

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Фізичні та металургійні процеси при зварюванні»

для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка»
освітніх програм «Технології та устаткування зварювання»,
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»
усіх форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Фізичні та металургійні процеси при зварюванні» для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітніх програм «Технології та устаткування зварювання», «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укладач: В.В. Нетребко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 22 с.

Укладач: В.В. Нетребко, професор, докт. техн. наук

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

Редактор: І.П. Аверченко, ст. лаб.

Відповідальний
за випуск: В.В. Нетребко, професор, докт. техн. наук

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри ІТЗ та МК
Протокол №5 від 29.11.2024 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №4
від 17.12.2024 р.

ЗМІСТ

- 1 Загальні положення
- 2 Лабораторні роботи
 - 2.1 Лабораторна робота №1 Вплив вуглецю на структуру та властивості сталей
 - 2.1.1 Контрольні запитання до лабораторної роботи №1
 - 2.2 Лабораторна робота № 2
 - 2.2.1 Частина 1. Аналіз змін структури та твердості вуглецевої сталі у зоні біля шва при зварюванні
 - 2.2.2 Частина 2. Визначення ширини зони біля шву зі зміненою структурою та твердістю
 - 2.2.3 Частина 3. Вплив легування на зміни структури та твердості у зоні біля шву
 - 2.2.4 Контрольні запитання до лабораторної роботи №2. ч.1
 - 2.2.5 Контрольні запитання до лабораторної роботи №2.ч.2
 - 2.2.6 Контрольні запитання до лабораторної роботи №2.ч.3
 - 2.3 Лабораторна робота № 3 Вплив легування на виникнення в вуглецевих сталях напружень 1, 2 та 3
 - 2.3.1 Контрольні запитання до лабораторної роботи №3
 - 2.4 Лабораторна робота № 4 Розчинення та виділення карбідів при зварюванні вуглецевих сталей
 - 2.4.1 Контрольні запитання до лабораторної роботи №4
 - 2.5 Лабораторна робота № 5 Карбідні перетворення в нержавіючих сталях при зварюванні
 - 2.5.1 Контрольні запитання до лабораторної роботи №5
- 3 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання
- 4 Порядок виконання роботи
- 5 Вказівки з охорони праці та техніки безпеки
- 6 Зміст звіту
- 7 Рекомендована література

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою лабораторних робіт з дисципліни «Фізичні та металургійні процеси при зварюванні» є засвоєння студентами фізичних явищ, металургійних і хімічних процесів, що відбуваються при зварюванні сталей різного хімічного складу та розуміння основних закономірностей, що визначають напрямок хімічних процесів та їх швидкість, вплив середовища, фізичних факторів (тиску та температури) на фазові перетворення, розподіл та перерозподіл елементів.

Завданням лабораторних робіт є засвоєння студентами сутності фізичних і металургійних процесів і фізичних явищ та розуміння основних закономірностей, що визначають напрямок процесів їх швидкість, вплив середовища, фізичних факторів (тиску та температури) на фазові перетворення, розподіл та перерозподіл елементів.

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен ознайомитись зі змістом роботи, усвідомити її мету та завдання, виконати теоретичну підготовку; засвоїти правила техніки безпеки при виконанні робіт в лабораторії, відповісти на контрольні питання викладача і отримати дозвіл на виконання роботи. Прийом (здача) лабораторних робіт проводиться викладачем по мірі їх виконання та оформлення.

Звіт про виконання лабораторної роботи повинен вміщати:

- опис методики проведення експериментів;
- ескізи досліджуваних зразків;
- результати експериментів у вигляді таблиць та графіків;
- аналіз отриманих результатів та висновки по роботі,

повинен містити інформацію про вплив режимів зварювання чи наплавлення на величину деформацій або залежність залишкових напружень та деформацій від властивостей матеріалу.

Під час прийняття (здачі) лабораторної роботи студенти розповідають про порядок проведення роботи, наводять отримані результати і залежності. Висновки повинні бути конкретними, на підставі отриманих результатів. Студенти відповідають на запитання викладача, що стосуються безпосередньо виконаної лабораторної роботи, яку здають.

2 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

2.1 Лабораторна робота № 1

Вплив вуглецю на структуру та властивості сталей

Метою лабораторної роботи є дослідження впливу вуглецю на структуру та властивості сплавів у стабільній та метастабільній системах Fe-C (рис.2.1.1, рис.2.1.2).

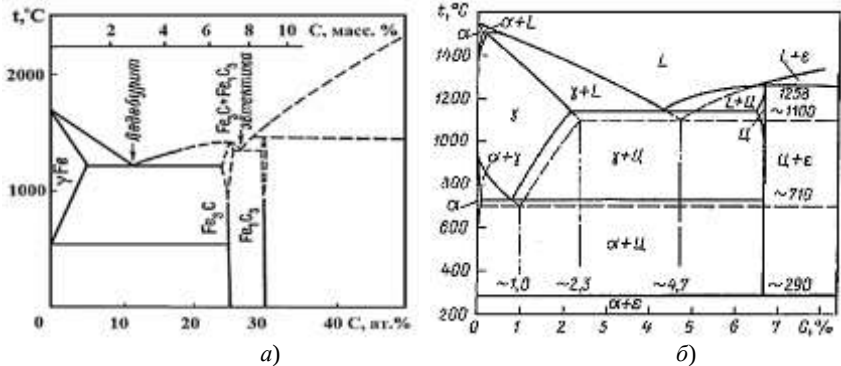


Рисунок 2.1.1 – Діаграма Fe-C за даними А.О. Жукова (а) та Г.І. Сільмана (б)

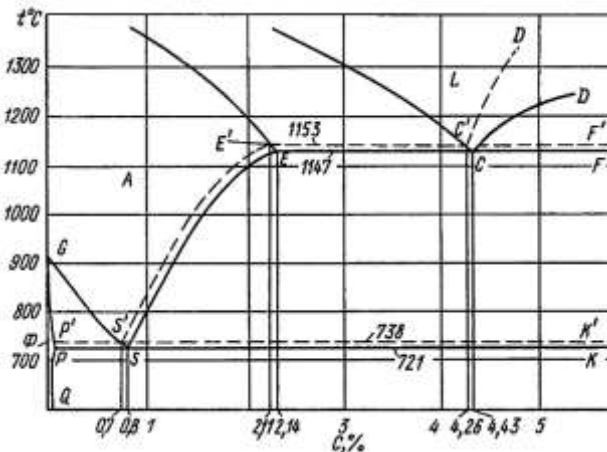


Рисунок 2.1.2 – Діаграма Fe-Fe₃C (суцільна), Fe-C (пунктирна)

В процесі виконання лабораторної роботи студенти знайомляться із процесами структуроутворення при кристалізації,

охлажденні та нагріванні з подальшим охолодженням. Дослідження сплавів із різним вмістом вуглецю відбувається за пропозицією викладача. Студенти повинні визначити фази та структури, що утворюються в заданому сплаві при кристалізації, охолодженні. Зміни властивостей сталей від вмісту С показано на рис.2.1.3.

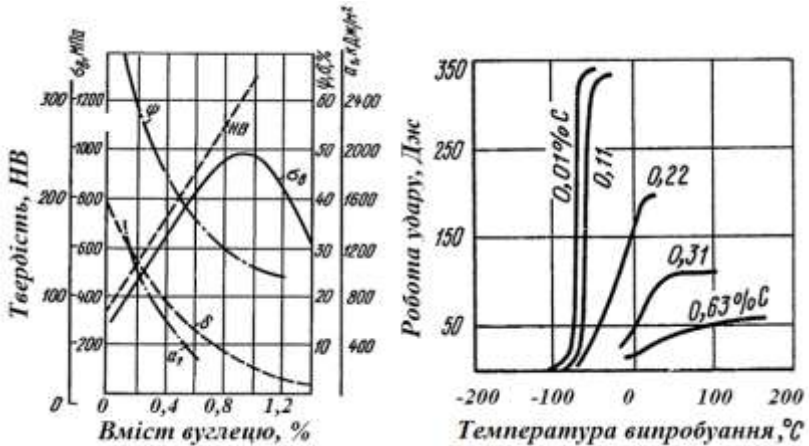


Рисунок 2.1.3 – Вплив вуглецю на властивості сталей

2.1.1 Контрольні запитання

1. Вкажіть, що є ознакою металів у твердому стані.
2. Який тип кристалічної ґратки може утворити залізо?
3. Який тип кристалічної ґратки у сталі при 20 °С?
4. Який тип кристалічної ґратки у сталі при 800 °С?
5. За якої температури відбувається перетворення кристалічної ґратки заліза при нагріванні від 20 °С?
6. Вкажіть визначення «Внутрішня енергія системи».
7. Вкажіть визначення сталі.
8. Як називають сплав заліза з вуглецем, що містить від 2,14 % до 6,67 % вуглецю?
9. Вкажіть, який чавун має графіт у формі пластин?
10. За яким структурним компонентом чавун відрізняється від сталі у стабільній системі Fe-C?

11. За яким структурним компонентом чавун відрізняється від сталі у метастабільній системі Fe-C?

2.2 Лабораторна робота № 2

2.2.1 Частина 1. Аналіз змін структури та твердості вуглецевої сталі у зоні біля шва при зварюванні

Метою лабораторної роботи є дослідження процесів, що відбуваються у зонах біля шва в процесі нагріву та охолодження, а саме зміни у структурі та твердості. Під час охолодження відбувається розпад аустеніту. Характер продуктів розпаду залежить від швидкості охолодження (рис. 2.2.1). Зварювальне стикове з'єднання у поперечному перетині має декілька ділянок із різними механічними властивостями. Це, передусім, сам шов, зварюваний метал у стані прокату, зона біля шва, яка може зазнавати структурні перетворення у залежності від температури нагрівання (зона нормалізації, зона рекристалізації, зона високого відпуску, зона низького відпуску та інші) (рис. 2.2.2).

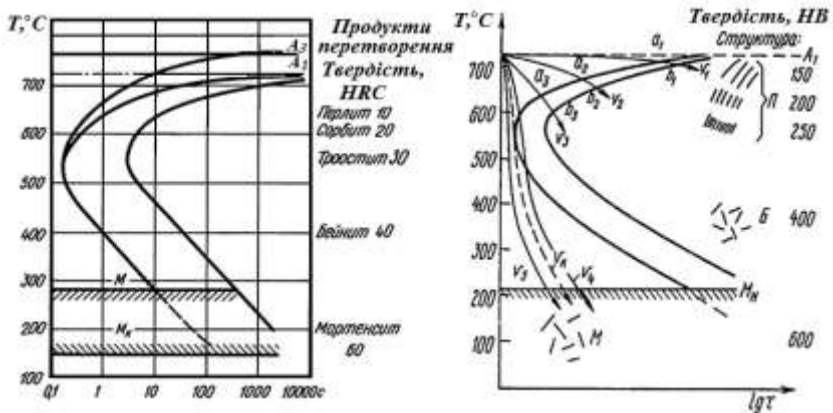
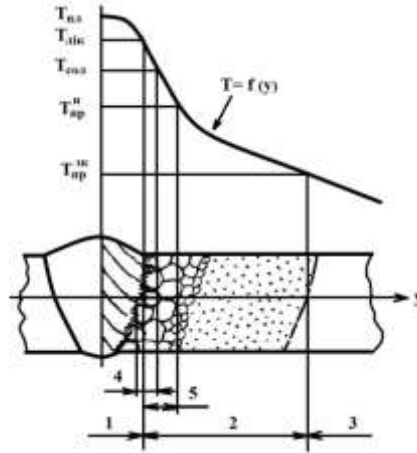


Рисунок 2.2.1 – Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту



1 – шов; 2 – зона термічного впливу; 3 – зварювальний метал; 4 – зона сплавлення;
5 – зона біля шва

Рисунок 2.2.2 – Зони термічного впливу процесу зварювання на матеріал деталей

Безпосередньо зона шва може бути умовно поділена на зону рідкого металу із температурою плавлення ($T_{пл}$), зону кристалізації із температурою початку утворення кристалів – температура ліквідус сплаву ($T_{лік}$) та температурою повного твердого стану – солідус ($T_{сол}$). Температура початку термічних перетворень ($T_{пр}$) структури зварювального матеріалу відповідає температурам поліморфного перетворення та реструктуризації, характерної для цього сплаву. У різних матеріалах, у цих зонах може відбуватися як зміцнювання (збільшення твердості), так і знеміцнення (зменшення твердості). В тій чи іншій мірі для усіх з'єднань характерна відмінність механічних властивостей металу на різних ділянках, так звана механічна неоднорідність. Загалом, розглядають неоднорідність властивостей, а саме, зміну твердості у різних зонах в поперечному перетині зварного з'єднання. Зони, де метал має знижену границю плинності і твердості, відносно границі плинності та твердості сусідніх ділянок металу, називають м'якими прошарками.

2.2.2 Контрольні запитання до лабораторної роботи

1. Що є причиною зменшення реальної міцності металів?
2. Як впливає на міцність кількість дислокацій?
3. Скільки існує основних агрегатних станів речовини?
4. Що може визвати зміну агрегатного стану?
5. Як впливає температура на міцність сталі?
6. Яку будову мають метали після кристалізації в реальних умовах?
7. Перерахуйте методи визначення твердості матеріалів.
8. Вкажіть особливості застосування різних методів вимірювання твердості.
9. Чому вуглецеві сталі, що містять понад 0,25% С не рекомендовані для зварювання?

2.2.3 Частина 2. Визначення ширини зони біля шву зі зміненою структурою та твердістю

За пропозицією викладача досліджуються металографічні шліфи та визначається ширина зони зі зміненою структурою, будують схему змін структури, виділення фаз в сплавах певного складу при кристалізації шву, а також вимірюється твердість сталі на різній відстані від зварювального шву.

2.2.4 Контрольні запитання до лабораторної роботи

1. Які зміни структури та властивостей відбуваються у вуглецевих сталях за нагрівання?
2. Які зміни структури та властивостей відбуваються у вуглецевих сталях за охолодження від температури плавлення?
3. Що таке рекристалізація структури?
4. Як змінюється розмір зерен при нагріванні вуглецевих

сталей?

5. Як впливає швидкість охолодження на структуру і властивості сталей?
6. Що визначає термін «глибина гартування»?
7. Які процеси відбуваються на поверхні деталей з вуглецевих сталей?
8. Які процеси відбуваються на поверхні деталей з нержавіючих сталей?

2.2.5 Частина 3. Вплив легування на зміни структури та твердості у зоні біля шву

За пропозицією викладача досліджуються металографічні шліфи та визначається ширина зони зі зміненою структурою, вимірюється твердість сталі на різній відстані від зварювального шву. Будують схему змін структури, виділення фаз в сплавах певного складу при кристалізації шву та твердості.

2.2.6 Контрольні запитання до лабораторної роботи

1. Як впливає C на температуру структурних перетворень заліза?
2. Як впливає Cr на температуру структурних перетворень заліза?
3. Як впливає Ni на температуру структурних перетворень заліза?
4. Як впливає Cr на властивості (твердість) заліза при нагріванні та охолодженні?
5. Яка структура утворюється за швидкого охолодження вуглецевої сталі від температури існування аустеніту?
6. Чим визначається вид термічної обробки сталі?
7. Що є головною особливістю відпалювання?
8. Що є головною особливістю гартування?

9. Що є головною особливістю нормалізації?
10. Що є головною особливістю відпускання?

2.3 Лабораторна робота № 3

Вплив легування на виникнення у вуглецевих сталях напружень 1, 2 та 3 роду

Метою лабораторної роботи є дослідження виникнення внутрішніх напружень різного роду при зварюванні. Внутрішні напруження поділяють на три типи. Внутрішні напруження першого типу – це такі напруження, що виникають між окремими зонами або частинами деталі та врівноважуються у конструкції.

Внутрішні напруження другого типу (структурні) – це такі напруження, що виникають в середині зерен між окремими частинами, або між сусідніми зернами (фазами) та врівноважуються в цих локальних об'ємах (зернах). Внутрішні напруження третього типу – це такі напруження, що виникають в середині об'єму однієї або декількох елементарних комірок кристалічної ґратки речовини та врівноважуються в цих локальних об'ємах. Внутрішні напруження першого типу призводять до короблення деталей або виникнення тріщин та залежать від швидкості нагрівання і охолодження, розмірів і форми деталі, властивостей металу та інших факторів. При нагріванні та охолодженні у поверхневих шарах виникають напруження, які можуть змінюватися на протилежні. Напруження, що зберігаються після охолодження називають залишковими. Нагрівання та витримка при температурах до 600 °C зменшують рівень напружень першого роду (рис. 2.3.1).



Рисунок 2.3.1 – Вплив температури та часу витримки на рівень залишкових напружень

Напруження другого типу змінюються у процесі термічної обробки, а саме: зміни розміру зерен, подрібнення карбідних утворень та створення різних типів структур (рис.2.3.2). Шкала розміру зерен показана на рис. 2.3.3.

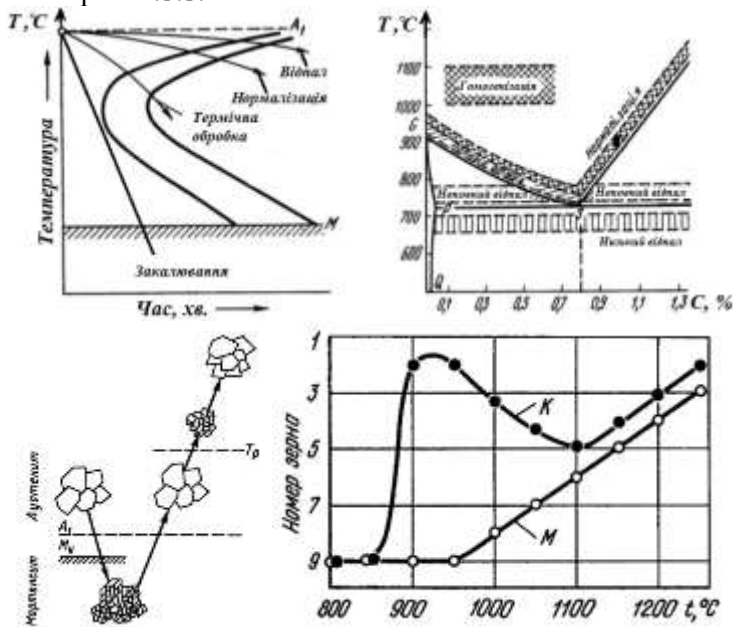


Рисунок 2.3.2 – Температури нагрівання для різних видів термічної обробки та зміни розміру зерен при термічній обробці [5]

Напруження третього типу виникають внаслідок розміщення легуючих елементів в кристалічній ґратці та виникнення точкових

дефектів кристалів (рис. 2.3.4), що викликає зміни властивостей (рис. 2.3.5).

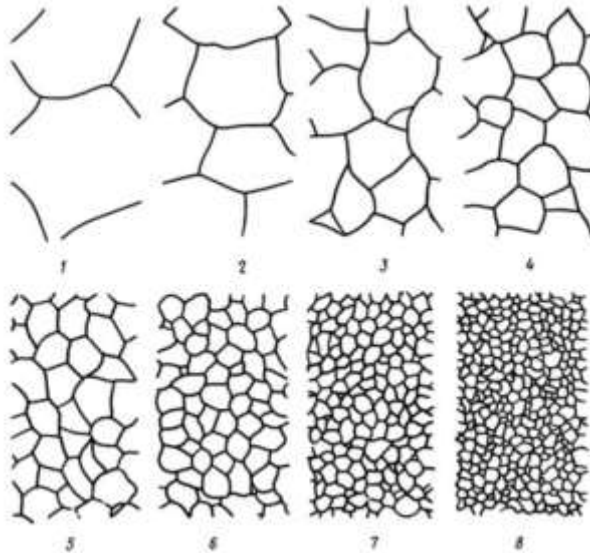
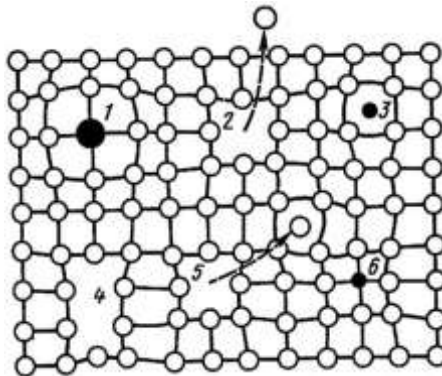


Рисунок 2.3.3 – Шкала розміру зерен



1 та 6 – атоми заміщення різних розмірів; 2 – вакансія; 3 та 5 – атом втілення;
4 – подвійна вакансія

Рисунок 2.3.4 – Схема точкових дефектів кристалу [5]

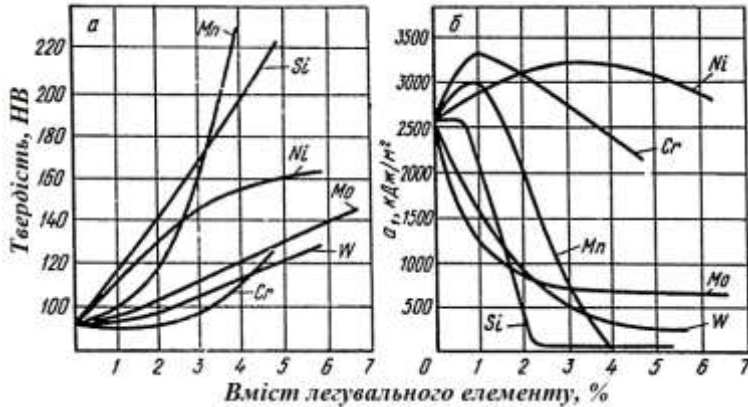


Рисунок 2.3.5 – Вплив легувальних елементів на властивості фериту

За пропозицією викладача студенти досліджують металографічні шліфи та зміни структури і властивостей різних легованих сталей і сплавів після термічної обробки.

2.3.1 Контрольні запитання до лабораторної роботи № 3

1. Як впливає Сг на структуру та властивості сталі?
2. Як впливає Ні на структуру та властивості сталі?
3. Як впливає, за одночасного легування, Сг та Ні на структуру та властивості сталі?
4. Що таке діаграма Шеффлера?
5. Що таке напруження 1, 2, 3 роду?
6. Як виникають напруження 1, 2, 3 роду при зварюванні?
7. Перерахуйте засоби запобігання виникненню напружень 1,2, 3 роду при зварюванні.
8. Перерахуйте засоби запобігання усунення напружень 1,2, 3 роду при зварюванні.

2.4 Лабораторна робота № 4

Розчинення та виділення карбідів при зварюванні вуглецевих сталей

До найбільш поширених карбідоутворюючих елементів, що використовують для зміни властивостей вуглецевих сталей належать марганець, хром, титан, ніобій, молібден, ванадій. Ці елементи не тільки утворюють карбіди, а ще розчиняються в залізі. Розчинність легувальних елементів залежить від температури, наявності інших легувальних елементів та фази заліза (ферит, аустеніт та цементит). Елементи, які мають більшу спорідненість до вуглецю заміщують в карбідах залізо та інші елементи з меншою спорідненістю. Максимальна розчинність хрому в цементиті становить 20 %.

Елементи кремній, кобальт, нікель та мідь мають меншу спорідненість до вуглецю, ніж залізо. Тому вони утворюють тільки тверді розчини з залізом і не входять до складу карбідів, за звичайних обставин. За швидкого охолодження з рідкого стану, ці елементи можуть входити до складу метастабільних карбідів. В процесі охолодження чи термічної обробки вони заміщаються хромом, марганцем або залізом у твердому стані.

Карбіди, що утворюються в сталях та сплавах поділяють на два типи: карбіди, що утворилися у рідкому стані (первинні) і карбіди, що утворилися в твердому стані при охолодженні (вторинні) за зміни розчинності вуглецю в залізі. Первинні карбіди (в тому числі і заліза) утворюються при кристалізації сплавів евтектичного складу. Для сталей із вмістом хрому понад 24 %, первинні карбіди утворюються при концентрації вуглецю понад 0,4 %. Під час термічної обробки (нагрівання) відбувається розчинення вторинних карбідів у твердому розчині. Розчинення вторинних карбідів залежить від їх типу. Карбіди M_7C_3 розчиняються при більш високих температурах, ніж карбіди $M_{23}C_6$.

При зварюванні у шві утворюються первинні та вторинні карбіди метастабільного складу, а в зонах біля шва відбувається процес розчинення карбідів та повторне їх виділення, але зі зміненним хімічним складом. За пропозицією викладача студенти досліджують зразки сталей із різними карбідами.

2.4.1 Контрольні запитання до лабораторної роботи № 4

1. Які хімічні сполуки утворюють залізо і вуглець?
2. Які хімічні сполуки утворюють марганець і вуглець?
3. Які хімічні сполуки утворюють хром і вуглець?
4. Як розташовуються легуючі елементи за спорідненістю до вуглецю?
5. Коли утворюються карбіди в сталях?
6. За якими критеріями класифікують карбіди в сталях?
7. Як впливає температура нагрівання та витримка на утворення та зміни карбідної фази?
8. Поясніть подвійну природу карбідів.

2.5 Лабораторна робота № 5

Карбідні перетворення в нержавіючих сталях при зварюванні

Легування сталей хромом і нікелем викликає зміни у структурі сталей, що суттєво змінює вид діаграми Fe-C. Діаграми системи Fe-Cr-C із різним вмістом хрому та С показано на рис. 2.5.1.

Діаграми системи Fe-Cr-Ni із різним вмістом хрому та нікелю показано на рис. 2.5.2. Слід зауважити, що легувальні елементи мають обмежену розчинність в фазах заліза, що впливає на процеси карбідоутворення.

За метастабільного утворення карбідів їх хімічний склад може коливатися у широкому діапазоні. Значна кількість заліза призводить до того, що карбіди марганцю чи хрому, що мають більшу спорідненість до вуглецю, не можуть утворитися. Утворюються карбіди складного хімічного складу $(\text{CrMnFe})_3\text{C}$, $(\text{CrMnFe})_{23}\text{C}_6$ та $(\text{CrMnFe})_7\text{C}_3$. Це пояснюється подібністю карбідних фаз, що утворюються цими металами (табл. 2.5.1).

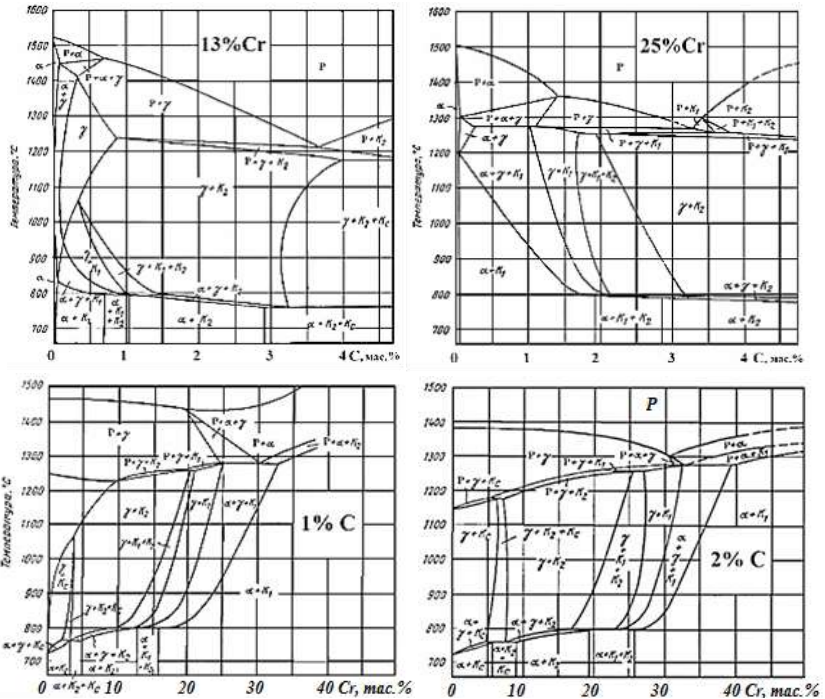


Рисунок 2.5.1 – Діаграми системи Fe-Cr-C із різним вмістом Cr та C

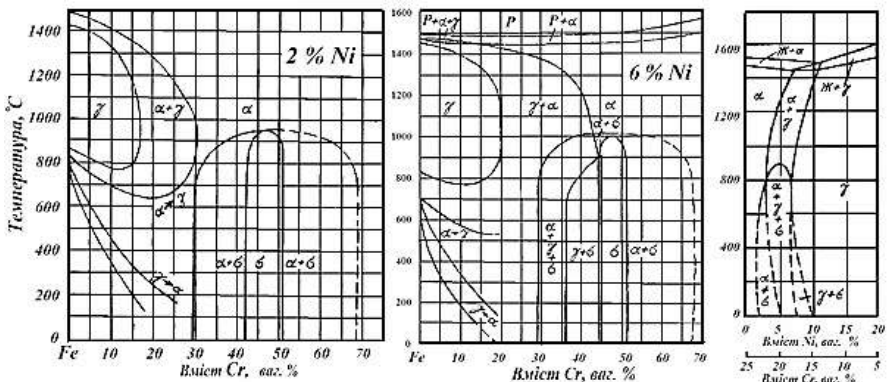


Рисунок 2.5.2 – Діаграми системи Fe-Cr-Ni із різним вмістом Cr та Ni

Таблиця 2.5.1 – Деякі параметри карбідів Fe, Mn та Cr

Тип карбіду	M ₂₃ C ₆			M ₃ C			M ₇ C ₃			M ₃ C ₂		
	Fe	Mn	Cr	Fe	Mn	Cr	Fe	Mn	Cr	Fe	Mn	Cr
Вміст С, мас. %	5,31	5,4	5,68	6,67	6,77	7,15	8,44	8,57	9,0	12,54	12,72	13,34
Тип гратки	Кубічна			Орторомбічна			Орторомбічна			Ромбічна		
Параметри гратки, nm	a	10,64	10,61	10,66	4,52	4,53	4,51	4,54	4,55	4,53		5,53
	b				5,09	5,08	5,19	6,89	6,96	7,01		2,83
	c				6,74	6,77	6,65	11,91	11,98	12,14		11,47

До складу метастабільних карбідів можуть входити Ni та Si. Ці елементи можуть утворювати карбіди за відсутності елементів з більшою спорідненістю до вуглецю. Це пояснюється тим, що формування карбідів відбувається швидше за процеси дифузії і створення більш стабільних карбідів не відбувається. При охолодженні чи термічній обробці відбувається перерозподіл елементів (рис. 2.5.3).

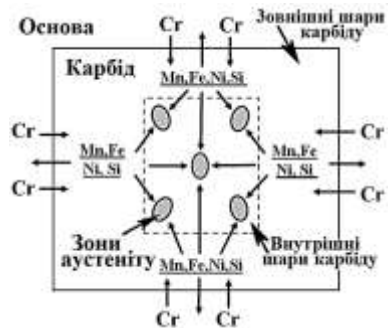
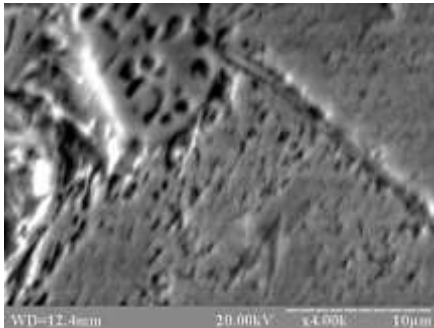
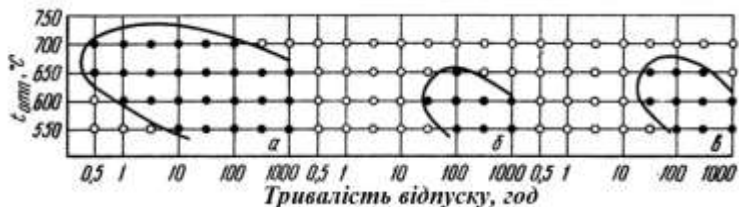


Рисунок 2.5.3 – Карбіди складного хімічного складу після нормалізації від 1050°C (а) та схема перерозподілу елементів із утворенням зон аустеніту (б)

При зварювання сталей 12X18H10 та 12X18H10T (стабілізованої титаном) відбувається нагрівання катаного профілю до температур понад 600 °C при яких відбуваються дифузійні процеси із значною швидкістю. Це призводить до утворення стабільних карбідів M₂₃C₆ зі значним вмістом хрому. Заміщенні атоми Fe і Mn накопичуються у зонах біля карбідів, що є головною причиною міжкристалічної корозії цих сталей.

Проведення термічної обробки зварних з'єднань сприяє вирівнюванню розподілу хімічних елементів (Cr, Mn) в об'ємі зерен і тим самим запобігає виникненню міжкристалічної корозії. Вплив температури, часу відпалу та вмісту Ti і Nb на виникнення міжкристалічної корозії в сталі 12X18H10 (рис.2.5.4).



а – без стабілізації; б – із вмістом 0,5 % Ti; в – із вмістом 0,7 % Nb

Рисунок 2.5.4 – Вплив температури, часу відпалу та вмісту Ti і Nb на виникнення міжкристалічної корозії в сталі 12X18H10

Введення титану та ніобію частково стабілізують сталь 12X18H10, що дає змогу виконувати зварювальні роботи без наступної термічної обробки. За пропозицією викладача студенти досліджують зразки сталей із різними карбідами.

2.5.1 Контрольні запитання до лабораторної роботи № 5

1. Як впливає температура нагрівання та витримка на утворення та зміни карбідної фази?
2. Як впливає процес зварювання (температура нагрівання) на утворення та зміни карбідної фази у вуглецевих сталях?
3. Як впливає процес зварювання (температура нагрівання) на утворення та зміни карбідної фази у легованих сталях?
4. Як впливає термічна обробка після зварювання на утворення та зміни карбідної фази у вуглецевих сталях?
5. Як впливає термічна обробка після зварювання на утворення та зміни карбідної фази у легованих сталях?
6. Які зміни відбуваються в карбідах при термічній обробці?
7. Які зміни відбуваються в металевій основі у зонах біля карбідів при термічній обробці?
8. Поясніть механізми розпаду карбідів?

ЗМАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки різних сталей (Ст.3, сталь 20, У10, 08Х18Н10) за різних видів термічної обробки (відпалу, нормалізації, гартування).
2. Мікроскоп МІМ 7, Neophot.
3. Твердомір.
3. Демонстраційні матеріали.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Дослідити зразки, що надані викладачем.
2. Зробити ескізи досліджуваних зразків.
3. Скласти звіт.

5 ВКАЗІВКИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

До лабораторних робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки.

Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією або викладача.

У випадку виявлення неполадок обладнання студент повинен негайно повідомити викладача або завідуючого лабораторією.

У випадку виникнення пожежі або поразки електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності з затвердженими інструкціями з охорони праці та пожежної безпеки.

63МІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен вміщати:

- опис методики проведення експериментів чи досліджень;
- результати експериментів чи досліджень відобразити у вигляді таблиць, графіків чи ескізів;
- аналіз отриманих результатів та висновків по роботі повинен містити інформацію про проведені дослідження.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Тимчук, А.Ф. Фізична хімія: навч. метод. посібник / А. Ф. Тимчук, В.В. Менчук. – Одеса: ОНУ ім. Мечнікова, 2021. – 118 с.
2. Кузик, О.В. Матеріалознавство та термічна обробка зварних з'єднань / О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 37 с.

ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

1. Журнал «Автоматичне зварювання». Вид. Міжнародна Асоціація "Зварювання". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://patonpublishinghouse.com/rus/journals/as> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.
2. Журнал «Сварщик». Вид. ІЕЗ ім. Е.О. Патона. Київ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://welder.stc-paton.com/ru/> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.
3. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.
4. Наукова бібліотека НУ "Запорізька політехніка". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://library.zntu.edu.ua/> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.
5. Кафедра Інтегровані технології зварювання та моделювання

конструкцій. [Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://zp.edu.ua/kafedra-integrovanih-tehnologiy-zvaryuvannya-ta-modelyuvannya-konstrukciy> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.