форма та розмір без помітних ознак деформації зразка у місці злому. Злом називають **міжкристалітним** (рис. 1.2), якщо руйнування розвивається по межах зерен (кристалітів), та **транскристалітним** (рис. 1.3), якщо безпосередньо – через об'єм зразка. Міжкристалітний злом завжди крихкий; транскристалітний може бути як при крихкому, так і при в'язкому руйнуванні.

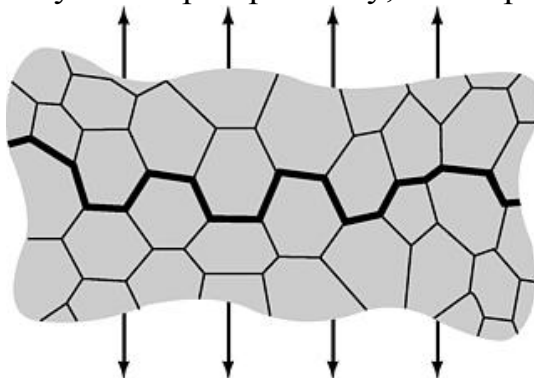


Рис. 1.2. Міжкристалічний злом

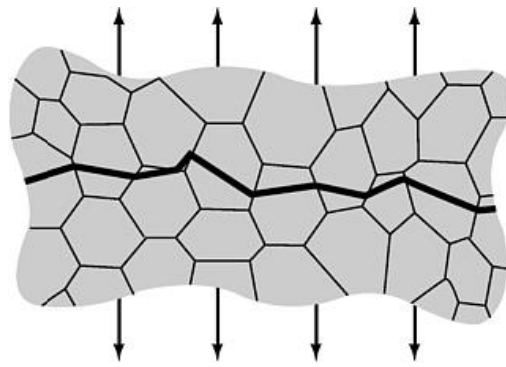


Рис. 1.3. Транскристалітний злом

За крихкими зломами можна визначити характер термічної обробки деталей. Так, загартовані вуглецеві сталі мають дуже дрібнозернистий, матовий злом. Після відпалу сталі злом виходить великозернистий. За зломом можна дуже швидко визначити глибину дифузійного шару після хіміко-термічної обробки (наприклад, після цементації), а також глибину поверхневого гартування. Тип чавуну також легко визначити за зломом. Білі чавуни мають сріблясто-білий колір, сірі чавуни через включення графіту - сірий колір.

За зломом сталевих зразків можна зробити висновок про наявність флокенів (пустот в сталі лінзоподібної форми). Їх видно у вигляді невеличких плям пластинчастої форми зі сріблястими стінками (рис. 1.4). На зломі можна побачити й великі неметалеві включення.



Рис. 1.4. Флокени у сталевому виробі

Змішаними називають зломи, на поверхні яких розташовані макроскопічні ділянки крихкого та в'язкого (пластичного) руйнування.

Частка в'язкої складової в зломі є одним із критеріїв оцінки в'язкості матеріалу. Її визначають як відношення площини злому, яку займає в'язка складова, до всієї його площі. Аналогічно відношення площі крихких ділянок у зломі до всієї площі злому є критерієм оцінки крихкості злому.

Крихкі, в'язкі, змішані зломи утворюються як при статичному, так і при динамічному (ударному) навантаженнях.

Втомний злом — спостерігається в деталях, які працюють при багаторазових ($10^6 \dots 10^7$ циклів), змінних і, особливо, знакозмінних навантаженнях (осі, вали, шестерні, ресори, пружини).

Злом від втомленості, який утворився в процесі роботи деталі зі знакозмінними напруженнями, має характерну будову. У ньому можна виділити дві

специфічні зони: зону втомленості, яка часто має гладеньку, ніби шліфовану, поверхню та зону злому (крихкого чи в'язкого в залежності від структури металу).

Зона втомленості утворюється внаслідок дії знакозмінних напруг у деталі, яка мала зовнішні або внутрішні дефекти (тріщини, мікротріщини, флокени тощо). Ці дефекти в процесі експлуатації деталі розвиваються, а стінки тріщин при знакозмінних напругах шліфуються. Етапи розвитку тріщини втомленості характеризуються утворенням хвилястої поверхні на стінках тріщини. І коли переріз деталі внаслідок розвитку тріщини втомленості стає меншим за критичний, для даних напруг, відбувається її руйнування, утворюючи зону долому (рис. 1.5).

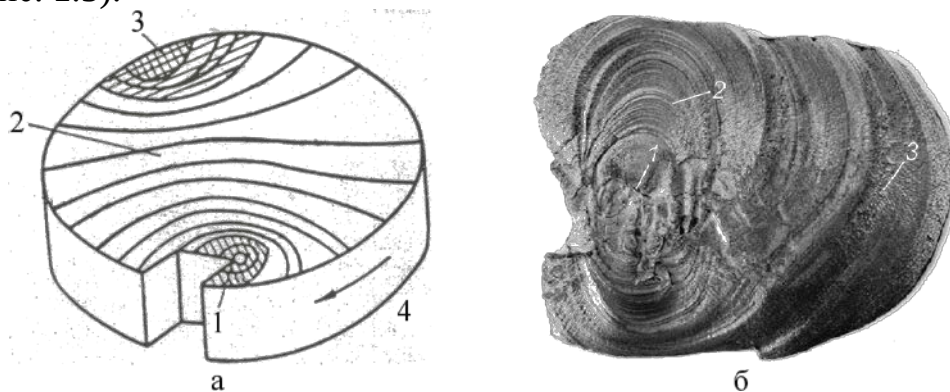


Рис. 1.5. Злом металу від втоми:

- а - макробудова втомленого злому (схема); б - поверхня злому від втоми валу
1 - зразок тріщини; 2 - зона втомленості;
3 - зона долому; 4 - напрямлення обертання валу

Крім дослідження поверхні деталі, зруйнованої в процесі експлуатації, проводяться макроскопічні дослідження на зломах зразків, які руйнуються навмисно. Завдяки цьому можна отримати повну інформацію щодо структури та властивостей матеріалів. Існує цілий розділ досліджень зломів, який називається **фрактографією**.

1.2. ДОСЛІДЖЕННЯ МАКРОШЛІФІВ

Макрошліфи - це спеціально підготовлені зразки матеріалів для дослідження їх неозброєним оком. Приготування макрошліфів починається з вибору місця на деталі або зливку, яке є найважливішим та найхарактернішим. Спосіб різання матеріалу обирається таким, щоб досліджувана поверхня не зазнавала температурного впливу, здатного змінити його структуру (наприклад, при дослідженні ширини зони загартованої поверхні).

Для того, щоб зразки для виявлення дефектів макроструктури та ступеню забрудненості металу шкідливими домішками були найбільш показними, у стандартах за контролем макроструктури матеріалів вказують місця відбору проб у литому та деформованому металі. Ці місця найбільш вірогідного появлення дефектів макроструктури, місця найбільшого скупчення шкідливих домішок у металічних заготовках та виробках, рис. 1.6.

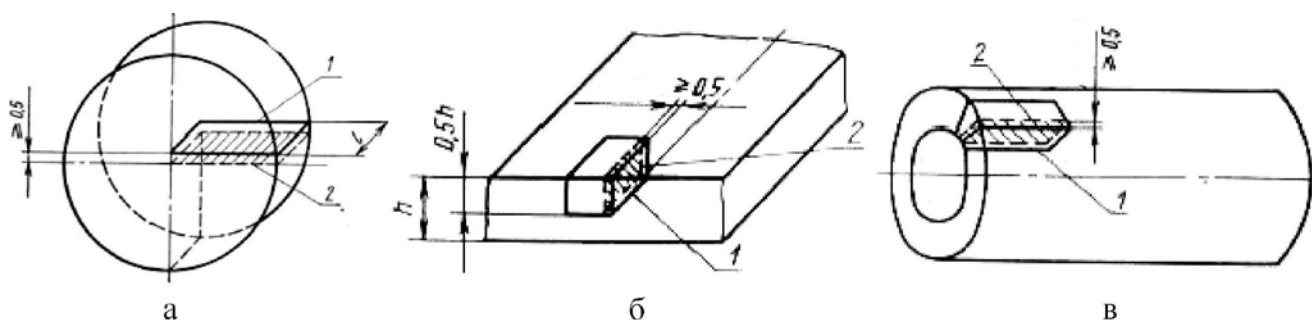


Рис. 1.6. Схема відбору зразків для оцінки ступеню забрудненості металу неметалевими включеннями металу за ГОСТ 1178-70 «Металлографические методы определения неметаллических включений»:

а - від круглого профілю; б - від листа; в - від труби;

1 - площа різку; 2 - площа шліфа

Після вирізання темплету досліджувана поверхня вирівнюється наждачним кругом. Якщо деталь має великі розміри (наприклад, зливки сталі), поверхня темплету шліфується на плоскошліфувальних верстатах. Після обробки наждачним каменем поверхня макрошліфа шліфується наждачним папером з абразивним зерном великих та середніх розмірів. Шліфують наждачним папером в одному напрямі, перпендикулярному до напрямку шліфування наждачним кругом.

Закінчивши шліфування, поверхню макрошліфа очищають від абразивного пилю та обезжирюють розчинниками (найкраще спиртом). Оброблену в такий спосіб поверхню вже можна досліджувати для виявлення тріщин, газових бульбашок та усадкових раковин. Для виявлення ліквіаційних зон, дендритної структури, волокнистої структури, дифузійних зон тощо необхідно поверхню макрошліфа травити спеціальними травильними розчинами, причому для різних завдань слід застосовувати різні розчини.

Для виявлення кристалічної структури легованих сталей часто процес хімічного травлення ведеться протягом тривалого часу і з підігріванням. Після травлення поверхня макрошліфа промивається водою, просушується й аналізується.

При необхідності макрошліф фотографують за допомогою спеціальних фотоустановок або замальовують структуру поверхні. Дослідження макроструктури необхідно проводити відразу після травлення, бо з часом вигляд поверхні макрошліфа може змінитися через окислення.

Розглянемо деякі види макроаналізу.

СТРУКТУРНІ ЗОНИ ЗЛИВКА І ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЇХ ФОРМУВАННЯ.

Форма та розмір кристалів, що утворюються після первинної кристалізації, можуть бути різними в залежності від присутності домішок та умов кристалізації. При значній швидкості охолодження утворюється дендритна структура (“дендрит” - дерево). Утворення кристалів деревовидної форми зумовлено анізотропією швидкості росту, тому в першу чергу виростають їх довгі гілки (вісі першого порядку), найбільш чисті за вмістом

домішок; від них ростуть вісі другого порядку, на яких утворюються бічні гілки – вісі третього порядку тощо. Внаслідок цього кристал розгалужується; між осями дендритів скупчуються нерозчинені домішки і утворюються дрібні шпарини, що виникають внаслідок зменшення об'єму при переході металу з рідкого стану в твердий.

В залежності від напрямку відведення тепла зерна можуть мати рівно вісну або стовпчасту (витягнуту) форму (рис. 1.7).

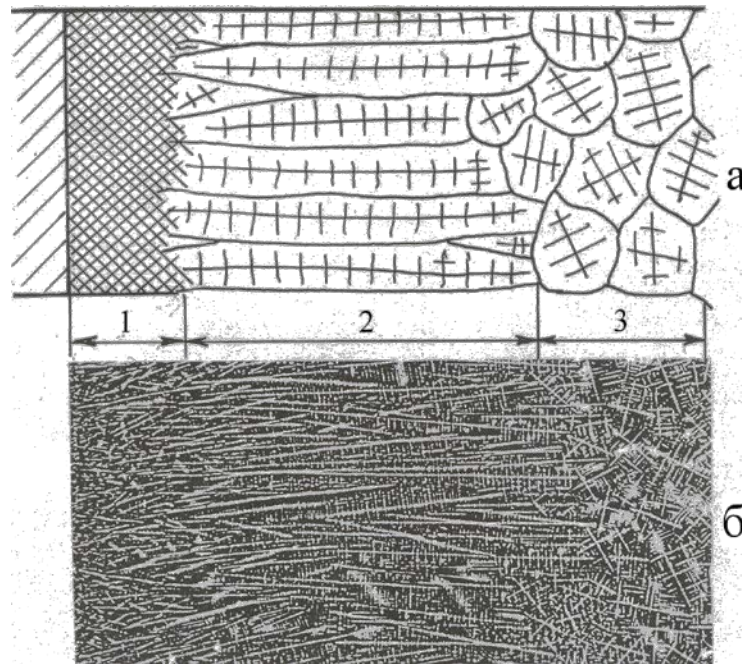


Рис. 1.7. Схема росту дендритів (а) і макроструктура виливної сталі (б):
 1 - зона дрібнозернистих кристалів; 2 - зона стовпчастих кристалів;
 3 - зона великих з хаотичною орієнтацією кристалів.

При кристалізації зливка колоповерхневі та центральні шари формуються в різних умовах. Поверхневі шари зливка набувають при кристалізації дрібнозернистої структури. Це відбувається через значне переохолодження рідкого металу в контакт з поверхнею холодної виливниці.

Наступні шари переохолоджуються менше, бо стінки виливниці прогріваються і утворюється зовнішня скоринка закристалізованого металу. У даній зоні зливка ростуть стовпчасті кристали, осі яких спрямовані паралельно напрямку відведення теплоти. Ці стовпчасті кристали формуються на базі кристалів першої зони, в яких осі першого порядку збігаються з напрямком відведення теплоти. У центральній зоні формуються великі рівновісні з хаотичною орієнтацією кристали, які можуть формуватися на базі уламків стовпчастих кристалів, котрі завдяки вищій від рідини щільності опускаються на дно рідкої ванни. Відсутність переважного відведення теплоти в середині зливка створює умови для формування рівновісних кристалів.

Розміри та характер структури зон кристалізації залежить від умов відведення теплоти, складу і фізико-хімічних властивостей металу. У металів і сплавів з великим коефіцієнтом теплопровідності при кристалізації зливків

невеликого перерізу може утворюватись тільки одна зона стовпчастих кристалів (зона транскристалізації).

При однаковому відведенні теплоти в бокові сторони зливка стовпчасті кристали ростуть з однаковою швидкістю і зіштовхуються по діагоналях поперечного перерізу зливка. У місцях, де вони стикаються, зв'язок між ними слабкий, а це призводить до зниження в цих місцях механічних властивостей. Транскристалічна структура, утворюючись у зварних швах, зменшує їх міцність.

Низька температура розливу сплавів, продувка рідкого металу інертними газами, вібрація та модифікування приводять до зменшення або зникнення зони стовпчастих кристалів і отримання зливків із структурою рівновісних кристалів.

Особливості дендритної структури значно впливають на кінцеву структуру зливка, а також на властивості виробу після обробки тиском та термічної обробки, спричиняючи утворення волокнистої будови певного характеру, ліквацийних зон тощо.

Одним з основних елементів макроструктури зливків є усадкова раковина, яка у зливку утворюється через різницю питомих обсягів рідкого та закристалізованого металу. Форма та розташування усадкової раковини в об'ємі зливка залежить від умов відведення теплоти при кристалізації, а також від фізичних властивостей металу (рис. 1.8).

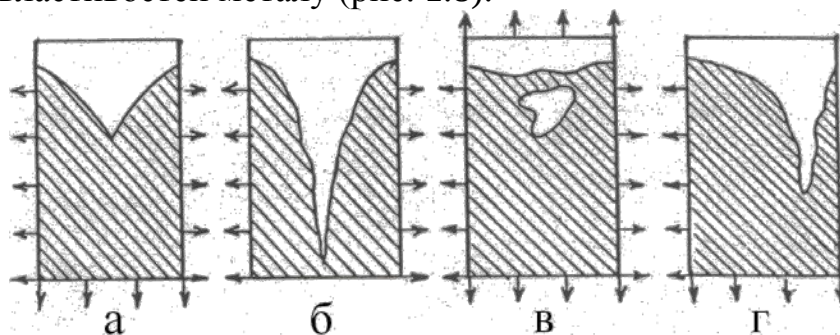


Рис. 1.8. Форми усадкових раковин у залежності від напрямку відведення теплоти.

При заливанні рідкого металу у форму кристалізація починається біля стінок форми внаслідок значного переохолодження шарів металу, які контактують з холодними стінками форми (виливниці). У результаті утворюється скоринка металу, що фіксує початковий рівень рідини.

У центральній частині рідина кристалізується в останню чергу, і тому рідина центральних частин застосовується при кристалізації для заповнення різниці об'ємів рідкого та закристалізованого металу (ΔV), утворюючи в такий спосіб усадкову раковину. Об'єм усадки можливо визначити через вагу зливка (P) та щільність рідкого ($\rho_{\text{рід}}$) і твердого металів ($\rho_{\text{тв}}$):

$$\Delta V = P / \rho_{\text{тв}} \cdot (\rho_{\text{тв}} - \rho_{\text{рід}}) / \rho_{\text{рід}} \quad (1.1)$$

Найчастіше напрям переважного відведення теплоти у промислових зливках перпендикулярний до стінок та основи виливниці. Якщо відведення

теплоти через відкриту частину виливниці невисоке, це призводить до формування усадкової раковини в головній частині зливка у вигляді лунки (рис. 1.8, а).

Якщо відведення теплоти в бокові сторони зливка значно переважає відведення теплоти в нижню частину та в бік відкритої частини виливниці, виходить вузька довга усадкова раковина (рис. 1.8, б).

Такого типу усадкові раковини виходять при кристалізації металів з високим коефіцієнтом теплопровідності (наприклад, міді та її сплавів).

Коли відведення теплоти у відкриту частину виливниці буде значним, то може сформуватися закрита усадкова раковина (рис. 1.8, в).

Неоднакове відведення теплоти в бокові сторони може призвести до зміщення усадкової раковини відносно вертикальної осі зливка (рис. 1.8, г). Утворення усадкової раковини у зливку найчастіше небажане, бо при переробці зливка головну частину разом з усадковою раковиною доводиться відрізати, а це веде до зниження коефіцієнта використання зливка.

Промислові сплави дуже часто забруднені розчиненими газами, які під час кристалізації виділяються з металу, утворюючи газові бульбашки в зливку. Для зменшення глибини усадкової раковини на практиці застосовують утеплення головної частини зливка, що призводить до кристалізації металу в останню чергу і зниженню глибини усадкової раковини.

ФОРМУВАННЯ ЛІКВАЦІЙНИХ ЗОН У ЗЛИВКАХ СТАЛІ

Структурна неоднорідність є причиною неоднорідності хімічної. Розрізняють два види нерівномірності розподілення домішок у металі: *зональну ліквіацію* - нерівномірність хімічного складу за обсягом зливка та *дендритну або внутрікристалічну ліквіацію*, тобто нерівномірність хімічного складу в межах одного кристала - дендрита.

Зональна ліквіація спостерігається в об'ємі зливка (рис. 1.9). Поверхнева зона, яка застигає першою, а також шар із стовпчастих кристалів - найбільш чиста від домішок частина зливка. Дещо більше домішок міститься в зоні великих довільно орієнтованих кристалів, які займають центральну частину зливка. Максимум домішок зосереджено там, де метал застигає в останню чергу - у верхній частині зливка, в зоні усадкової раковини та усадкової крихкості.

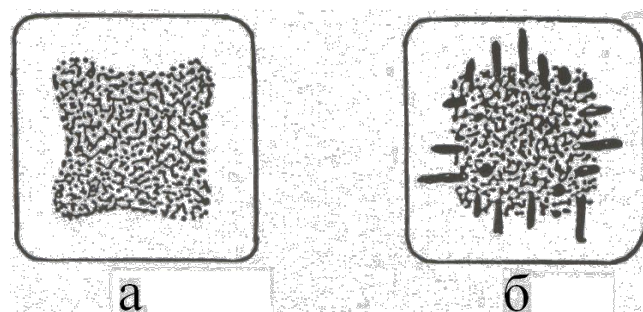


Рис. 1.9. Ліквіаційний квадрат у спокійній (а) та киплячій сталі (б)

Особливо ліквують сірка і фосфор. Різниця концентрації сірки та фосфору між шаром стовпчастих та зоною великих довільно орієнтованих кристалів може бути в 1,5 - 2,5 рази. Вуглець піддається ліквації в меншій мірі. Різниця у вмісті вуглецю між тими самими шарами рідко коли перевищує 1,7 рази. Марганець та кремній ще менш схильні до ліквації, ніж вуглець. Наведені цифри стосуються великих зливків середньовуглецевої сталі вагою десь 150...200 тон. Низьковуглецева сталь застигає у більш вузькому інтервалі температур, ніж середньо- та високовуглецева. Тому й різниця в хімічному складі різних зон у зливку низьковуглецевої сталі менша.

Утворення центрів кристалізації та осей дендритів, збіднених на домішки, а також збагачення домішками розплаву, який застиг пізніше, призводить до дендритної ліквації. Ступінь ліквації в межах кожного дендриту в сталі тим вищий, чим більший вміст в ній вуглецю, сірки та фосфору, та чим більше відрізняються температури початку та кінця затвердіння сплаву. Збільшення відтинку часу, протягом якого відбувається застигання та формування дендриту, сприяючи дифузії, зменшує ступінь дендритної ліквації. Тривале перебування закристалізованого сплаву при високих температурах полегшує вирівнювання складу, тобто зменшує хімічну неоднорідність дендритів.

Кількість, форма та характер розподілення неметалевих включень у сталевому зливку (як і дендритна структура) визначаються умовами кристалізації, відчутно реагують на зміни сталеплавильної технології, зберігаються при наступних переробках і впливають на властивості сталі. Через те, що головним джерелом оксидних включень є кисень, а сульфідних - сірка, цілком природно припустити, що розподілення неметалевих включень зумовлюється характером сегрегації в зливку сірки та кисню.

Досить чіткий зв'язок спостерігається між розподіленням включень та кристалічною будовою зливка. Забрудненість окремих кристалічних зон включеннями неоднакова, тобто при переході від однієї кристалічної зони до іншої спостерігається зміна кількості, розмірів і хімічного складу включень.

ВИЯВЛЕННЯ ЛІКВАЦІЇ ВУГЛЕЦЮ, ФОСФОРУ ТА СІРКИ

При кристалізації сплавів завдяки вибіркового характеру затвердіння компонентів відбувається нерівномірне розподілення компонентів сплаву за перерізом зливка. Це явище має назву ліквації. При пластичній деформації зливків і термічній обробці нерівномірність розподілення компонентів частково знижується, але решта ліквації може викликати нерівномірне розподілення властивостей за перерізом деталі і знижувати довготривалість і надійність деталей машин. У зв'язку з цим виявленню ліквації компонентів сталі здавна приділялася велика увага. Були розроблені й досі широко застосовуються реактиви для травлення макрошліфів з метою виявлення сегрегації (ліквації) компонентів.

Присутність фосфору в сталі часто є небажаною. Розчиняючись у фериті, фосфор різко знижує його пластичність, особливо при низьких температурах. Це явище називають *холодноламкістю*. І хоч середній вміст фосфору (навіть у

рядових сталях) не перевищують 0,05 - 0,06%, через ліквідацію його вплив може виявитись значним. *Фосфор сприяє поліпшенню обробки сталі різанням, а у чавунів завдяки утворенню легкоплавкої фосфідної евтектики (фосфід заліза, цементит та ферит) поліпшуються ливарні властивості.*

Ще однією небажаною домішкою в сталі вважається сірка. Потрапляючи в метал при металургійному виробництві з палива, вона виводиться зі сталі дуже важко. У рядових сталях вміст сірки не перевищує 0,05%, а сталі за змістом сірки та фосфору 0,03% і менше вважаються *високоякісними*. Найефективнішим способом вилучення сірки зі сталі є *електрошлаковий переплав*.

У чому ж полягає шкідливий вплив сірки? Вона практично не розчинюється у фериті, але оскільки є дуже активною, утворює із залізом хімічну сполуку - сірчисте залізо Fe_3S , яке утворює з феритом (аустенітом) легкоплавку сірчисту евтектику з температурою плавлення 985°C . Шкідливий вплив сірки поглиблюється тим, що вона дуже схильна до ліквідації і розміщується на межах зерен. Її сполуки при високих температурах ослаблюють зв'язок між зернами через оплавлення. Це явище називається **червоноламкістю**, бо при деформації при високих температурах сталь з оплавленими границями стає крихкою.

Червоноламкість сталі з підвищеним змістом сірки можна усунути домішуванням марганцю. Марганець більше споріднений до сірки, ніж залізо і утворює насамперед сульфіди, температура плавлення яких 1620°C . Як і фосфор, сірка позитивно позначається на обробці металів різанням. Так звані *автоматні сталі мають підвищений вміст сірки* - до 0,3% і марганцю - до 1,5%. Після спеціальної термообробки сульфіди марганцю в автоматних сталях у вигляді коагульованих округлих включень розміщуються на границях зерен і оскільки вони пластичні, деформуються при прокатці або при куванні.

ВИЯВЛЕННЯ ВОЛОКНИСТОЇ БУДОВИ СТАЛІ

Неметалеві включення (сульфіди, оксиди, шлаки) та ліквідаційні ділянки, неоднорідні за складом і структурою, при обробці тиском (прокатці, куванні) частково роздроблюються і витягаються вздовж напрямку деформації, утворюючи характерну поздовжню волокнистість (первинна смугастість). Крім того, в доевтектоїдній сталі у процесі вторинної кристалізації надлишкова фаза (ферит) схильна до утворення витягнутих неметалевих включень і вторинної смугастості. Деякі механічні властивості (переважно ударна в'язкість) різняться залежно від напрямку волокон. Ударна в'язкість вища у зразків, вирізаних уздовж напрямку волокон, і менша у зразків, вирізаних впоперек напрямку волокон. При обробці деталей на металорізальних верстатах волокна металу можуть бути перерізані, через це ударна в'язкість буде різною залежно від напрямку волокон. У деталях, які працюють з підвищеними ударними навантаженнями, особливо динамічними (колінчасті вали, клапани двигунів, зубчасті колеса багатьох типів, молоткові штампи, гаки підйомних кранів тощо, необхідно, щоб волокна не перерізалися, а пролягали паралельно контуру деталі

або, що найбажаніше, у напрямку найбільших напружень. Це досягається завдяки правильному добору способів кування та штампування.

Волокна металу внаслідок неоднорідного складу та будови мають різну швидкість травлення. Бажано виготовляти макрошліф у поздовжньому напрямі (рис. 1.10).

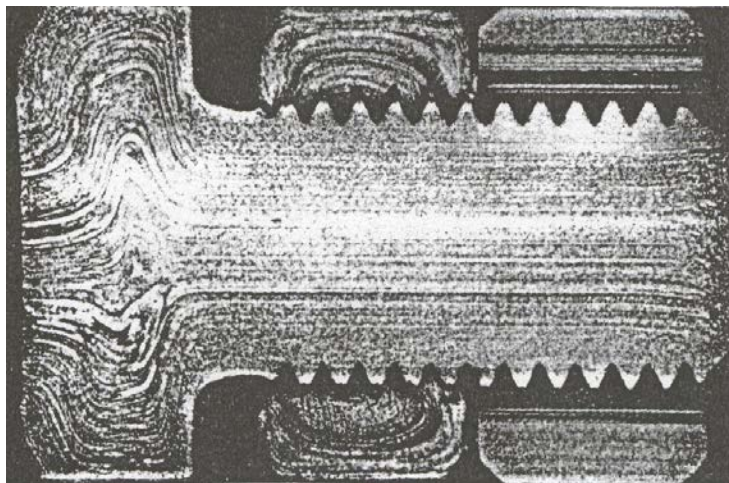


Рис. 1.10. Макроструктура кованого болта, кованої гайки та гайки, виготовленої за допомогою точіння.

Макроаналіз у цих випадках дає змогу виявити не тільки волокнисту будову, але й визначити спосіб одержання даної деталі, зокрема, чи вона лита, чи виготовлена за допомогою обробки металів тиском, чи різанням (рис. 1.11).

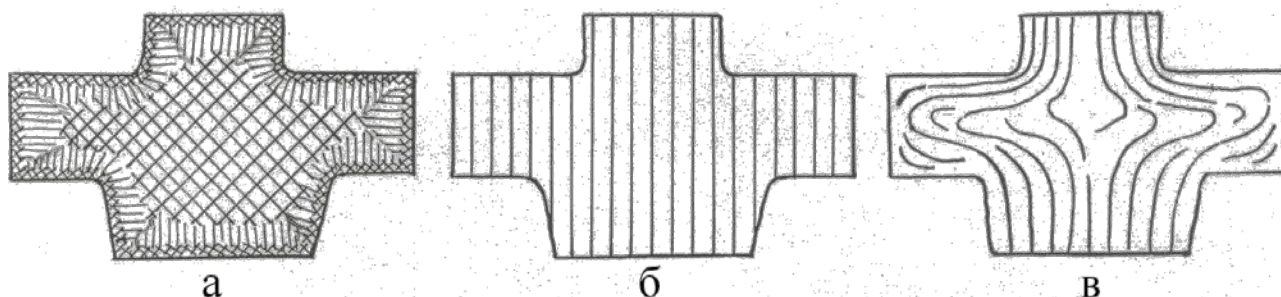


Рис. 1.11. Схема макроструктури заготовок шестерні, виготовлених за допомогою литва (а), вирізання (б) та кування (в).

Виявлення ширини вибіленого шару в чавунах

Чавуни - це ливарні сплави на основі заліза, тобто сплави, з яких одержують деталі машин методом литва. Внаслідок особливостей структури чавуни належать до крихких сплавів заліза, а за кольором злому поділяються на три типи: білі, сірі та половинчасті.

Білі чавуни мають на зломі білий колір через те, що в них весь вуглець перебуває у зв'язаному стані у вигляді хімічної сполуки з залізом - карбіду заліза Fe_3C . Карбід заліза, який називається *цементитом*, має сріблясто-білий колір, дуже твердий і дуже крихкий.

У сірих чавунах основна маса вуглецю перебуває у вільному стані - у вигляді графіту, який і надає злому сірого кольору.

У половинчастих чавунах частина вуглецю перебуває в структурі як цементит, а решта вуглецю - як графіт. Завдяки такому розподіленню вуглецю в структурі злом половинчастих чавунів набуває сіро-білого кольору.

На одержання тієї чи іншої структури чавуну (тобто білого, сірого або половинчастого) впливає декілька факторів. Одним з них є швидкість кристалізації; чим вона вища для рідкого чавуну, тим більша можливість одержати білий чавун.

Окрім швидкості охолодження при кристалізації значний вплив на формування структури чавунів мають домішки. Наприклад, кремній, що постійно присутній у чавуні в різних якостях, сприяє утворенню структури сірого чавуну.

Утворення вибіленої зони на поверхні чавунного виливка часто небажане, але бувають випадки, коли цього намагаються досягти навмисне. Наприклад, прокатні валки листових прокатних станів відливають з чавуну зі складною структурою. Поверхня чавунного валка має структуру білого чавуну, серцевина - сірого, а проміжна зона - половинчастого чавуну. Товщина вибіленої зони в чавунних валках повинна мати певні розміри і швидко визначається за методом злому, а ще точніше цю товщину можна визначити по макрошліфу. Для цього підготовлений до травлення макрошліф протравлюється в розчині 10% HNO_3 у воді. Після його просушування на поверхні буде добре видно всі три структурні зони чавуну.

ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ДИФУЗІЙНОЇ ЗОНИ ПРИ ХІМІКО-ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ

Хіміко-термічною обробкою називається дифузійне насичення поверхні виробу різноманітними елементами при високих температурах у середовищах, які містять ці елементи. До такої обробки належить насичення поверхні деталей вуглецем (цементация) для одержання після термообробки високотвердої поверхні при в'язкій серцевині. Насичення поверхні деталей азотом (азотування), азотом разом з вуглецем (нітроцементация) - що має за мету підвищення твердості та стійкості до зношення поверхні з одночасним підвищенням корозійної стійкості. Для підвищення жаростійкості застосовується дифузійна металізація (насичення поверхні деталей хромом, нікелем, алюмінієм та іншими елементами). Також для певних цілей проводиться й знеуглення сталей і чавунів.

Контроль більшості видів хіміко-термічної обробки проводиться за допомогою мікроструктурного аналізу. Однак виконання цього дослідження потребує складного обладнання, високої кваліфікації дослідника та тривалого часу. Макроструктурний аналіз дозволяє визначити глибину дифузійного шару та рівномірність його розподілення по всьому перерізу протягом кількох хвилин. Але цей метод зручний тільки при невеликих перерізах зразків і деталей, які мають крихкий характер злому, і при глибині дифузійного шару понад 0,1 мм.

У решті випадків кращі результати дає метод вивчення глибини і форми дифузійного шару за допомогою макрошліфів (рис. 1.12, а).

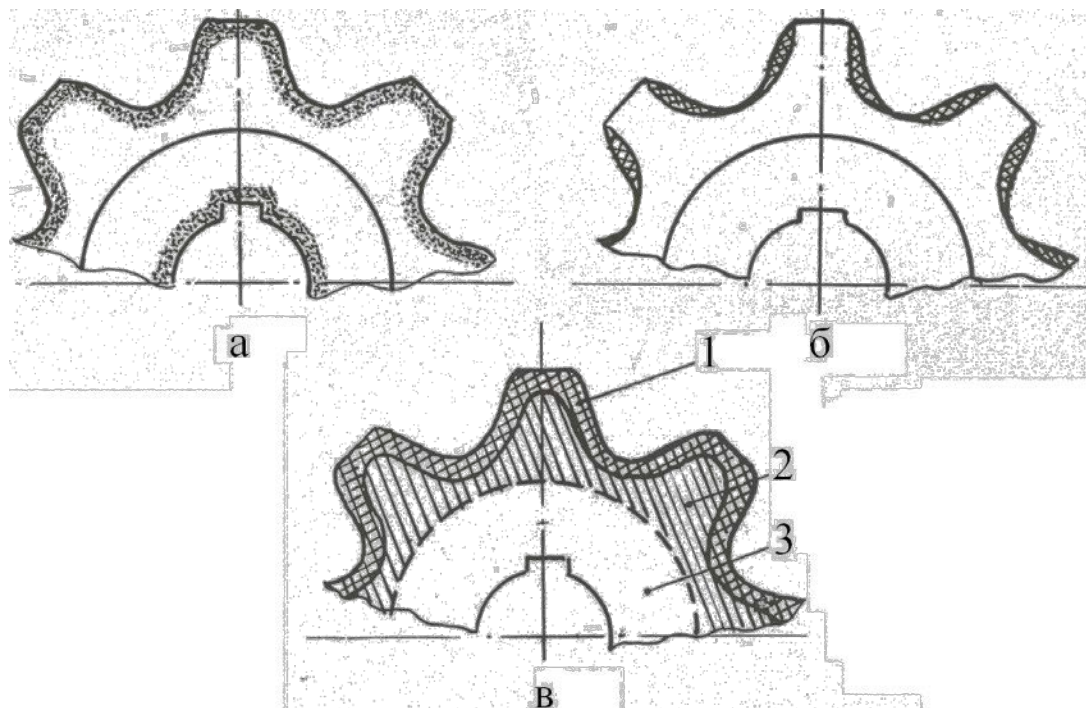


Рис. 1.12. Схема структури шестерні після:

а - цементації; б - газополум'яного поверхневого гартування (визначено загартований шар); в - високочастотного гартування:

1 - загартований шар; 2 - перехідна зона; 3 - вихідна структура

ВИЗНАЧЕННЯ ШИРИНИ ЗАГАРТОВАНОГО ШАРУ

Для середньо- та високовуглецевих сталей застосовується поверхневе гартування для одержання високої твердості та стійкості до зношення поверхні при в'язкій серцевині. Поверхневе гартування здійснюється нагріванням тільки поверхневих шарів деталі до температур, потрібних для одержання гартування при подальшому прискореному охолодженні деталі. Серцевина ж деталі прогрівається до нижчих температур і не загартовується. Це можна здійснити, нагріваючи деталь струмами високої частоти, газополум'яним нагріванням, нагріванням у рідких металах та іншими способами.

Визначити товщину загартованого шару можна за допомогою злому, через те що загартований поверхневий шар має дрібнозернисту структуру і різко відрізняється від незагартованої серцевини. Виявити глибину загартованого шару можна і травленням підготовленого макрошліфа в 50%-му розчині соляної кислоти при нагріванні до 80°C. Загартований шар після травлення набуває темного забарвлення (рис. 1.12, б, в).

Отже, при простоті виконання, макроструктурним аналізом можна вирішувати дуже важливі завдання по дослідженню структури матеріалів різних класів. Цей метод і досі посідає почесне місце серед решти нових методів дослідження.

1.3. МАКРОСТРУКТУРА ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Зварними називають нероз'ємні металеві з'єднання, які одержують шляхом розплавлення кромek основного та присадного металів з наступною спільною кристалізацією розплавленої ванни та утворенням зварного шва.

Цей метод все більше поширюється в хімічному машинобудуванні та у виробництві сталевих будівельних конструкцій. Зрозуміло, що якість зварних з'єднань зумовлює надійність і тривалість роботи машин і конструкцій. Для перевірки якості зварних з'єднань дуже широко застосовуються сучасні методи неруйнівного контролю - рентгенівські, ультразвукові, люмінесцентні тощо. Проте макроструктурний аналіз може дати набагато ширше уявлення про структуру та дефекти зварних з'єднань.

У зв'язку з тим, що для проведення цього виду контролю необхідно зруйнувати деталь, він широко застосовується при доборі режиму зварювання за допомогою автоматів, для контролю якості зварних з'єднань при кваліфікаційному екзамені зварника, при переході на нові марки сталі та при настроюванні неруйнівних методів контролю як еталон.

Методика приготування макрошліфів зварних з'єднань не відрізняється від вище описаної.

Для виявлення структури зварних з'єднань найчастіше застосовується реактив Гейна ($53 \text{ г NH}_4\text{Cl} + 85 \text{ г CuCl}_2 + 1000 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$), а також розчин хромпіку в сірчаній кислоті ($60 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4 + 25 \text{ г K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 500 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$).

Після травлення та просушування зразків при візуальному огляді поверхні макрошліфа зварного з'єднання можна виявити структуру наварного металу, зону термічного впливу, непровар, пори, шлакові включення, тріщини тощо (Рис.1.13).

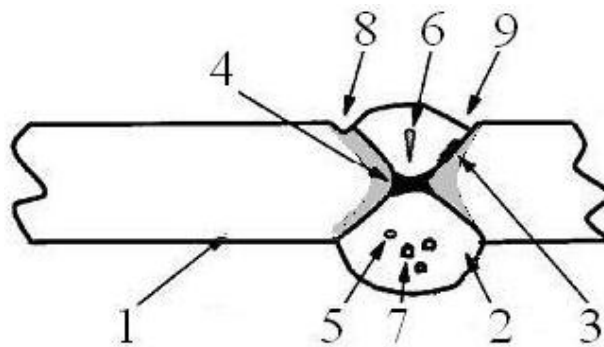


Рис. 1.13. Схема зварного з'єднання з дефектами:

- 1 - основний метал; 2 - наварний (наплавлений) метал;
- 3 - зона термічного впливу; 4 - непровар; 5 - шлакові включення;
- 6 - тріщини; 7 - газові бульбашки (пори); 8 - підріз; 9 - недовар

Численні методи зварювання поділяються за особливостями формування зварного з'єднання на дві групи: зварювання плавленням (електродугове, аргонно-дугове, газове, електронно-променеве) та зварювання в твердій фазі (дифузійне, зварювання тертям, газове-пресове, ультразвукове).

У першому випадку при одержанні нероз'ємного з'єднання проводять розплав поверхні елементів, що з'єднуються, різними способами нагрівання та методами захисту розплавленого металу від взаємодії з атмосферою.

У другому випадку нероз'ємне з'єднання одержують, активізуючи поверхню елементів, що з'єднуються, шляхом нагрівання без розплаву з прикладанням оптимальних зусиль для забезпечення щільного контакту.

Серед цих методів зварювання є й такі, при яких нагрівання поверхні не проводять (зварювання вибухом).

У зв'язку з тим, що утворення зварного шва при зварюванні плавленням супроводжується кристалізацією, він має специфічну структуру, показану на рис. 1.14.

Кристалізація металевої рідини часто проходить дуже великими швидкостями через малі її обсяги та високу теплопровідність основного металу. У цьому зв'язку в зоні шва утворюються стовпчасті кристали, які можуть стикатися на лінії в центрі шва і спричиняти дефекти у вигляді тріщин і пустот. Крім того, через високу швидкість кристалізації газові бульбашки та шлакові включення не встигають піднятися на поверхню і залишаються в структурі шва; це ослаблює його. З цієї причини у зварному шві можуть утворюватись також значні внутрішні напруги, які призводять до утворення тріщин.

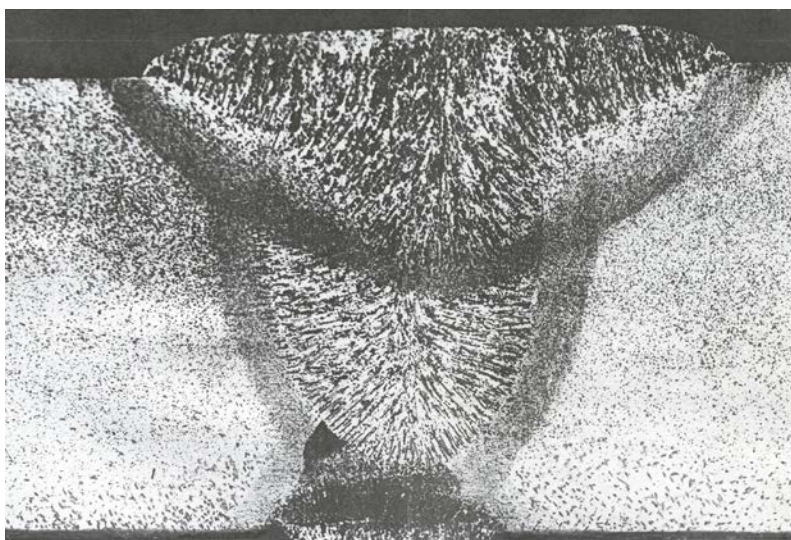


Рис. 1.14. Макроструктура зварного з'єднання

При зварюванні основний метал у зоні, прилеглої до зварного шва, нагрівається до температур, близьких до температури плавлення. Це може призвести до зростання зерен, перепалу і навіть до загартування (наприклад, при зварюванні вуглецевих сталей на морозі). На макрошліфі зони термічного впливу чітко виділяються за кольором. Ці структурні зони в основному металі призводять до погіршення властивостей у районі зварного шва. Поліпшити структуру зварного шва у пришовній зоні можна за допомогою відпалу.

Крім дефектів зварного шва, пов'язаних з високотемпературним нагріванням, розплавленням та прискореним охолодженням, можуть виникати

дефекти, зумовлені неправильним вибором режиму зварювання та підготовкою країв деталей, що зварюються. При цьому можуть виникати непровари, підрізи тощо. Якщо зварювання проводити струмом, недостатнім для даної товщини деталей, які з'єднуються, то це може призвести до недогріву основного металу і утворенню непроварів. Зварювання, навпаки, завеликим струмом може спричинити зменшення перерізу основного металу і привести до виникнення таких дефектів, як підріз чи перепал. Ці види дефектів чітко видно на макрошліфі.

1.3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Спеціально підготовлені зразки - макрошліфи зварних з'єднань, наждачний папір, содовий розчин, реактив Гейна, фільтрувальний папір.

1.4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримати зразок зварного шва.
2. Замалювати схему макроструктури зварного з'єднання. Описати зони та дефекти зварного з'єднання, будову металу, що наплавляється.
3. Скласти письмовий зміст про роботу.

1.5. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи та висвітлити мету роботи.
2. Сформулювати основні поняття про завдання та методи мікроаналізу.
3. Навести схему макроструктури зварного шва з позначення м основних ділянок та виявлених характерних особливостей будови та дефектів.
4. Рисунок супроводити вичерпними підписами.
5. Зробити висновок щодо якості та можливості подальшого використання.

1.6. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що ми називаємо макроструктурним аналізом, його переваги й недоліки в порівнянні з мікроструктурним аналізом?
2. Перелічіть типи зломів металів та їхні характеристики.
3. Що можна дізнатися про метал за допомогою зломів?
4. Яку інформацію можна одержати щодо металу за допомогою макрошліфів?
5. Як підготувати макрошліфи?
6. Що називають зварним з'єднанням? Перелічити основні види зварювання.
7. Перелічити основні види дефектів зварних з'єднань та причини їх утворення.
8. Назвіть зони термічного впливу та причини їх утворення.
9. Яка причина утворення газових бульбашок у зоні зварювання?
10. Які є методи поліпшення механічних властивостей зварних з'єднань?