

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №5

«Аналіз та освоєння способів металографічних досліджень» з
дисципліни «Основи науково-дослідної роботи» для студентів
спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання

2018

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 5
«Аналіз та освоєння способів металографічних досліджень» з
дисципліни «Основи науково-дослідної роботи» для студентів
спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання / Укл.:
М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 34 с.

Укладачі: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент

О.Є. Капустян, старш. викл.;

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено

на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол № 10 від 18.05.2018 р.

Рекомендовано до видання

НМК ІФФ

Протокол № 10 від 19.06.2018

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
2.1 Відбір та підготовка мікрошліфів	5
2.1.1 Відбір зразків	5
2.1.2 Шліфування та полірування поверхні проб з чорних, легких і кольорових сплавів	8
2.2 Макроструктура зварних з'єднань та методи її виявлення	14
2.3 Мікроструктури зварних з'єднань та методи її виявлення	16
3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	24
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ	25
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	25
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	26
7 ЗМІСТ ЗВІТУ	26
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	27
ДОДАТОК А Найбільш поширені травники для виявлення мікроструктури зварних з'єднань	29
ДОДАТОК Б Формули хімічних речовин	31
ДОДАТОК В Структури сталей та сплавів	33
ДОДАТОК Г Структури наплавленого металу	34

1 МЕТА РОБОТИ

Освоїти способи металографічних досліджень, включно з вибором і підготовку проб (шліфів), способів травлення і проведення макро- або мікроскопічного аналізу.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Електричне зварювання є основним способом з'єднання металів і сплавів. Вона отримала широке застосування в різних галузях промисловості і відноситься до найбільш передових технологічних процесів, що забезпечує хорошу якість з'єднань і високу продуктивність праці. За останнє десятиліття створені нові способи зварювання, освоєно технологію зварювання високолегованих сталей, алюмінію, титану, міді і ряду інших металів і сплавів, які в недалекому минулому вважалися незварюваними.

Широкому використанню зварних конструкцій з нових матеріалів передує велика робота по вибору матеріалів, розробці технології зварювання і оцінці працездатності зварних з'єднань.

Для практичної оцінки зварюваності особливо важливі відомості про зміни, що ведуть до утворення крихких або знеміцнених ділянок в зоні термічного впливу і визначають стійкість різних зон зварного з'єднання проти утворення тріщин.

Одним з найбільш доступних і, в той же час, надійних методів вивчення змін, що вносяться до металу процесом зварювання, є металографічний метод, за допомогою якого досліджуються особливості дендритної будови литого металу, характер розподілу структурних складових, надлишкових фаз і неметалевих включень і т. д.

Особливість металографії зварних з'єднань зумовлена специфікою зварювального термодетформаційного циклу, в результаті впливу якого в різних ділянках зварного з'єднання формується структура, що значно відрізняється за характером, травимості, дисперсності і т. д. Тому методику підготовки і травлення макро- і мікрошліфів, які використовуються в загальному металознавстві не

завжди можна успішно застосовувати при металографічних дослідженнях зварних з'єднань.

2.1 Відбір та підготовка мікрошліфів

2.1.1 Відбір зразків

Основним завданням металографічного дослідження є виявлення дефектів, вивчення макро- і мікроструктур зварних з'єднань, покриттів, сталей і сплавів візуально або за допомогою оптичних мікроскопів. Металографічний зразок (проба) повинен чітко уявляти властивості досліджуваного об'єкта, тому відбір проб є першим і дуже відповідальним етапом в підготовці до дослідження. Розміри і місце вирізання зразків обумовлюються способом зварювання, типом зварного з'єднання і характером проведеного дослідження. У тих випадках, коли дослідження присвячене загальній оцінці якості зварного з'єднання, необхідно простежити, щоб відібрані проби не носили слідів випадкових вад, нетипових для даного технологічного процесу.

Відбір проб повинен проводитися з тих ділянок, які дадуть максимальну інформацію про якість зварного з'єднання. Після того, як обрані ділянки відбору проб, необхідно вирішити, який перетин зразків буде досліджено. Якщо потрібно зробити макроструктурний аналіз, проби вирізаються зазвичай в поздовжньому і поперечному напрямках по відношенню до осі шва. Переважно макроструктура зварних з'єднань вивчається на поперечних макрошліфах, які дозволяють оцінити наявність провару основного металу, виявити форму і будову шва і всіх інших характерних ділянок зварного з'єднання.

У тому випадку, коли макроструктуру з'єднання перевіряють з метою виявлення дефектів, проби для виготовлення макрошліфів відбирають з урахуванням можливого залягання поверхневих дефектів. Так, наскрізні поздовжні тріщини краще виявляти на макрошліфах, вирізаних поперек шва. Якщо ж тріщини переривчасті і розташовані в певному положенні по висоті шва, то їх доцільно виявити на шліфах, вирізаних вздовж шва з таким розрахунком, щоб ймовірність попадання тріщини в площину шліфа була найбільшою.

Поздовжні розташування шліфів слід застосовувати для виявлення поперечних тріщин і пор. Макроструктуру злитків після електрошлакового (ЕШП), електронно-променевого (ЕЛП) і плазмодугового (ПДП) переплавов доцільно досліджувати як на поздовжніх, так і на поперечних зразках. При цьому поздовжні зразки бажано вирізати з середньої, а поперечні - з донної, середньої і верхньої частин злитка.

Мікроструктурні дослідження зазвичай проводяться на пробах, вирізаних поперек шва. Поперечні проби дають найбільш повну інформацію про структуру всіх характерних ділянок зварного з'єднання. Досліджуючи цей перетин, можна також виявити тип і характер розподілу неметалевих включень, форму і розташування дефектів, особливо первинної і вторинної структур і т. д.

При дослідженні основного металу бажаний відбір не менше двох зразків, так як в деяких випадках необхідно оцінити форму і характер розподілу окремих структурних складових в поздовжньому і поперечному напрямках.

При порівняльних дослідженнях структури зварних з'єднань проби відбираються в одному і тому ж місці. Місце вирізання визначається поставленим завданням. Якщо потрібно вивчити закономірності зміни структури по довжині шва, то шліфи вирізаються послідовно один за іншим в цьому напрямку. У тому випадку, коли досліджується структура злитків ЕШП, ЕЛП або ПДП, порядок відбору проб повинен враховувати можливість зміни структури окремих частин злитка як по його висоті, так і по діаметру.

Зразки для макро- і мікроскопічних досліджень можуть мати різну форму і розміри, які визначаються характером зварного з'єднання і завданнями дослідження. Для ручної обробки площа поверхні зразків, призначених для металографічного дослідження, повинна бути не більше $2-6 \text{ см}^2$, а з'єднання перевіряють з метою виявлення дефектів, проби для приготування макрошліфів відбирають з урахуванням можливого залягання передбачуваних дефектів. Так, наприклад, поздовжні тріщини в зварних з'єднаннях, якщо вони наскрізні, найкраще виявляти на макрошліфах, діаметри круглих зразків - не більше 1-3 см. Висота визначається зручністю маніпулювання при поліруванні і зазвичай дорівнює 10-20 мм. Слід зазначити, що при відборі проб не завжди вдається виконати ці вимоги, так як при зварюванні тонкого металу, напівпровідникових

елементів і інших зразків їх розміри можуть становити всього кілька десятків мікрометрів. В цьому випадку для підготовки проб застосовуються спеціальні оправлення або проводиться заливка і запресовування зразків спеціальними легкоплавкими сплавами або пластмасами. Однак слід мати на увазі, що сплави і пластмаси забруднюють поверхню проби. При вивченні зламів потрібно обережніше їх кромки від завалювання і зминання; злам повинен становити одну з граней зразка і перетинатися полірованою його поверхнею.

Вирізання зразків для макродосліджень зазвичай здійснюється механічним, анодно-механічному і газовим способами. При газовому і анодно-механічному різанні зварних з'єднань до поверхні різі примикає смужка металу, що зазнала перекристалізацію в результаті сильного концентрованого нагріву поверхні різі. У разі різання легированих сталей ця смужка гартується, тому її зазвичай називають зоною пригартування. Глибина (або ширина) її залежить від виду і режиму різання, товщини металу, розмірів зразка, що вирізали.

При газовому різанні ширина зони пригартування не перевищує 5-6 мм, анодно-механічне різання на оптимальних режимах дозволяє зменшити її до 1 мм.

В окремих випадках, особливо при виготовленні тонких зразків за допомогою газового різання, може статися розігрів всього зразка вище температури перекристалізації. Такі зразки непридатні для подальшого виявлення макро- і мікроструктур і їх можна використовувати тільки для контролю зварних з'єднань на наявність в них макродефектів.

Для вивчення макро- і мікроструктур зони пригартування необхідно видаляти за допомогою стругання або шліфування. Механічне вирізання зразків зазвичай не супроводжується нагріванням крайок і не викликає ефекту пригартування. Тому зразки для макродослідження повинні вирізатися механічним способом. При цьому вирізання проб необхідно проводити дуже обережно, щоб не викликати наклепу. Вплив наклепу і перегріву можна звести до мінімуму, застосовуючи малі подачі, мастило, рясне охолодження і т. д.

2.1.2 Шліфування та полірування поверхні проб з чорних, легких і кольорових сплавів

Підготовка мікрошліфа до дослідження полягає в отриманні поверхні проб без рисок, рельєфу і слідів деформації. Це досягається шляхом проведення послідовних операцій шліфування й полірування.

Шліфування (грубе і тонке) служить для видалення наклепаного шару і грубих рисок. Після шліфування поверхня зразків має матовий вигляд. Дзеркальна поверхня, на якій практично повністю відсутні риси, виходить після остаточної операції - полірування.

2.1.2.1 Шліфування зразків

Шліфування проб зазвичай здійснюють на абразивних паперах. Обробку проводять в декілька стадій, поступово зменшуючи розмір абразивних частинок. При переході від шліфування крупнозернистим папером до подальшого шліфування дрібнозернистим зразок необхідно попередньо ретельно очистити від пилу (стиснутим повітрям або водою), щоб виключити можливість забруднення дрібнозернистого паперу частинками великого абразиву. При цьому необхідно змінити напрямок шліфування на 90° , так як це полегшує визначення закінчення шліфування на черговому номері паперу.

В якості абразивних матеріалів використовують зелений корунд у виді водостійких шкурок на папері, порошки алмаза, корунду, карбїду та ін.

При шліфуванні не слід притискати зразок до абразивної шкурки з великим зусиллям. Тиск на зразок повинен бути досить високим, щоб забезпечити різання абразивом і потрібну швидкість шліфування. Перегрів зразка при шліфуванні призводить до передчасного зносу абразивних матеріалів.

З метою попередження перегріву зразка і поліпшення санітарно-гігієнічних умов роботи необхідно здійснювати мокре шліфування. При цьому вода або поліруюча рідина подається слабким струменем в центр диска, що обертається.

Найбільш прогресивним методом шліфування (грубого і тонкого) є шліфування із застосуванням алмазних еластичних дисків (марки АСО100 / 80, АСМ-40) і алмазних паст (марки АСМ-40, АСМ-28, АСМ-20, АСМ-14, АСМ-10) різної зернистості, розроблених Інститутом надтвердих матеріалів АН України. Особливо ефективно їх застосування при шліфуванні твердих матеріалів. Алмазні пасту різної зернистості наносять безпосередньо на обертовий круг, покритий ватманом. У процесі такого шліфування утворюються більш тонкі риски, ніж при шліфуванні за допомогою абразивного паперу.

Перед шліфуванням м'яких кольорових металів і сплавів для поліпшення якості поверхні, підготовленої для полірування, на наждачний папір, укріплений на горизонтальному обертовому колі, завдають шар парафіну товщиною 1-2 мм. Після закінчення обробки поверхні на папері мінімальної зернистості зразки ретельно промивають і шліфують на повстятій шайбі з пастою ГОІ до появи блиску. Іншим різновидом цього методу є застосування пропарафіненого м'якого сукна. Сукно просочують розплавленим парафіном, надлишок парафіну віджимається, і ще тепла тканина натягується на полірувальний диск. Пропарафінену тканину потім змочують мильним розчином зі зваженим в ньому абразивним порошком. При послідовному застосуванні порошоків різної зернистості полірувальні диски ретельно промиваються чистою водою при переході від одного порошку до іншого.

Легкі сплави поліруються також із застосуванням алмазних паст типу АСМ-7, АСМ-5.

Шліфування зразків проводиться або вручну, або на верстатах з обертовим диском. Швидкість обертання шліфувальних дисків може змінюватися від 950 до 1500 хв^{-1} при діаметрах диска 200-300 мм. Малі швидкості обертання рекомендуються для м'яких сплавів і матеріалів, що можуть легко фарбувати включення.

2.1.2.2 Полірування зразків

Полірування можна здійснювати механічним, хімічним або електролітичним методами.

Механічне полірування зразків є завершальною операцією до травлення і здійснюється на щільному, хорошої якості сукні, велюрі, фетрі, туго натягнутих на горизонтальний круг. Перед поліруванням, а також періодично в процесі роботи сукно необхідно ретельно промивати в гарячій воді. Якість застосовуваної тканини в значній мірі позначається на результатах полірування: чим м'якше полірований метал, тим тонше повинна бути будова використовуюваного сукна. Для полірування застосовують ворсисті тканини. У ворсистій тканини важливі висота і еластичність ворсу. М'яка тканина з досить високим еластичним ворсом в поєднанні з дуже дрібним абразивним порошком дає поверхню без рисок, однак на шліфі можуть виникнути інші дефекти: рельєф, виривання неметалічних включень і завал країв зразка. Від таких дефектів позбавляє використання твердої неворсисті тканини, але в цьому випадку після полірування зберігаються тонкі риси. Тому полірування краще починати на щільній неворсистій тканині, а закінчувати короткочасним доведенням на ворсистій тканині.

Протягом всього періоду полірування матеріал необхідно змочувати водної поліруючої суспензією, для приготування якої можна застосовувати окиси алюмінію, хрому, заліза або магнію. Перед приготуванням суспензії порошки оксидів відмочують і фракцію, яка осіла протягом першої години, відкидають. Найбільш тонкий і рівномірний по зерну абразив для полірування виходить, якщо відбирається фракція, яка не осідає за 15-16 год. Як рідина для приготування суспензії застосовують дистильовану воду.

При поліруванні зразок найкраще тримати таким чином, щоб риси, що залишилися після шліфування, були розташовані перпендикулярно до напрямку обертання диска. Це полегшує контроль за результатами полірування в процесі роботи.

Процес полірування зразків неоднаково впливає на окремі структурні складові, які мають різну твердість. Тому при тривалому поліруванні на поверхні утворюється мікрорельєф, небажаний на зразках, призначених для дослідження при великих збільшеннях. Щоб уникнути цього явища механічне полірування слід закінчувати в якнайкоротший термін (3-8 хв). Якщо ж протягом цього часу не вдається усунути риси від попереднього шліфування, то операцію слід повторити на останньому номері паперу і повстяної (фетровій шайбі), а потім знову перейти до полірування на сукні.

Полірування на еластичному алмазному диску проводиться в умовах безперервного поливання диска дистильованою водою. Застосування алмазних порошоків паст марок АСМ, АСМ-1 і дрібніших особливо ефективно, але при поліровці твердих сплавів. Однак частинки алмазу однаково добре ріжуть тверді і м'які складові структури. Тому їх також доцільно застосовувати при наявності твердих складових у м'якій основі. В цьому випадку при звичайному поліруванні на шліфі утворюється рельєф, можливо викришування дрібних частинок. Алмазна поліровка майже повністю усуває ці дефекти. Полірування із застосуванням алмазних порошоків або паст досить ефективно також при підготовці зразків з різномірних металів, дозволяє отримувати шліфи без уступу, який зазвичай виходить при поліровці і ускладнює мікроскопічні дослідження.

Алмазні пасти наносять безпосередньо на м'яку тканину. Для підготовки кола діаметром 200-250 мм витрачається 0,2-0,5 см³ пасти. З одного підготування можна виготовити 100-120 шліфів з маловуглецевих і низьколегованих сталей. Тривалість алмазної поліровки визначається маркою сталі і розміром зразка.

Шліфування на абразивних матеріалах може викликати деформацію поверхневих шарів і спотворити структуру досліджуваного металу на глибину до 20-25 мкм. Це особливо характерно для м'яких і легко наклепуваних металів і сплавів. Звичайне одноразове полірування на сукні не усуває цього недоліку, тому рекомендується застосовувати багаторазове чергування полірування і травлення. У тих випадках, коли механічне полірування не забезпечує задовільну якість шліфів або не вдається усунути сліди наклепу в поверхневих шарах, слід застосовувати хімічне або електролітичне полірування.

Принцип хімічного полірування заснований на виборчому розчиненні виступів на полірованій поверхні без накладення електричного струму. Полірування здійснюється зануренням оброблюваної поверхні шліфа в поліруючий реактив.

Продуктивність хімічного полірування висока. Однак труднощі управління процесом травлення і забезпечення високої якості поверхні значно обмежують її застосування.

Електролітичне полірування - це процес анодного розчинення металу. Правильно підібраними складом електроліту, напругою, щільністю струму, температурою ванни і тривалістю полірування

можна відрегулювати процес таким чином, що виступи на поверхні зразка будуть розчинятися швидше. При цьому забезпечується висока якість полірованої поверхні і повністю усувається деформований шар. Проте електролітичне полірування має деякі недоліки, які в ряді випадків роблять її застосування небажаним. Так, електролітично поліровані зразки мають злегка хвилясту поверхню, що може в ряді випадків ускладнювати дослідження при великих збільшеннях. Чим ретельніше підготовлена поверхня механічним шліфуванням, тим менш чітко виражена хвилястість після електрополірування. Крім того, при електролітичному поліруванні відбувається переважне розчинення металу навколо фаз, що виділилися і неметалевих включень і тим самим спотворюються їх розміри.

Недотримання оптимальних режимів полірування викликає на поверхні зразка точкову корозію.

У зварних з'єднаннях наявність неоднорідності в металі шва і гами структур у вузькій ділянці колошовної зони викликає труднощі при необхідності одночасного електрополірування цих різнорідних ділянок. Застосування електролітів і режимів електрополірування, рекомендованих в різних роботах, виявляється в цьому випадку не завжди придатним.

Дуже часто при порушенні режиму електрополірування одночасно протікає процес електротравлення. Це явище не завжди бажано. Однак у багатьох випадках воно може бути використано при відповідному підборі режиму для одночасного якісного електрополірування і виявлення мікроструктури.

При виборі і складанні розчинів для електрополірування або коригування його складу для відомих режимів полірування необхідно керуватися наступними вимогами. Електроліт повинен розчиняти матеріал анода (зразка), а також мати мінімальну в'язкість, так як він визначає якість полірованого шару, який утворюється на поверхні зразка. Слід вибирати електроліт, який працює при кімнатній температурі і мало схильний до впливу її коливань, так як під час полірування важко витримати задану температуру електроліту. Електроліт повинен бути легким у виготовленні що готується, стабільним і безпечним у використанні.

При виготовленні електролітів необхідно дотримуватися загальних правил змішування кислот. Особливої обережності слід

Ця установка характерна тим, що в ній є можливість переходити з режиму електротравлення на режим електрополірування, досягаючи в останньому випадку великої щільності струму при напрузі до 250 В, Установка забезпечена реле часу і блокуванням, що забезпечує дотримання точності витримки і безпеки праці при високій напрузі.

2.2 Макроструктура зварних з'єднань та методи її виявлення

Макроструктурний аналіз є найбільш поширеним методом попередньої оцінки якості зварного з'єднання, виконаного тим чи іншим способом зварювання.

Під макроструктурою зварних з'єднань слід розуміти їх будову, яку можна спостерігати на поверхні макрошліфов, приготованих з цих сполук, неозброєним оком і при збільшенні до 30 разів. Макрошліфом називають зразок зі шліфованої і протравленою поверхнею, вирізаний із зварного з'єднання з метою макродосліджень. В окремих випадках, коли необхідно визначити макроструктуру, не вдаючись до вирізання спеціального зразка, макрошліф виготовляється безпосередньо на зварному з'єднанні.

Важливою перевагою макроструктурного аналізу є можливість оцінки з його допомогою великих ділянок зварного з'єднання, наприклад, будови металу або виявлення дефектів по всьому поперечному перерізу зварного з'єднання, навіть в разі металу великої товщини.

У зварних з'єднаннях методом макроструктурного аналізу виявляють форму і розміри шва, площу і форму провару основного металу, спрямованість, зростання і розміри кристалітів, розміри і форму колошовної зони, наявність у з'єднанні і основному металі різних дефектів: непроварів, тріщин, пор, шлакових включень, хімічної неоднорідності і т. п.

На основі даних макроструктурного аналізу можна скласти попереднє і вельми певне уявлення про якість зварного з'єднання і про ті зміни, які потрібно внести в технологію зварювання для поліпшення якості з'єднань.

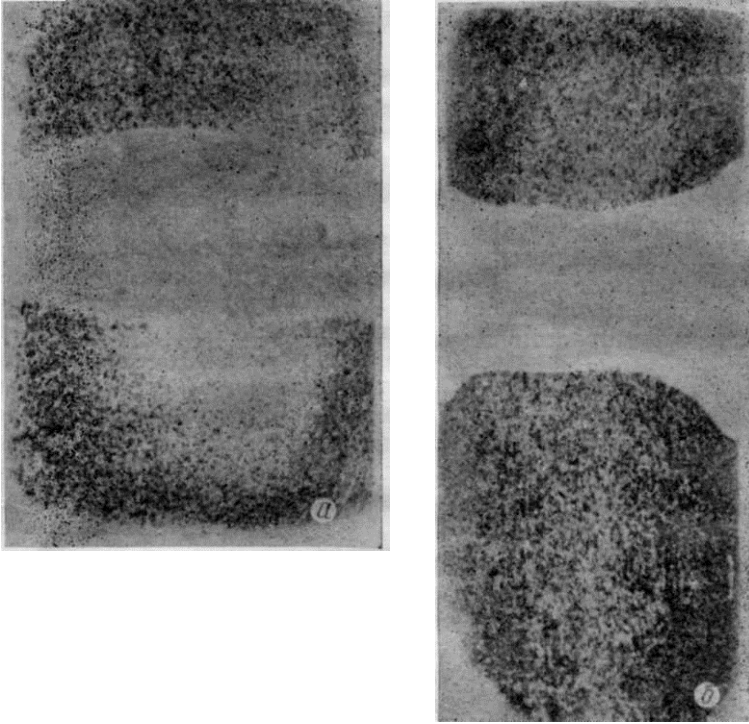
Способи виявлення макроструктури зварних з'єднань залежать від їх хімічного складу. Існує велика кількість найрізноманітніших

реактивів для виявлення макроструктури металів і сплавів. Однак не у всіх випадках реактив, рекомендований для виявлення макроструктури металів і сплавів, придатний для травлення металу зварних швів подібного хімічного складу. Це пояснюється специфічними умовами кристалізації металу шва (малий об'єм рідкої ванни, великі швидкості кристалізації та ін.). В порівнянні з умовами кристалізації злитків, що приводять до менш чітко вираженою неоднорідності і в багатьох випадках ускладнюють виявлення макроструктури зварних швів.

В інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона АН України випробувано велику кількість рекомендованих реактивів і запропонований ряд нових розчинів для виявлення макроструктури. Всі наведені реактиви розділені на групи. Перші дві групи включають реактиви для травлення зварних з'єднань сталей різних класів і чавунів. В інших групах наведені реактиви для травлення кольорових і тугоплавких металів. Всі реактиви, крім реактивів другої групи, дозволяють виявити первинну кристалізацію в зварних швах (дендритну неоднорідність), колошовну зону, а також всі види порушення цілісності металу (непровари, тріщини, пори, шлакові включення). Реактиви другої групи відносяться до реактивів глибокого травлення. З їх допомогою в зварних з'єднаннях сталей різних класів можна виявити шарувату будову металу шва, що не виявляється при травленні реактивами першої групи. Реактиви глибокого травлення слід застосовувати також для виявлення в зварних з'єднаннях дрібних дефектів: міжкристалічних тріщин, дрібних пор т. п.

Крім цих методів виявлення макроструктури зварних з'єднань, є ще метод зняття відбитків по Бауману, що дозволяє визначити розподіл сульфідів в зварних з'єднаннях (рис. 2.2).

Сутність його полягає в наступному. Бромосрібний папір протягом 10-20 хв обробляють на світлі в 4-5% -ному водному розчині сірчаної кислоти, після чого його просушують між листами фільтрувального паперу до повного видалення крапель розчину, щільно притискають до відполірованої поверхні шліфа і прокочують гумовим валиком для видалення з-під паперу бульбашок повітря. Після чотирьохвилинної витримки фотопапір знімають і обробляють у фіксажі. Коричневі плями, що утворилися на фотопапері вказують місця скупчення сульфідів.



а - сталь 22К; б - сталь Ст 3.

Рисунок 2.2 – Відбитки по Бауману зварних з'єднань

2.3 Мікроструктури зварних з'єднань та методи її виявлення

Між мікроструктурою металу і його багатьма фізико-механічними властивостями існує певна залежність. Цим можна пояснити широке застосування мікроструктурного аналізу не тільки для дослідження металів, але і як методу технічного контролю в промисловості. Вивчення мікроструктури зварних з'єднань дозволяє більш глибоко проникнути в суть процесів, що відбуваються в металі при кристалізації шва і в твердому стані, а також в ділянках основного металу, що прилягають до шву і піддаються при зварюванні нагрівання до температур вище критичних.

Мікроструктура досліджується за допомогою оптичних (рис. 2.3) і електронних мікроскопів, роздільна здатність яких дозволяє виявляти найтонші елементи будови металевих сплавів: блокову будову тіла зерна, характер розташування карбідів, їх форму і розміри, наявність сегрегації, процеси зародження нових фаз і т. п.

У металографічному мікроскопі зображення отримують шляхом відбиття світла від плоскої поверхні мікрошліфа (рис. 2.3).

Конденсор 2 і діафрагма 3 служать для створення вузького паралельного пучка світла. Плоскопаралельна пластинка 4 і призма повного відображення 7 служать для зміни напрямку світлових променів. При фотографуванні призму 7 висувають.

Збільшення створюється двома системами лінз: об'єктивом 5 і окуляром 8. Загальне збільшення мікроскопа дорівнює:

$$V = V_{об} \cdot V_{ок},$$

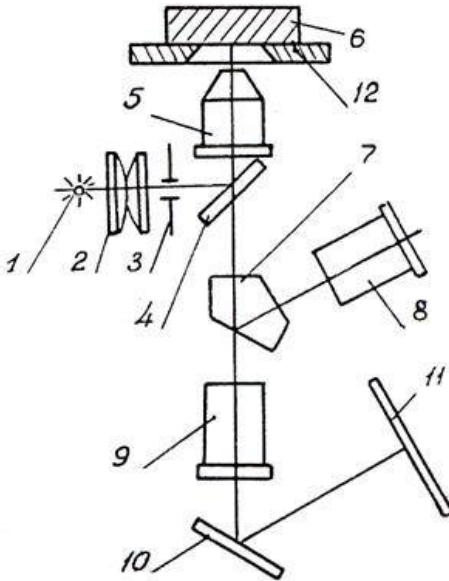
де $V_{об}$ - збільшення об'єктива;

$V_{ок}$ - збільшення окуляра.

Мікроструктурний аналіз дозволяє вивчити структуру металів, яка формується при їх кристалізації з рідкого стану, а також виникає в результаті перетворень в металах у твердому стані. Структури, що утворилися в першому випадку носять назву первинних, у другому випадку - вторинних. Таким чином, під первинною структурою слід розуміти характер розташування, розміри і форму первинних кристалітів, що утворилися в процесі затвердіння зварювальної ванни, а під вторинною - дійсну структуру, сформовану в результаті фазових перетворень, що відбулися в шві і колошовної зоні після затвердіння зварювальної ванни.

Дослідження мікроструктури металевих зразків в оптичному мікроскопі засноване на відображенні світлових променів від досліджуваної поверхні. Тому поверхня шліфа повинна бути ретельно відшліфована за методикою, описаною вище. Остаточною операцією в підготовці шліфів для дослідження є виявлення мікроструктури досліджуваних зразків.

Більшість способів виявлення мікроструктури зводиться до виявлення кордонів між фазами, зернами і фарбування фаз або структурних складових.



1 - джерело світла; 2 - конденсор; 3 - діафрагма; 4 - плоскопаралельна пластинка; 5 - об'єктив; 6 - мікрошліф; 7 - призма повного внутрішнього відображення; 8 - окуляр; 9 - окуляр; 10 - дзеркало; 11 - фотопластинка; 12 - предметний столик

Рисунок 2.3 - Принципова оптична схема металографічного мікроскопа

Основні способи виявлення мікроструктури: хімічне травлення розчинами; електрохімічне травлення за допомогою електричного струму; теплове і катодне травлення; травлення в солях при підвищених температурах.

При виборі способу травлення виходять зазвичай з умов найбільш повного і якісного виявлення загальної мікроструктури, простоти методики і повторюваності результатів, що отримані. Найбільш поширені методи хімічного і електрохімічного травлення. Інші методи виявлення мікроструктури, наприклад травлення в солях при підвищених температурах, катодне травлення та ін., застосовують порівняно рідко.

Хімічне травлення металів в розчинах є електрохімічним процесом. Протравлену поверхню шліфа можна розглядати як багатоелектродний гальванічний елемент, в якому структурні складові металу є мікроскопічними електродами - анодом і катодом.

Структурні складові, які мають найбільш високий негативний електродний потенціал, є анодами і, розчиняючись в травнику, утворюють западину. Складові з позитивним електродним потенціалом - катоди - не розчиняються. Чим більше різниця в величині електродних потенціалів фаз, тим швидше може бути виявлена мікроструктура сплаву.

При незначній різниці у величині електродних потенціалів фаз слід застосовувати електролітичне травлення. В цьому випадку потенціал, що накладається ззовні значно перевищує потенціали окремих мікроелементів і основним фактором, що визначає ступінь виявлення різнорідних структурних складових, стає їх здатність проводити електричний струм. Складові, що погано проводять або зовсім не проводять електричний струм (карбіди, сульфіді, неметалеві включення і ін.) не піддаються помітному розчиненню і утворюють на поверхні рельєф.

Як правило, виявлення вторинної мікроструктури не викликає особливих труднощів. Набагато важче виявити первинну структуру зварних швів. Звичайні методи хімічного травлення в першу чергу виявляють вторинну мікроструктуру, яка вуалює первинну структуру і ускладнює її дослідження.

Значно простіше первинна структура виявляється електролітичним методом. При цьому в результаті виборчого розчинення ділянок хімічної неоднорідності виявляється дендритна будова металу шва.

Методами хімічного травлення вдається виявити тільки хімічну і структурну неоднорідність по верствам кристалізації. Цей вид неоднорідності, обумовлений переривчастою кристалізацією зварних швів, полягає в тому, що прикордонні ділянки окремих шарів досить суттєво відрізняються за вмістом сірки, фосфору і вуглецю.

Найбільш поширеними травниками (Додаток А) для виявлення мікроструктури зварних з'єднань маловуглецевих, вуглецевих, низько- і середньолегованих сталей є спиртові розчини азотної і пікринової кислот. Розчини азотної кислоти зазвичай застосовуються з концентрацією 2-5%. Час травлення залежить від хімічного складу шва і його структурного стану. Дрібнодисперсні структури витравляються інтенсивніше. Чисто феритні і мартенситні структури виявляються повільніше перлітових.

При травленні розчинами азотної кислоти часто утворюються окисні плівки, що перешкоджають чіткому виявленню структури. При травленні розчинами пікринової кислоти такі плівки не утворюються.

Травлення пікриновою кислотою мартенситних структур дозволяє не тільки отримати чіткий рисунок мартенситу, а й виявляє найдрібніші карбіди. При фарбуванні пікриновою кислотою мартенситу, бейніту і сорбіту в темний колір добре розрізняються карбіди, що не травляться. Якщо досліджується мілкодисперсна структура середньолегованих сталей, що погано витравляється пікриновою кислотою, слід використовувати суміш кислот (1:1) 1%-ної азотної і 4%-ної пікринової.

Широке застосування знайшли суміші пікринової і соляної кислот.

Для виявлення структури зварних швів вуглецевих сталей можна застосовувати спиртовий розчин хлорного заліза (краще застосовувати метиловий спирт) з добавкою соляної кислоти (електролітичне травлення).

Для виявлення структури швів на чавунах використовують ті ж реактиви, що і для сталі. Сплави з графітом слід витравляти неконцентрованими спиртовими розчинами. Для травлення зазвичай використовують спиртові розчини азотної і пікринової кислот, водні розчини хлорного заліза і надсірчаноокислого амонію. Дендритну структуру чавунів виявляють хромовим ангідридом, сірчаною і борною кислотами, хлорною міддю в суміші кислот, а також розчинами молочної кислоти (травлення чергується з переполіруванням).

Мікроструктура швів у жароміцних і нержавіючих сталей виявляється значно важче, ніж у розглянутих вище класів сталей. Ця група сталей відрізняється великою різноманітністю за хімічним складом і властивостями. Як легуючі елементи вони містять в різних комбінаціях хром, нікель, кобальт, молібден, вольфрам, ніобій, титан, алюміній і т.д. Їх структура і здатність до травлення значно змінюються в залежності від складу і термічної обробки. Легуючі елементи підвищують хімічну стійкість твердих розчинів. Тому для виявлення структури високолегованих сталей потрібні більш концентровані розчини кислот, а також більш активні солі, ніж для вуглецевих сталей. Все це дуже ускладнює виявлення структури і

вимагає від експериментатора великих навичок і ретельності при виконанні всіх операцій.

Основними структурними складовими високолегованих сталей є мартенсит, ферит, аустеніт, карбіди та інтерметалідні фази. Перліт, бейніт і мартенсит виявляються розчинами азотної і пікринової кислот, а в ряді випадків - спеціальними травниками. Виявлення фериту і аустеніту зводиться до виявлення чітких меж між ними. Залежно від системи легування сталі це досягається травленням розчинами міцних або розбавлених кислот, а також кислими розчинами добре дисоціюючих солей. Наприклад, ферит кременистих сталей виявляється в розчинах азотної кислоти або в її суміші з іншими кислотами (сірчаної, плавикової, оцтової і т. д.). Щоб уникнути роз'ятрування структури для травлення кременистого фериту слід застосовувати спиртові розчини. Для травлення хромистого фериту застосовують розчини надсірчано-кислого амонію, хлорного заліза, лужні розчини червоної кров'яної солі і т. п.

Поділ фериту і аустеніту може бути досягнуто шляхом травлення міцними соляною і азотною кислотами з гліцерином або перекисом водню, пікриновою кислотою з хлорною міддю, солянокислим розчином мідного купоросу і ін. Застосування цих реактивів дає можливість відрізнити ферит від аустеніту (ферит забарвлюється, аустеніт залишається світлим).

Для виявлення аустенітної структури найбільш часто використовуються розчини хлористого заліза, сірчано-кислої міді, царської горілки і т. п. При додаванні в розчин окислювачів типу двохромово-кислого калію або перманганату калію травлення аустенітних сталей йде більш інтенсивно, а введення в розчин гліцерину, спиртів зменшує агресивність кислотних розчинів, і якість травлення поліпшується. Оцтова кислота окремо або в суміші з іншими травниками добре виявляє структуру нікелю і його сплавів.

Для виявлення мікроструктури швів алюмінію і сплавів на його основі в більшості випадків використовують водні розчини кислот і лугів і порівняно рідко - розчини солей. Луги утворюють на поверхні шліфа чорний осад, який видаляється промиванням зразка у воді з наступним зануренням шліфа в хромову кислоту. Після травлення шліфа в плавиковій кислоті (1-8%-ні розчини) чорний осад видаляється миттєвим зануренням зразка в концентровану азотну кислоту.

Для розпізнавання фаз в алюмінієвих швах, як правило, проводиться послідовне травлення мікрошліфа кількома реактивами. Однак диференціацію окремих фаз можна проводити перед травленням. Так, кремнієва фаза має сірий колір, з'єднання Al_3Fe - червонувато-пурпурний, Al_2Cu - рожево-ліловий, Mg_2Si і $AlCuMg$ - темні кольори, причому Mg_2Si - з синюватим відтінком. Універсальним травником для магнієвих сплавів є розчин щавлевої або оцтової кислоти.

Для виявлення структури зварних з'єднань міді і сплавів на її основі застосовуються кислотні та лужні водні розчини. Часто в якості реактиву використовуються аміак і перекис водню з добавкою персульфата амонію, хромового ангідриду або хлорного заліза. Розчини аміаку і хромової кислоти добре виявляють кордони зерен. Уповільнення впливу азотної кислоти досягається додаванням до неї оцтової кислоти і гліцерину.

Мікроструктура швів латуні і бронзи в більшості випадків виявляється тими ж реактивами, що і шви міді. Однак найкращі результати досягаються при їх травленні в розчинах аміаку з перекисом водню, до складу яких входить хромовий ангідрид або сіль діхромату. При цьому контрастність виявлення структури посилюється, якщо в розчині додати кілька крапель концентрованої азотної або сірчаної кислоти.

Підбором відповідних травників і послідовності травлення в швах сплавів міді можна зробити диференціацію фаз. Наприклад, в латунях під дією хромової кислоти α -фаза забарвлюється в темніший колір, ніж β' -фаза. У залізо-марганцево-цинкових латунях при травленні аміаком з перекисом водню темніше стає залозиста фаза; в кременистих латунях фаза, багата кремнієм, має блакитний колір, алюмінієво-нікелева фаза стає сірою. Солянокислі розчини хлорного заліза забарвлюють в темний колір β -фазу в латунях і α -фазу в бронзах.

В олов'яних бронзах дослідження α -розчину визначається вмістом в ньому олова. Чим більше олова, тим слабкіше витравляється і стає світліше α -розчин. У зв'язку з цим при травленні в розчинах персульфата амонію або в розчині хлорного заліза (хлорної міді) осі дендритів в олов'янистих бронзах темніші, ніж міжвісні ділянки. В нікель-молібденових бронзах осі дендритів фарбуються в

темніший колір, ніж міжвісні ділянки (травлення солянокислим розчином з додаванням хромового ангідрида), і т. д.

Мікроструктура швів титану і його сплавів виявляється в розчинах плавикової кислоти з добавкою азотної кислоти в різних співвідношеннях. Водні розчини витравляють дуже швидко. Заміна води гліцерином або гліколем уповільнює швидкість і покращує якість травлення.

Мікроструктура швів тугоплавких металів виявляється в розчинах, що містять азотну, плавикову і соляну кислоти. Для більшості тугоплавких металів потрібний більш тривалий час травлення, ніж для сталей, і повторні переполірування. Структура хромистих швів виявляється найкраще в розчинах, що містять соляну або хромову кислоту. Зі збільшенням вмісту хрому в шві час травлення слід збільшувати.

Сплави вольфраму зазвичай витравляються у водних розчинах, що містять плавикову і азотну кислоти. Значно повільніше виявляється структура при травленні в розчинах надсірчаноокислого амонію. Кращими травниками для литого кобальту є розчини, які містять соляну і сірчану кислоти з сірчаноокислою міддю або соляну кислоту з хлорним залізом. Для травлення кобальту можуть також застосовуватися розчини, що виявляють структуру нікелю і його сплавів.

Структура цирконію, ніобію і їх сплавів виявляється в слабких розчинах азотної і плавикової кислот. Тантал і його сплави можна тріти в суміші водного розчину фтористого амонію і плавикової кислоти. Для виявлення структури срібла, золота, платини і паладію застосовуються концентровані кислоти або їх водні розчини. Найчастіше застосовують царську горілку. Структура сплавів срібла добре виявляється в суміші аміаку і перекису водню. Структура цинкових сплавів задовільно виявляється в слабких спиртових розчинах соляної кислоти. Структура свинцю і олова виявляється травленням в концентрованій або розведений соляній кислоті.

Підбір травника для виявлення мікроструктури шліфів різнорідних металів необхідно здійснювати таким чином, щоб в одному розчині досягалося виявлення мікроструктури металів, що зварюються і проміжних прошарків, якщо вони є. Однак на практиці в більшості випадків це здійснити не вдається, тому що важко підібрати травник, який однаково впливає на обидва метали. Виходячи з цього,

найбільш прийнятним слід вважати спосіб роздільного травлення металів.

3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Основні завдання металографічного дослідження.
2. Як повинен проводитися відбір проб?
3. У яких випадках слід застосовувати поздовжні розташування шліфів?
4. Як відбираються проби для порівняльних досліджень структури зварних з'єднань?
5. Як слід чинити, коли досліджуються маленькі зразки?
6. Як здійснюється вирізання зразків для макродосліджень?
7. Які переваги механічного вирізання зразків?
8. Яка операція є проміжною між вирізанням і поліруванням?
9. Яких правил слід дотримуватися при переході від шліфування крупнозернистим папером до дрібнозернистим?
10. Які матеріали використовуються в якості абразивних при шліфуванні зразків?
11. Як попередити перегрів зразків і санітарно-гігієнічні умови роботи при їх шліфуванні?
12. Які особливості шліфування м'яких кольорових металів і сплавів?
13. Способи полірування зразків.
14. Як уникнути завалу країв зразка під час полірування?
15. Як уникнути деформації поверхневих шарів і спотворення структур досліджуваного металу?
16. На чому заснований принцип хімічного полірування?
17. Який механізм електролітичного полірування?
18. Якими вимогами необхідно керуватися при виборі і складанні розчинів для електрополірування?
19. Які параметри зварних з'єднань визначають методом макроструктурного аналізу?
20. Від чого залежить вибір способу виявлення

макроструктури зварних з'єднань?

21. До чого зводиться більшість способів виявлення мікроструктури?

22. Які основні способи виявлення мікроструктури?

23. Основні складові принципової оптичної схеми металографічного мікроскопа і їх призначення.

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки із м'яких металів (олово, сплав свинцю і сурьми, заготовані сталі).
2. Набір шліфувальних шкурок та алмазної пасти.
3. Реактиви для травлення.
4. Прилад ПМТ-3.
5. Мікроскоп NU-2.
6. Полірувальний верстат.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Верстати і прилади, які використовуються при виконанні даної роботи підключаються до мережі змінного струму напругою 380 і 220 В. Тому існує небезпека ураження електричним струмом, а також травмування зразком при його поліруванні або шліфуванні. Для попередження нещасних випадків, а також пошкодження приладів і обладнання, необхідно виконувати певні вимоги безпеки:

1. Приступати до роботи після інструктажу з техніки безпеки у керівника роботи і засвоєння матеріалу даних методичних вказівок.
2. Включати прилади тільки за вказівкою викладача або лаборанта.
3. Виконувати тільки роботу, передбачену завданням.
4. Переконавшись в надійності заземлення верстата, електроізоляції кабелю і проводів.
5. Виявляти особливу уважність і акуратність при роботі.

6. Не торкатися рухомих і струмоведучих частин обладнання.
7. Працювати на верстаті із застебнутими манжетами рукавів.
8. Повідомляти викладачеві або лаборанту про виниклі несправності обладнання, не намагатися усунути їх самостійно.
9. Виконувати роботу при наявності в лабораторії не менше двох осіб.
10. Після закінчення роботи вимкнути обладнання і привести в порядок робоче місце.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

- 6.1. Виконується механічне полірування попередньо вирізаних зразків.
- 6.2. Вибираються реактив і проводиться травлення шліфів на неширокій полосі (5 – 7 мм) від краю зразка до середини.
- 6.3 Вивчається і фотографується структура на різних зразках.
- 6.4 Визначається мікротвердість.
- 6.5 Оформлюється звіт

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Найменування і мета роботи.
2. Характеристика матеріалу, який досліджується, його призначення.
3. Фото макроструктур та їх опис
4. Фото мікроструктур та їх опис .
5. Опис структур напиленого металу з вказівкою основних ознак структурних складових.
6. Висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Богомолова Н.А. Практическая металлография: Учебник для техн. училищ. - 2-е изд., испр. - М.: Высш. школа, 1982. - 272 с.
2. Карпов Ю.А. Савостин А.П. Методы пробоотбора и пробоподготовки. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 143 с.
3. Панов А.Г. Исследование микроструктуры методами автоматического анализа изображения ImageExpert Pro 3 и ImageExpert Sample 2.
4. Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу "Методы исследования материалов и процессов". - Наб. Челны: ИНЭКА, 2009. - 63 с.
5. ДСТУ 7175:2010 Метали і сплави. Методи металографічного контролювання. Терміни та визначення понять. – К.: Держспоживстандарт України. – 2011
6. ДСТУ 3295-95 Труби сталеві. Металографічний метод визначення забрудненості металу неметалевими включеннями. – К.: Держспоживстандарт України. – 2011
7. ГОСТ 1778-70 Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений.
8. ГОСТ Р ИСО 4967-2009 Сталь. Определение содержания неметаллических включений. Металлографический метод с использованием эталонных шкал.
9. ГОСТ 5640-68 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты.
10. ГОСТ 22838-77 Сплавы жаропрочные. Методы контроля и оценки макроструктуры.
11. ГОСТ 10243-75 Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры.
12. ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталоны микроструктуры.
13. ГОСТ 30415-96 Сталь. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом.
14. ГОСТ 9391-80 Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры.
15. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.

16. ГОСТ 1763-68 Сталь. Методы определения глубины обезуглероженного слоя.

17. ГОСТ 3443-87 Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры.

18. ГОСТ 9.908-85 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости

ДОДАТОК А

Найбільш поширені травники для виявлення мікроструктури зварних з'єднань

Найменування реактиву	Склад реактиву (відносна щільність)	Призначення і особливості застосування
Для травлення вуглецевих, низько- і середньолегованих сталей і чавуну		
Спиртовий розчин азотної кислоти - реактив Ржешотарського	Азотна кислота (1,42) 1-5 мл; етиловий або метиловий спирт 100 мл	Реактив виявляє структуру загартованої, відпущеної і відпаленої сталі. Він забарвлює перліт в темний колір, виявляють кордони зерен фериту, структуру мартенситу і продуктів відпустки.
Спиртовий розчин пікринової кислоти (реактив Іжевського)	Пікринова кислота (кристалічна) 4г Етиловий або метиловий спирт 100 мл	Застосовуються також для виявлення структури азотованої і цементованої сталі. Зі збільшенням кількості азотної кислоти зростає швидкість травлення. Тривалість травлення - від декількох секунд до хвилини
Для травлення високолегованих сталей		
Розчин азотної і соляної кислот в гліцерині	Азотна кислота (1,42) 10 мл; соляна кислота (1,19) 20-30 мл; гліцерин 30 мл	Для виявлення структури високохромистої, швидкокорізальної і аустенітної марганцевистої сталі в загартованому стані рекомендується проводити почергове травлення і полірування.
Царська горілка	HCl (1,19) 3 частини; HNO ₃ (1,48) 1 частина	Для виявлення структури нержавіючих сталей і сплавів. Перед застосуванням реактив треба витримати 20-30 годин

Розчин щавлевої кислоти	Щавлева кислота 10 г Вода 100 мл	Для виявлення карбідів і основної структури аустенітної нержавіючої сталі. Травлення проводиться електролітичним методом; анодом є шліф, а катодом - пластинка нержавіючої сталі. Напруга 3-6 В
Для виявлення карбідів, фосфідів, вольфрамідів		
Лужний розчин пікрату натрію	Пікринова кислота 2 г; Їдкий натр 25 г; Вода 100 мл	Для виявлення цементиту, який забарвлюється в темний колір; карбіди хрому і вольфраму не фарбуються. Реактив застосовується в киплячому стані
Лужний розчин червоної кров'яної солі	Червона кров'яна сіль 10 г Їдкий калій 10 г Вода 100 мл	Застосовується в гарячому стані для виявлення хромистих карбідів, вольфрамідів в швидкорізальній та інших сталях. Виявляє фосфіди в фосфідній евтектиці. Фосфід забарвлюється в темний колір
Для виявлення ліній напружень		
Солянокислий розчин хлорної міді	HCl 40 мл; CuCl ₂ 5 г; вода 30 мл Етиловий спирт 25 мл	Для виявлення напружень і твердіння сталі. Реактив застосовується на холоді. Час травлення - до 10 с
Мідь і її сплави		
	15 см ³ HCl; 5 г FeCl ₃ ; 100 см ³ води	Час травлення від 30 сек. до 2 хв. Шліф витравлюють послідовним втиранням, а потім занурюють у реактив
Алюміній і його сплави		
5-20-% розчин NaOH в воді		Витравлюють шліф зануренням або втиранням від 30 с. до 1 хв. Темний наліт, що утворюється на шліфі, видаляють зануренням в концентровану азотну кислоту

ДОДАТОК Б

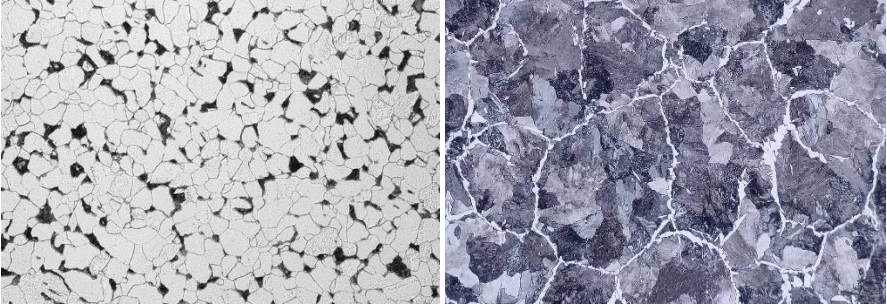
Формули хімічних речовин

Аміак	NH_3
Азотна кислота	HNO_3
Азотнокислий калій	KNO_3
Азотнокисле залізо	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
Азотнокисле срібло (окисне)	AgNO_3
Бром	Br
Вода	H_2O
Гліколь (етиленгліколь)	$\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$
Гліцерин	$\text{CH}_2\text{OHCHONCH}_2\text{OH}$
Двохромовокислий калій (хромпик)	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Їдкий калій	KOH
Їдкий натр	NaOH
Жовта кров'яна сіль (калій залізисто-ціаністий)	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Закис заліза	FeO
Йод	I
йодистий калій	Kj
Червона кров'яна сіль	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$
Лимонна кислота	$\text{HOOCC}(\text{OH}) (\text{CH}_2\text{COOH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Лимоннокислий двозаміщений амоній	$\text{HOOCC}(\text{OH}) (\text{CH}_2\text{COONH}_4)_2$
Лимоннокислий калій	$\text{KOCC}(\text{OH}) (\text{CH}_2\text{COOK})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Мідь-амоній хлористий	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{NH}_4\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Метиловий спирт	CH_3OH
Молочна кислота	$\text{CH}_3\text{CHONCOOH}$
Надсірчаноокислий амоній	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$
Натрій серноватистоокислий (гіпосульфід натрію)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Нашатирний спирт (аміак водний)	NH_4OH
Ортофосфорна кислота (щільність 1,65)	H_3PO_4
Окис заліза	Fe_2O_3

Перекис водню	H_2O_2
Перманганат калію	KMnO_4
Пікринова кислота	$(\text{NH}_2)_3\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}$
Пирогаллова кислота	$\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$
Плавикова кислота (57% -ва)	HF
Сірчаноокислий амоній	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Сірчаноокислий алюміній	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
Сірчаноокисла мідь	CuSO_4
Сірчаноокислий натрій	Na_2SO_4
Сірчана кислота (щільність 1,81)	H_2SO_4
Соляна кислота	HCl
Оцтова кислота	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$
Оцтовий альдегід	CH_3CHO
Оцтовокислий свинець	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$
Оцтовокислий амоній	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$
Оцтовий ангідрид	$(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$
Фтористий амоній	NH_4F
Хлорна кислота	HClO_4
Хлорна мідь	CuCl_2
Хлорне залізо	FeCl_3
Хлористий алюміній	AlCl_3
Хлористий кальцій	CaCl_2
Хлористий магній	MgCl_2
Хлориста мідь	CuCl
Хлористий натрій	NaCl
Хлористе олово	SnCl_2
Хлориста ртуть	Hg_2Cl_2
Хлористий цинк	ZnCl_2
Хромовий ангідрид	CrO_3
Щавелева кислота	$\text{HOOC}\text{COOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Етиловий спирт	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

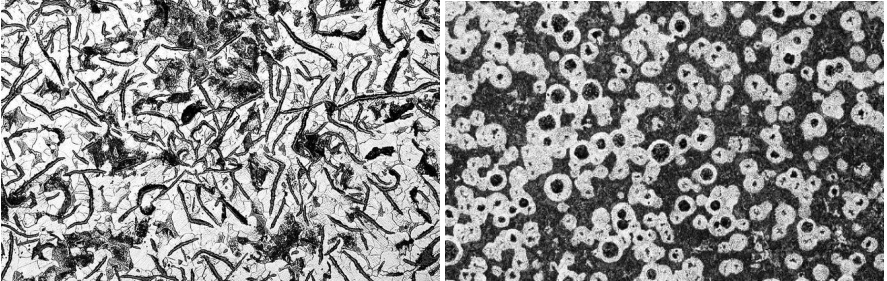
ДОДАТОК В

Структури сталей та сплавів



а

б



в

г



д

а – ферит + перліт; б – заевтектоїдна сталь У12; в – сірий чавун з пластинчастим графітом; г - високоміцний чавун з кулеподібним графітом; д – мідь

