

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи №1

«Дослідження структури, твердості та зносостійкості цементованого шару сталей типу X13 в залежності від параметрів процесу цементації» з дисципліни «Спеціальні методи підвищення зносостійкості деталей машин» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 1  
«Дослідження структури, твердості та зносостійкості цементованого шару сталей типу X13 в залежності від параметрів процесу цементації» з дисципліни «Спеціальні методи підвищення зносостійкості деталей машин» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 22 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 № 4 від 25.10.2018

Рекомендовано до видання  
НМК ІФФ  
Протокол № 3 від 13.11.2018

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 МЕТА РОБОТИ .....                                                                                                                                                            | 4  |
| 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ .....                                                                                                                                                     | 4  |
| 2.1 Особливості насичення вуглецем поверхневого шару<br>високохромистих сталей у процесі цементації .....                                                                      | 5  |
| 2.2 Закономірності формування цементованого шару залежно від<br>режимів хіміко-термічної обробки і вибір оптимальних параметрів<br>процесу зміцнення лицювальних деталей ..... | 9  |
| 3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ<br>ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ .....                                                                                            | 18 |
| 4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ .....                                                                                                                             | 19 |
| 5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ .....                                                                                                                                             | 19 |
| 6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ .....                                                                                                                                 | 20 |
| 7 ЗМІСТ ЗВІТУ .....                                                                                                                                                            | 21 |
| РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....                                                                                                                                                 | 21 |

## 1 МЕТА РОБОТИ

Дослідити залежність структури, твердості та зносостійкості цементованого шару сталей типу X13 від параметрів процесу цементзації.

## 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Ефективним способом збільшення зносостійкості матеріалів при абразивному зношуванні є створення в них структур, що включають карбіди твердістю вище твердості цементиту в сполученні з великою кількістю метастабільного залишкового аустеніту. Цим вимогам відповідають високохромисті ледебуритні інструментальні сталі (X12 й ін.). Однак умови експлуатації багатьох деталей, особливо невеликої товщини (до 15-20 мм) не допускають використання сталей типу X12 й, тим більше, високолегованих зносостійких чавунів через недостатній рівень в'язкості та пластичності, навіть після термообробки їх на структуру з великою кількістю залишкового аустеніту. В таких випадках широко використовують низьколеговані сталі, які цементуються. Вони забезпечують достатній рівень пластичності, але зносостійкість їх недостатня – за відсутності в цементованому шарі карбідів, твердіших ніж цементит.

Об'єднання переваг низьколегованих сталей, які цементуються та інструментальних сталей, можливо шляхом поверхневого насичення високохромистих низьковуглецевих сталей типу X13 (08X13, 12X13, 20X13), які випускаються промисловістю у вигляді сортового і листового прокату, та труб у широкому діапазоні розмірів. Однак ці сталі розроблялися, насамперед, як корозійностійкі. За загально прийнятими уявленнями вони не відносяться до сталей здатних до цементзації, оскільки характеризуються зниженим коефіцієнтом дифузії й високою схильністю до неоднорідності цементованого шару. Тому їх цементация є самостійною проблемою, а розробка технологій виготовлення деталей зі сталей типу X13 вимагає нетрадиційних підходів і рішень.

## **2.1 Особливості насичення вуглецем поверхневого шару високохромистих сталей у процесі цементації**

Однією з причин зниженої здатності високолегованих сталей до утворення цементованого шару є мала інтенсивність насичення. Це обумовлено недостатньою швидкістю встановлення рівноважної концентрації вуглецю на поверхні і його наступної дифузії вглиб деталі. У нелегованих сталях рівноважна концентрація дорівнює межі розчинення вуглецю в аустеніті, тому встановлюється порівняно швидко, після чого починається рух дифузійного фронту [1]. У сталях легуваних елементами, що утворюють карбіди, рівноважна концентрація на поверхні встановлюється повільніше у зв'язку з утворенням надлишкових карбідів і для її досягнення потрібно більш тривалий час цементації [2]. Легуючі елементи впливають також на швидкість утворення насиченого вуглецем поверхневого шару, змінюючи коефіцієнт дифузії вуглецю в аустеніті [3]. Розчиняючись у ньому, вони спотворюють його кристалічну ґратку, що повинно приводити до прискорення дифузії. Однак хром, маючи атомний радіус близький до атомного радіуса заліза, не викликає значних статичних спотворень ґратки. І, крім того, хром зв'язує атоми вуглецю, що перешкоджає дифузії.

Істотний вплив на дифузію вуглецю в аустеніті створюють сили міжатомного зв'язку елементів: чим сильніше зв'язок, тим менше рухливість атомів вуглецю у твердому розчині. Найбільш інтенсивне зниження коефіцієнта активності вуглецю в аустеніті викликає хром, який створює значні локальні зв'язки з атомами вуглецю в кристалічній ґратці аустеніту [4]. Тому збільшення кількості хрому в сталі, з вихідним вмістом 0,2 % вуглецю, з 3 до 20 %, приводить до зменшення глибини цементованого шару більш ніж у шість разів, у процесі цементації при порівняно невисоких температурах, оптимальних для низьколегованих сталей [5].

Разом з тим відомо, що коефіцієнти дифузії в різних сплавах при високих температурах розрізняються значно менше, ніж при низьких, оскільки енергійні теплові коливання й дифузійне переміщення атомів при високих температурах нівелює негативний вплив легуючих елементів на дифузію вуглецю. Тому підвищення температури процесу цементації можна забезпечити збільшення швидкості

насичення сталей з високим вмістом хрому [3].

Крім зниженої здатності до насичення, ці сталі мають високу схильність до неоднорідності цементованого шару, внаслідок утворення на поверхні деталей щільних пасивних плівок оксидів хрому, які перешкоджають дифузії вуглецю вглиб металу. При цементації в стандартних карбюризаторах насичення поверхні деталей з високохромистих сталей практично не відбувається. Якість поверхневого шару насиченого вуглецем залежить від того, наскільки ефективно вдається уникнути утворення плівки оксидів хрому на деталях. Із цією метою в карбюризатор пропонується вводити різні добавки, які депасивують оксидну плівку:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (хлористий амоній),  $\text{CCl}_4$  (чотирихлористий вуглець),  $\text{KFe}(\text{CN})_6$  (червона кров'яна сіль),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (сода кальцинована),  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (ацетат натрію),  $\text{NaHCO}_3$  (питна сода). Елементи, що входять у ці речовини, маючи більшу спорідненість до кисню чим хром, перешкоджають утворенню його оксидів або відновлюють їх, створюючи тим самим умови для дифузії вуглецю вглиб деталі.

У результаті цементації сталей типу X13 у суміші стандартного деревинно-вугільного карбюризатора і добавок, які депасивують - ацетату натрію або соди кальцинованої при температурах вище  $950^\circ\text{C}$  на деталях утвориться цементований шар, що включає чотири характерні для високохромистих сталей зони (рис. 2.1).

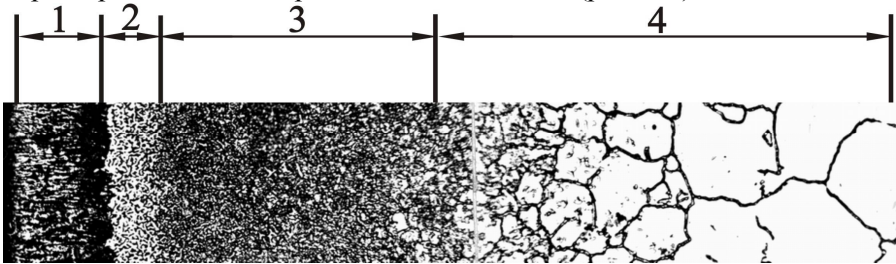


Рисунок 2.1 - Мікроструктура цементованого шару отриманого цементацією в суміші стандартного деревинно-вугільного карбюризатора й соди кальцинованої,  $\times 100$

Безпосередньо на поверхні присутня окислена зона 1 товщиною до 0,2 мм, що складається в основному з оксидів заліза й хрому. За нею ділянка 2, що складається практично з одних карбідів (карбідна кірка) з невеликими прожилками металевої матриці. Далі зона 3, що включає до 40 % дрібних карбідів розташованих як усередині, так і по

границях зерен. Рентгеноструктурним аналізом встановлено, що карбідна кірка містить карбіди цементитного типу, а в зоні, що містить не більше 40 % карбідної фази, перебувають карбіди типу  $(\text{CrFe})_7\text{C}_3$ . Такий розподіл карбідної фази по цементованому шару узгоджується з відомими уявленнями про вплив співвідношення хрому й вуглецю на тип карбідів, що утворюються [6].

Потім простирається перехідна до серцевини зона 4, у якій невелика кількість карбідів розташована по границях порівняно крупних зерен.

Службові характеристики деталей залежать від властивостей і довжини цих частин цементованого шару. Окислена зона, маючи низькі механічні властивості, швидко й рівномірно зношується. У тих випадках, коли припустима величина зносу визначається не абсолютною лінійною величиною, а ступенем нерівномірності зношування, наприклад, лицевальні деталі прес-форм, негативного впливу на термін служби деталей окислений шар не створює. Якщо ж до поверхні деталі пред'являються вимоги опірності налипанню маси яка пресується (штампи прес-форм) виникає необхідність видалення окисленої зони шліфуванням.

Практично повна відсутність металевої матриці в карбідній кірці й різкий перехід до наступної ділянки шару може приводити до викришування її фрагментів і нерівномірності зношування. Тому присутність карбідної кірки в цементованому шарі лицевальних деталей не бажано.

Найцінніші властивості має ділянка шару (робоча зона), що розміщена за карбідною кіркою. Підвищена кількість у цій зоні дрібних, рівномірно розподілених карбідів, в сполученні з оптимальним фазовим складом металевої матриці, може забезпечити високий рівень зносостійкості, в порівнянні з інструментальними сталями.

Перехідна зона через малий вміст карбідів характеризується зниженою зносостійкістю. Однак її присутність зменшує ймовірність сколювання фрагментів цементованого шару при динамічному навантаженні деталей, завдяки плавній зміні властивостей по мірі наближення до серцевини.

Таким чином, цементация високохромистих сталей при підвищених температурах з використанням добавок, які депасивують поверхню деталей, дозволяє одержувати на них шари насичені

вуглецем з потенційно високими службовими властивостями.

Однак, при цементації традиційними способами в цементованому шарі практично неминуче присутні ділянки слабо насичені вуглецем - плями (рис 2.2) не припустимі за умовами роботи багатьох деталей.

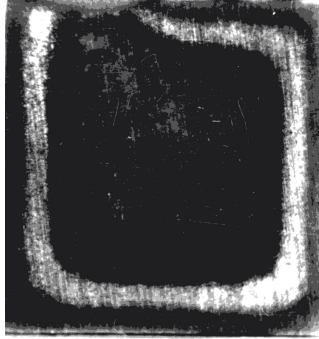


Рисунок 2.2 – Макроструктура цементованого шару (поперечний шліф), що включає ділянку ненасичену вуглецем (пляма), х 5

Тому при розробці технологічних процесів цементації високохромистих сталей необхідні додаткові заходи забезпечення однорідності цементованого шару.

У деяких випадках позитивних результатів досягають, застосовуючи обмазку деталей захисними пастами [7], які містять, як правило, графіт, голландську сажу й один або кілька компонентів, застосовуваних у якості добавок, що депасивують поверхню деталі. Підвищити однорідність поверхневого шару при цементації деталей зі сталей типу X13 дозволяє також використання порошкоподібних сумішей деревного вугілля й активаторів [8].

З цією ж метою насичення високохромистих сталей вуглецем можна проводити безконтактним способом, який відокремлює поверхню, яка цементується, від карбюризатора перфорованими перегородками. При цьому стабільно досягається висока однорідність шару по всій площі цементованої поверхні (рис. 2.3) і, крім того, не утвориться карбідна кірка (рис 2.4), що, як було показано вище, є небажаною частиною цементованого шару, стосовно до умов роботи деталей типу лицювальних деталей прес-форм.

Службові властивості деталей визначаються співвідношенням

розмірів зон цементованого шару, кількістю й типом карбідів і фазового складу металевої матриці. Ці параметри залежать від температури й часу цементації, способу й температури загартування, які, в свою чергу, залежать від умов експлуатації деталей, що цементуються.

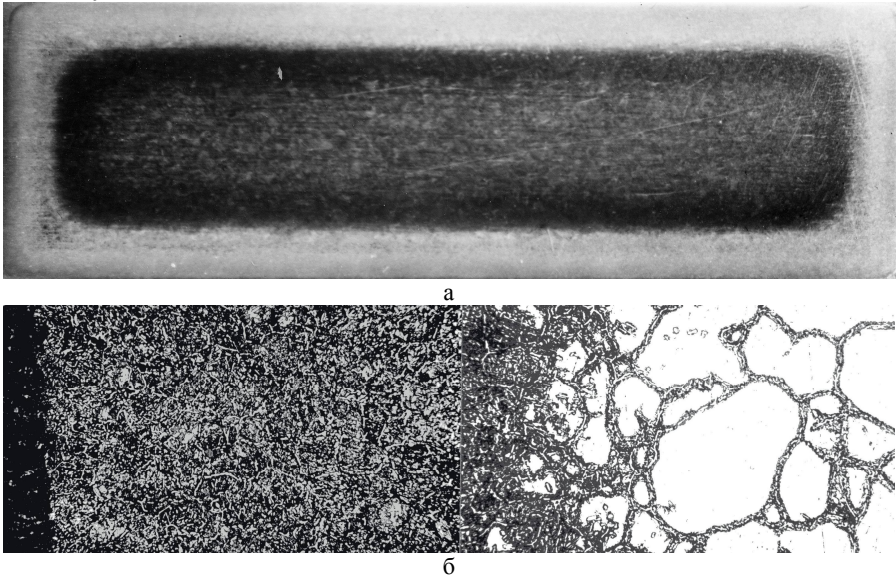


Рисунок 2.3 - Макроструктура (а) та мікроструктура цементованого шару сталі 20X13 отриманого безконтактним способом цементації у твердому карбюризаторі.

## **2.2 Закономірності формування цементованого шару залежно від режимів хіміко-термічної обробки і вибір оптимальних параметрів процесу зміцнення лицювальних деталей**

Розглянемо принципи вибору способів і режимів цементації, виходячи з вимог, які пред'являються до лицювальних деталей прес-форм для пресування вогнетривів та будівельних матеріалів.

Оптимальні режими цементації істотно залежать від умов роботи й вимог, які пред'являються до деталей:

- на поверхні допускається наявність оксидної зони товщиною

до 0,15 мм;

- глибина робочої частини шару повинна бути порівнянна з величиною припустимого зношування, що для більшості деталей прес-форм становить 0,4...0,8 мм. При цьому, під "робочим шаром" мається на увазі наступна за окисленою зоною частина шару, у якій вміст вуглецю перебуває, як мінімум, на рівні його концентрації в сталі X12Ф1 (1,4...1,5 %), що може забезпечити досить високу опірність металу зношуванню в умовах експлуатації лицувальних деталей прес-форм. З іншого боку, ступінь насичення поверхні вуглецем повинна бути не вище 2,5...3 %, щоб виключити утворення карбідів цементитного типу [6] і злиття їх у карбідну кірку;

- довжина перехідної зони до серцевини повинна бути мінімально можливою, оскільки її збільшення приводить до зменшення розмірів перетину серцевини деталі, що зменшує експлуатаційну надійність. У той же час варто враховувати, що надмірно різкий перехід від шару до серцевини може приводити до його відшаровування;

- металева матриця в робочому шарі повинна включати 70-80 % залишкового аустеніту. При цьому необхідно прагнути, щоб у твердому розчині концентрація вуглецю перебувала в межах 1...1,4, а хрому - 1...5 %, що, забезпечує високий ступінь зміцнення поверхні тертя й зносостійкість сталей з метастабільним аустенітом.

Цементацію здійснюють безконтактним способом у твердому стандартному карбюризаторі при добавках до нього 10 % ацетату натрію.

Дослідження впливу температури цементації на зміну вмісту вуглецю по глибині шару сталі 20Х13 (час насичення 8 год) показали, що мінімальний ступінь і глибина насичення спостерігаються при 950° С (рис. 2.4 а). На відстані 0,05 мм від поверхні досягається концентрація вуглецю 2,2 %, потім його вміст різко зменшується й вже на глибині 0,25 мм стає менше 0,5 %.

З підвищенням температури цементації до 1000...1030° С інтенсивність насичення істотно збільшується. Однак максимальна концентрація при цьому не перевищує 3 %, що виключає утворення зони, яка складається практично з одних карбідів, у той же час забезпечує високий (до 40 %) вміст карбідів  $(CrFe)_7C_3$ . З віддаленням від поверхні концентрація вуглецю помітно зменшується, але на глибині 0,6...0,8 мм залишається на рівні не нижче необхідної.

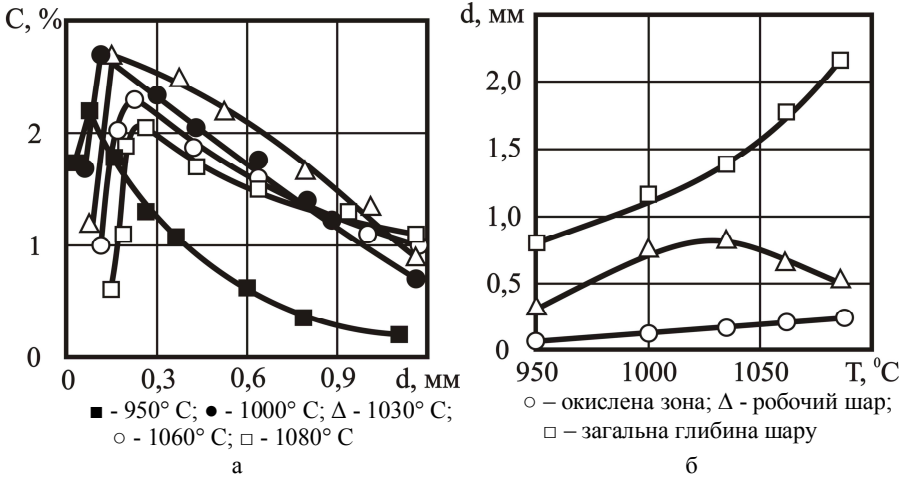


Рисунок 2.4 - Залежність вмісту вуглецю по глибині шару (а) та глибини зон цементованого шару (б) сталі 20Х13 залежно від температури цементатії.

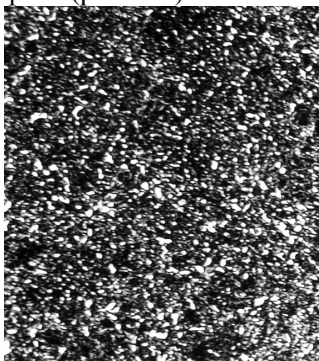
Подальше збільшення температури цементатії приводить до небажаного зниження концентрації вуглецю на початку робочого шару. І хоча вона на глибині більше 1 мм, навіть вище, ніж при температурі 1000...1030 °С, це не може позитивно впливати на працездатність деталей, оскільки зношування вище 0,8 мм на облицюваннях не допускається.

Зі збільшенням температури від 950 °С до 1030 °С ростуть окислена, робоча й перехідна зони (рис. 2.4 б). При подальшому рості температури цементатії довжина робочого шару знижується, а глибина інших зон продовжує зростати. Крім того, збільшуються розміри зерен структури як у шарі, так й у серцевині деталі.

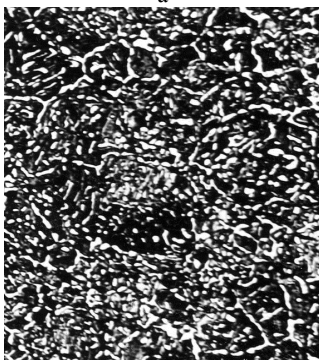
Відомо, що з ростом температури процесу насичення, швидкість дифузії і, отже, інтенсивність відводу вуглецю вглиб шару безупинно збільшуються. Дифузія вуглецю протікає в основному по дефектах кристалічної будови й, насамперед, по границях зерен [3, 6]. В інтервалі температур до 1030 °С кількість вуглецю, що надходить у поверхневий шар, помітно переважає над тією його кількістю, яка дифундує в більше глибокі ділянки, що обумовлює збільшення ступеня насичення на початку шару (за окисленою зоною).

Температура цементатії помітно впливає на дисперсність і

морфологію карбідної фази (рис. 2.5).



а



б



в

а - 950 °C; б - 1000 °C; в - 1050 °C;

Рисунок 2.5 - Мікроструктура цементованого шару на відстані 0,1 мм від окисленої зони залежно від температури цементації.

При температурі насичення 950 °С мілкодисперсні карбіди округлої форми утворюються як по границях зерен за гетерогенним механізмом, так і на дефектах в середині зерна (гомогенний механізм карбідостворення). З ростом температури до 1000 °С відбувається часткове злиття карбідів і їх укрупнення переважно на границях зерен. Подальше збільшення температури цементації до 1050 °С приводить до утворення практично безперервної карбідної сітки й до росту порівняно великих карбідів у середині зерен. Очевидно, що укрупнення карбідної фази може привести до зниження опірності зношуванню й підвищенню крихкості шару.

Таким чином, підвищення температури цементації більше 1000...1030 °С недоцільно, оскільки приводить до збільшення окисленої зони вище припустимого для облицювань значення, зменшення насиченості вуглецем і зниження кількості карбідів у робочому шарі. Крім того, при температурі цементації вище 1030 °С знижується пластичність деталей через збільшення глибини перехідної зони, загальної глибини шару та крупнозернистості структури.

При тривалості цементації (рис 2.6 а) від 3 до 9 год максимальна концентрація вуглецю перебуває приблизно на одному рівні, однак довжина ділянок з достатнім ступенем насичення робочого шару збільшується. Тривалість процесу більше 9 год приводить до зменшення величини робочого шару й до збільшення загальної глибини (рис 2.6 б). Зі збільшенням часу ростуть також розміри оксидної і перехідної зон. Як і при підвищенні температури понад 1030° С, надмірна тривалість процесу цементації приводить до росту зерна, що є однією із причин зниження ступеня насичення і зменшення довжини робочого шару. Крім того, у результаті тривалої витримки відбувається зниження вуглецевого потенціалу середовища, що насичує, і як наслідок зменшення кількості вуглецю який дифундує в поверхневий шар. Подальша витримка деталей у збідненому на вуглець середовищі приводить до перерозподілу вуглецю по глибині шару.

Виходячи з наведених вище даних можна вибрати режими насичення, що забезпечують одержання на високохромистих сталях цементованих шарів, що відповідають вимогам однорідності, розмірів зон, ступеня насичення і кількості карбідної фази. Однак оптимальні хімічний склад і структуру металевої матриці можна забезпечити

лише режимом остаточної термообробки цементованих деталей.

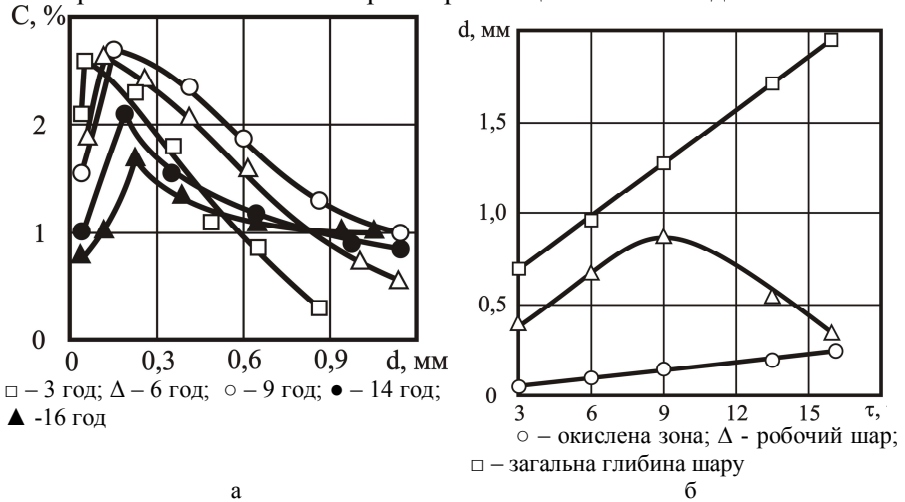


Рисунок 2.6 – Залежність вмісту вуглецю за глибиною цементованого шару (а) та глибини зон цементованого шару (б) сталі 20Х13 залежно від тривалості цементації.

Збільшення його концентрації в більш глибоких шарах відбувається за рахунок дифузії із попередньо насиченого шару. Окислювання поверхневого шару при цьому триває. Таким чином, час цементації необхідно вибирати залежно від необхідної глибини шару, але не більше 9-10 год.

Прийнятний інтервал температур загартування облицювань орієнтовно можна визначити виходячи з необхідної концентрації вуглецю й хрому в матриці, використовуючи ізотермічні розрізи діаграми Fe -C- Cr.

Наприклад, при температурі 1000 °С в залежності від загальної концентрації елементів у шарі (матриця + карбіди) хімічний склад металевої матриці змінюється по кривій аб (рис. 2.7), що замикає однофазну область.

Зміна загальної концентрації вуглецю в цементованому шарі по глибині від 0,13 до 1,00 мм, отриманого цементацією за режимами, оптимальними для деталей прес-форм (1000...1020 °С, 9 год, рис 2.7), характеризується прямою АВ. Концентрації вуглецю й хрому в металевій матриці шару, наприклад, складу точки **n**, будуть визначатися кінцем **m** допоміжної коноди **mn**.

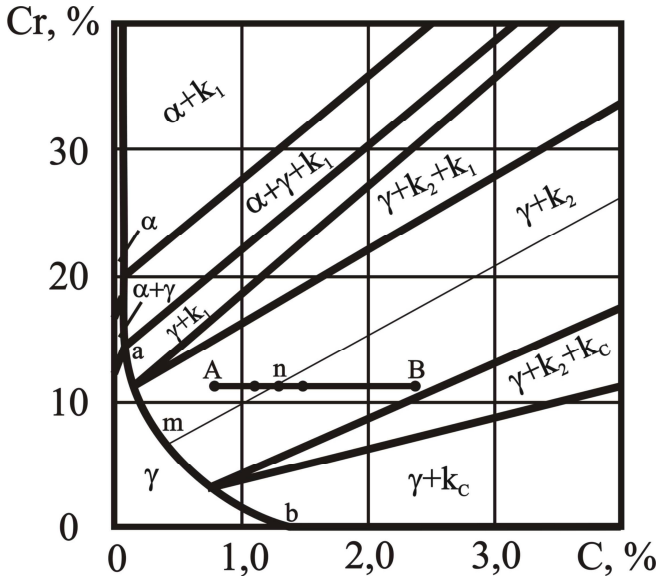


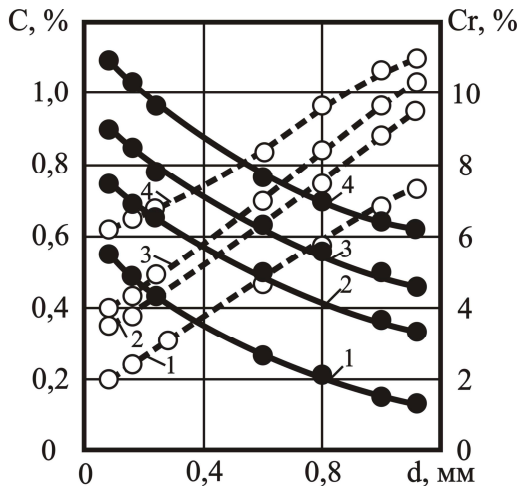
Рисунок 2.7 - Схема визначення хімічного складу основи цементованого шару за ізотермічним розрізом діаграми Fe -C- Cr при 1000 °C

Аналогічно можна оцінити хімічний склад основи шару при інших температурах. Необхідно відзначити, що одержання даних про хімічний склад матриці шару графічним методом за ізотермічними розрізами діаграм рівноваги може бути зв'язане зі значною погрешністю. Це обумовлено тим, що, по-перше, при побудові діаграм рівноваги використовуються сталі підвищеної чистоти в порівнянні з тими, що випускаються промислово, по-друге, при графічному визначенні складу матриці доводиться використовувати істотно зменшені копії розрізів діаграм, наявні в літературі. У той же час навіть наближена оцінка хімічного складу матриці цементованого шару по глибині, залежно від температури аустенизації, корисна, оскільки дозволяє попередньо вибрати режим загартування цементованих деталей.

Характер зміни вуглецю й хрому в основі шару по глибині ідентичний для всього інтервалу температур загартування (рис. 2.8).

На початку шару концентрація хрому у всіх випадках найменша, а вуглецю найвища. У міру зниження загального вмісту вуглецю концентрація його в основі також зменшується, а хрому збільшується.

З підвищенням температури нагрівання під загартування від 850 °С до 1150 °С концентрація вуглецю й хрому по всій глибині шару збільшується, що обумовлено зміною кількості карбідів у результаті їхнього розчинення при підвищенні температури нагрівання. Необхідний вміст вуглецю в основі шару (не нижче 1,1 %), що забезпечує високу здатність до зміцнення й зносостійкість, може бути досягнуте при нагріванні під загартування від 1150 °С. Однак при цьому в металевій матриці неминуче за умовами рівноваги розчиниться більша кількість хрому, чим та, яка необхідна для забезпечення (при даній концентрації вуглецю) температури початку мартенситного перетворення поблизу кімнатної, що дозволяє одержати в основі 70...80 % аустеніту. Очевидно, що необхідне співвідношення фаз може бути забезпечене при нижчих температурах нагрівання під загартування, однак концентрація вуглецю у твердому розчині при цьому буде трохи нижче оптимальної.



● – вуглець; ○ – хром; 1 - 850 °С; 2 - 1000 °С; 3 - 1050 °С; 4 - 1150 °С

Рисунок 2.8 - Залежність вмісту вуглецю й хрому в основі цементованого шару по глибині від температури гартування

Для остаточного визначення температури загартування деталей прес-форм досліджено залежність фазового складу основи і твердості поверхні зразків, цементованих при температурі 1000...1020 °С и загартованих від температур 970...1080 °С.

Установлено, що загартування з повторного нагрівання може

приводити до утворення сітки тріщин на поверхні зразків (рис. 2.9).

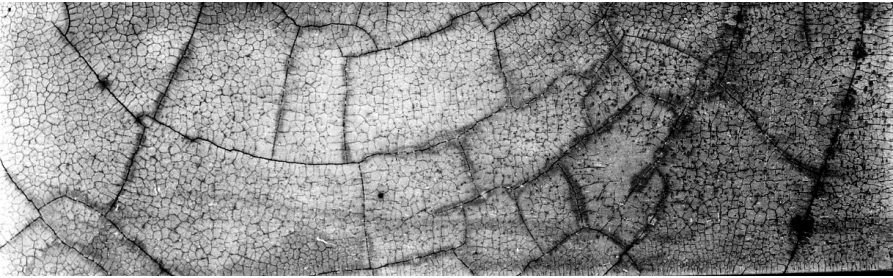


Рисунок 2.9 - Тріщини на поверхні зразків загартованих з повторного нагрівання

Необхідний фазовий склад основи шару для лицувальних деталей прес-форм (20...30 % мартенситу й 70...80 % аустеніту), при відсутності в ньому тріщин, досягається після загартування із цементаційного муфеля від 1040...1060 °C (рис. 2.10).

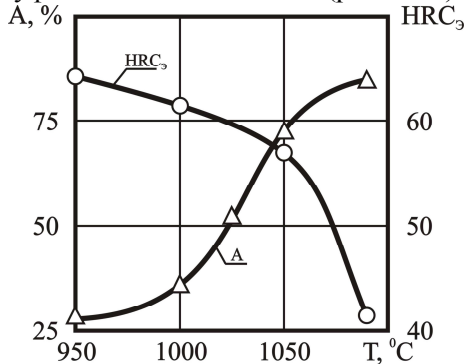


Рисунок 2.10 - Зміна фазового складу основи й твердості на початку робочого шару залежно від температури загартування

У цьому випадку вміст вуглецю в матриці від поверхні робочого шару (без обліку окисленої зони) до глибини 0,8 мм зменшується з 0,85 % до 0,55 %, а хрому збільшується з 4 % до 8 % (див. рис. 2.7). Таким чином, одночасне забезпечення необхідного хімічного складу й оптимального співвідношення аустеніту й мартенситу в металевій матриці цементованого шару для сталей з 13 % хрому в повній мірі неможливо. Збільшення температури загартування з метою наближення хімічного складу матриці до необхідного приводить до зниження зносостійкості шару в результаті зменшення кількості карбідної фази й, очевидно, надмірної стабілізації аустеніту.

У зв'язку із цим загартування цементованих лицювальних деталей прес-форм зі сталей типу X13 необхідно робити від температури 1040...1060 °С безпосередньо із цементаційного муфеля.

Випробування й промислове використання деталей прес-форм (лицювальні пластини, гільзи й ін.) зі сталі 20X13, зміцнених за оптимальними режимами цементації й загартування показали, що їхня зносостійкість в 5 разів вище, ніж цементованих деталей зі сталей типу 20X.

### **3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ**

3.1. Які переваги мають високохромисті цементовані сталі порівняно з інструментальними ледебуритними сталями типу X12 та низьколегованими сталями призначеними для цементації?

3.2. Які причини недостатньої здатності високохромистих сталей до насичення вуглецем?

3.3 Чим обумовлена схильність високохромистих сталей до нерівномірності цементованого шару?

3.4. Способи підвищення здатності високохромистих сталей до цементації.

3.5. Як запобігти неоднорідності цементованого шару?

3.6. В чому заключається механізм впливу температури цементації на глибину цементованого шару високохромистих сталей?

3.7. Як змінюється морфологія карбідної фази в цементованому шарі з підвищенням температури цементації?

3.8. Як можна визначити кількість хрому та вуглецю в аустеніті цементованого шару залежно від температури гартування, користуючись ізотермічними розрізами діаграми Fe-C-Cr?

3.9. Морфологічні відмінності структури цементованого шару з великою кількістю карбідів порівняно із структурою чавуна такого ж хімічного складу.

3.10. Схематично відтворіть характер зміни твердості по глибині цементованого шару після гартування на переважно аустенітну матрицю безпосередньо на поверхні деталі (твердість 50 HRC).

3.11. Яку кількість вуглецю в твердому розчині основи

цементованого шару слід вважати оптимальною, якщо цементована та загартована деталь призначена для роботи в умовах абразивного зношування при високому тиску?

3.12. Як впливає кірка суцільних карбідів на характер зношування цементованого шару?

3.13. Схематично покажіть, як змінюється кількість та тип карбідів за глибиною цементованого шару, виходячи із його структури, даних про кількість в ньому вуглецю та користуючись ізотермічними розрізами діаграми Fe-C-Cr.

3.14. Приведіть приклади раціонального використання цементованих високохромистих сталей.

#### **4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ**

4.1. Зразки із цементованих сталей типу X13.

4.2. Набір цифрових фотографій структур сталей типу X13.

4.3. Прилад для визначення твердості за Роквелом;

4.4. Оптичний мікроскоп NU 2.

4.5. Комп'ютер.

4.6. Лабораторний стенд для випробування матеріалів на зносостійкість.

#### **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 прослуховування 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. Переконатися 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 намагаючись 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**

1. З використанням мікроскопу та виходячи з аналізу комп'ютерних зображень, зробити опис структури цементованих поверхонь на високохромистих сталях. Визначити розміри зон цементованого шару.

2. Дати оцінку характеру поперечного злому цементованих зразків.

3. Визначити зміну властивостей (твердість, зносостійкість) за глибиною цементованого шару. Отримані результати занести в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

|                                         |                    |                       |               |                                 |                         |
|-----------------------------------------|--------------------|-----------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------|
| Відстань від поверхні глибиною шару, мм | від за карбідів, % | Кількість карбідів, % | Твердість HRC | Інтенсивність зношування, г/ход | Відносна зносостійкість |
|-----------------------------------------|--------------------|-----------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------|

4 Графічно відтворити характер зміни кількості карбідів та властивостей за глибиною цементованого шару.

5 Скласти звіт.

## 7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Найменування і мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості про особливості цементації та застосування цементованих високохромистих сталей.
3. Хімічний склад досліджених сталей.
4. Методика випробувань.
5. Опис структур цементованого шару на високохромистих сталях.
6. Таблиця результатів досліджень.
7. Графіки залежності властивостей від температури гартування. Для кожної сталі на графіках позначити інтервал температур загартування оптимальних для деталей штампів холодного штампування й деталей, що працюють в умовах абразивного зношування.
8. Аналіз результатів.
9. Висновки.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Попов А.А. Теоретические основы химико-термической обработки стали. – М.: Металлургия, 1962. – 120 с.
2. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1965. – 492 с.
3. Кришталл М.А. Механизм диффузии в железных сплавах. - М.: Металлургия, 1972. – 400 с.
4. Могутнов Б.М., Томилин И.А., Шварцман Л.А. Термодинамика железоуглеродистых сплавов. - Металлургия, 1972. – 207 с.
5. Ляхович Л.С., Ворошнин Л.Г., Ростовцев А.Н. Влияние хрома на глубину и свойства низкоуглеродистой стали // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1975. - №8. - С. 9-12.
6. Гудремон Э. Специальные стали. - М.: Металлургия, 1966. – Т1. – 736 с.
7. Науглероживание высокохромистых сталей с целью

повышения их износостойкости в абразивной среде / Слободинский И.Н., Говоров А.А., Софрошенков А.Ф., Тимонина Л.Г. // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1976. - №2. – С. 123-126.

8. Влияние хрома на глубину и свойства низкоуглеродистой стали / Ляхович Л.С и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1977 - №2.- С. 53-53.

9. Влияние углерода и хрома на способность к упрочнению и износостойкость безкарбидных сталей в условиях абразивного изнашивания / Андрущенко М.И., Рузов О.Э., Куликовский Р.А., Брыков Н.Н. // Проблемы трибологии. - 2003 - № . – С. .