

Структура хромистої карбідосталі, одержаної гарячим пресуванням

О. М. Шевченко, кандидат фізико-математичних наук

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ

Одержана хромиста карбідосталь із застосуванням синтезу карбідів в ході гарячого пресування. Досліджено особливості її структуроутворення. Показано, що внаслідок одночасного проходження процесів гарячої деформації, дифузії та утворення карбідів в одержаному матеріалі формується досить рівномірна, дисперсна, але складна структура. Надано рекомендації щодо подальшої термообробки даного типу карбідосталі.

Раніше була показана ефективність використання карбідів хрому для створення карбідосталей конструкційного призначення з підвищеними функціональними властивостями, такими як зносостійкість, корозійна стійкість [1, 2]. Проводились також дослідження по розробці карбідосталі, яку одержували спіканням пресовок із суміші порошків неіржавіючих сталей та Cr_3C_2 в вакуумі, або водні при $T = 1200 - 1240$ °С з витримкою 2 години [3]. В даній роботі карбідосталь із зміцненням карбідами хрому була отримана з використанням в якості вихідних матеріалів порошків феррохрому та графіту синтезом карбідів безпосередньо в ході гарячого пресування. При цьому особливо важливо було дослідити процеси її структуроутворення.

Із суміші порошків Х30 та графіту для карбідосталі з ~ 30 % (по масі) Cr_3C_2 , методом гарячого пресування при температурах 1200 – 1250 °С і витримці 10 – 20 хв одержані зразки з твердістю 44 – 48 НРС. Дослідження структури після гарячого пресування і термообробки здійснювали за допомогою рентгенофазового аналізу, світлової та растрової мікроскопії. Температури фазових перетворень визначали методом дилатометрії; вимірювали також твердість матеріалу і мікротвердість його структурних складових.

Матриця отриманого матеріалу має кубічну об'ємноцентровану ґратку. При температурі гарячого пресування 1200 °С та витримці 10 – 20 хв завдяки дифузії вуглецю, який насичує залізохромову матрицю, утворюється карбід хрому Cr_3C_2 і γ -фаза, про що свідчить поява відповідних ліній на рентгенограмі (рис. 1). Можна також припустити наявність у зразках залишків вільного вуглецю, який неможливо виявити з-за низької інтенсивності його рентгеновських ліній, і слідів карбіду хрому Cr_7C_3 . Найбільш інтенсивні лінії Cr_7C_3 майже співпадають з першими лініями γ та α фаз і перекриваються ними. При підвищенні температури або витримки (1200 °С, 20 хв, та 1250 °С, 10 хв) лінії карбідів стають інтенсивнішими. Це означає, що більш повно проходить дифузія та процес їх синтезу.

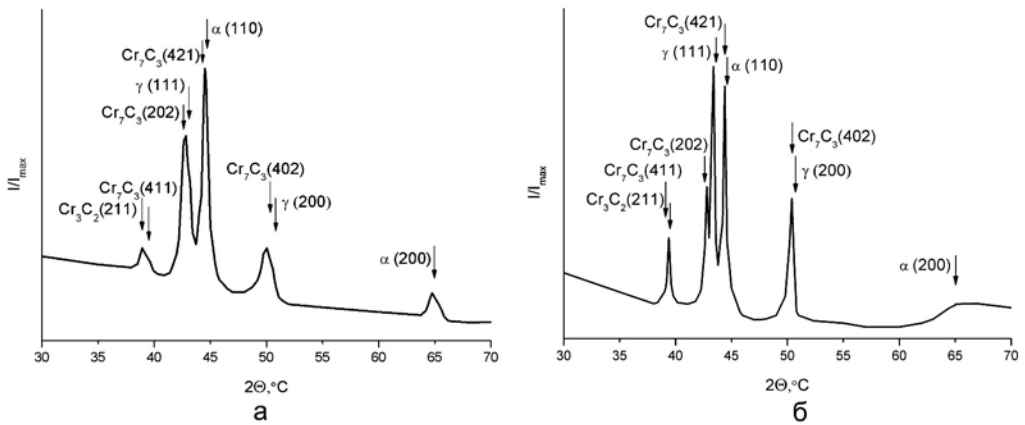


Рис. 1. Рентгенограма хромистої карбідосталі після гарячого пресування та термообробки: а – гаряче пресування при $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 20\text{ хв}$, б – гаряче пресування при $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 10\text{ хв}$ + відпал при $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 5\text{ годин}$.

В одержаній карбідосталі відбувається також фазове $\alpha \leftrightarrow \gamma$ перетворення в твердому стані, яке можна використовувати при термічній обробці для додаткового зміцнення даного матеріалу. Дилатометричними дослідженнями виявлено, що температура початку $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення складає $805\text{ }^{\circ}\text{C}$, а закінчується воно при $840\text{ }^{\circ}\text{C}$. За прискореного охолодження відбувається мартенситне перетворення матриці карбідосталі в температурному інтервалі $M_n = 305\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $M_k = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В процесі одержання з причини низької розчинності вуглецю в α -фазі його дифузія не могла б бути достатньо активною, якби не дефекти кристалічної ґратки, що виникають при гарячій деформації. За відповідної температури відбувається перебудова ґратки у γ -фазу, розчинність вуглецю в якій значно вища. Подальша його дифузія і, внаслідок цього, суттєве перенасичення призводять на початковій стадії до утворення карбиду хрому Cr_3C_2 . Оскільки цей карбід є термодинамічно нестійким при наявності в системі заліза та хрому, за більшої витримки або при дифузійному відпалі створюються умови його переходу у більш стійкий карбід хрому Cr_7C_3 [4 – 6].

Мікроструктура сталі після гарячого пресування залежно від температури та витримки мало відрізняється (рис. 2 а, б) так само, як і загальна твердість. Структура даного виду карбідосталі складається переважно з ділянок карбідної евтектики. Присутній також аустеніт, що утворився навколо карбідів, на місці розчинених в основі включень графіту.

За час досить короткочасної ізотермічної витримки при гарячому пресуванні дифузія не проходить повністю і не досягається врівноважений стан між карбідною і металевою складовими. Тому в карбідній фазі крім Cr_7C_3 залишається також вищий карбід Cr_3C_2 , який не провзаємодіяв з основою. Беручи до уваги, що карбід хрому Cr_3C_2 не має області гомогенності і практично не розчиняє в собі заліза, карбідна складова композиту представляє собою суміш Cr_3C_2 та $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$, в якому до 60 % атомів хрому можуть бути заміщені атомами заліза [4], що призводить до деякого зниження твердості. Спостерігаються також суттєві відхилення $\pm \delta$ мікротвердості

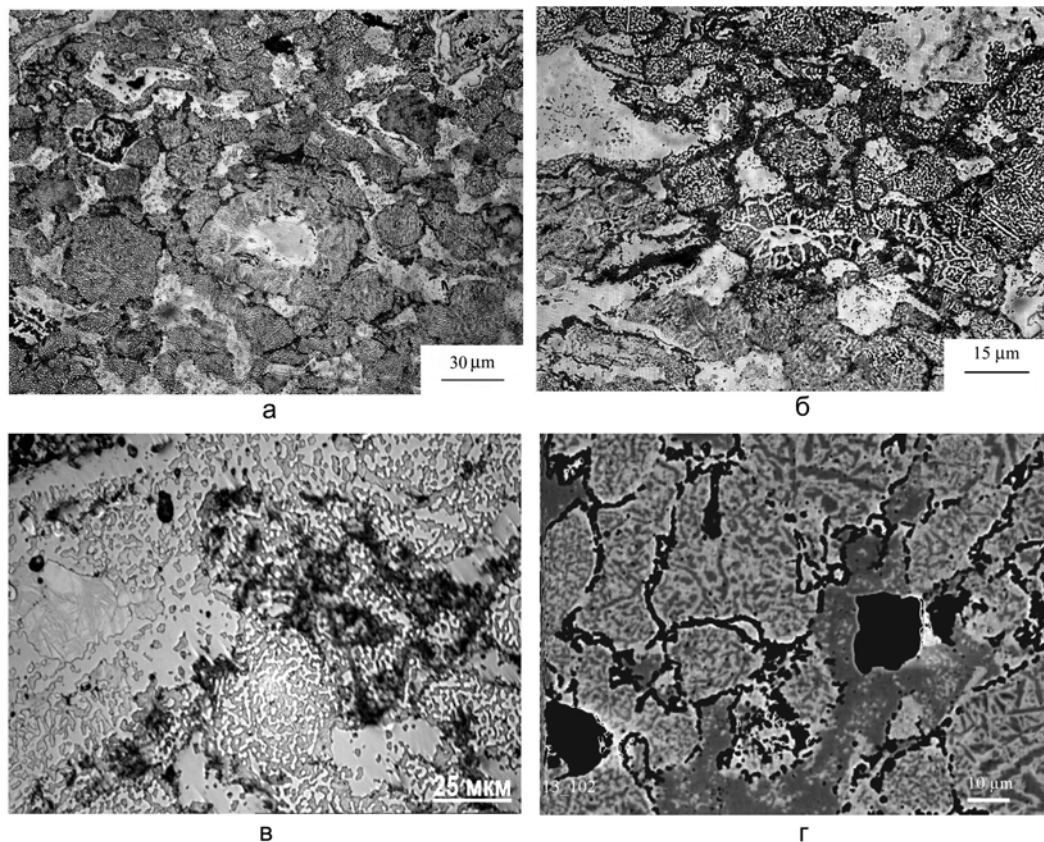


Рис. 2. Структура карбідосталі з карбідами хрому: а, б – одержано гарячим пресуванням; в, г – після відпалу.

структурних складових, які пояснюються наявністю багатьох фаз та їх неоднорідністю (табл. 1).

Температура та витримка гарячого пресування 1200 °С, 10 хв не забезпечують в процесі отримання врівноваженого стану матеріалу, тому був застосований додатковий дифузійний відпал за режимом: нагрів до 1100 °С з піччю, витримка 5 годин, охолодження на повітрі (зразок був запаяний у кварцову ампулу з відкачкою до вакууму $10^{-1} - 10^{-2}$ мм. рт. ст.). Твердість в результаті зросла до 52 – 55 HRC. З рис. 1 б видно, що після відпалу кількість та інтенсивність ліній карбідів на рентгенограмі ще збільшується. При цьому уширення рентгеновських ліній відповідно зменшується, що свідчить про зняття внутрішніх напружень.

Крім підвищення загальної твердості в результаті термообробки змінюється також мікротвердість структурних складових (табл. 2). Особливістю мікроструктури є те, що у ділянках аустеніту, збагачених вуглецем, з пересиченого твердого розчину виділяються вторинні дисперсні карбіди, які можна виявити тільки методами електронної мікроскопії. Вони підвищують мікротвердість металевої фази, а потрапляючи у пляму мікрозонду, завищують результати вимірів кількості хрому, заліза та вуглецю в ній.

Таблиця 1
Мікротвердість карбідосталі після гарячого пресування

Фаза	Номер виміру	H _{μ100} , МПа	± δ, МПа
Карбідна евтектика (середнє значення H _{μ100} = 6250 МПа)	1	6810	560
	2	5720	530
	3	6340	90
	4	6130	120
Аустеніт із вторинними карбідами (середнє значення H _{μ100} = 8810 МПа)	1	9740	930
	2	9330	520
	3	7920	890
	4	8240	570
Феритні прошарки (середнє значення H _{μ100} = 4560 МПа)	1	5190	630
	2	4200	360
	3	4880	320
	4	3980	580

Таблиця 2
Мікротвердість карбідосталі після відпалу

Фаза	Номер виміру	H _{μ100} , МПа	± δ, МПа
Карбідна евтектика (середнє значення H _{μ100} = 9680 МПа)	1	9330	350
	2	10200	520
	3	10600	920
	4	8580	1100
Хромистий ферит (середнє значення H _{μ100} = 7490 МПа)	1	7070	420
	2	7340	150
	3	7920	430
	4	7620	130
Окремі карбіди (середнє значення H _{μ100} = 17450 МПа)	1	15050	2400
	2	20120	2670
	3	17820	370
	4	16815	630
Аустеніт із вторинними карбідами (середнє значення H _{μ100} = 12275 МПа)	1	12875	600
	2	11100	1175
	3	12875	600
	4	12250	25

Після відпалу кількість та розміри карбідів збільшується, у карбідній евтектиці відбувається їх коагуляція (рис. 2 в). Цим пояснюється підвищення інтенсивності ліній карбідів і твердості матеріалу. Також в структурі можна спостерігати мартенсит. При зйомці зразків на растровому електронному мікроаналізаторі Super Probe 733 в режимі «схро» і в хромовому випромінюванні виявляється неоднорідність матеріалу по хрому (рис. 2 г).

Розміри первинних карбідів хрому, що утворилися в процесі одержання матеріалу, під час відпалу збільшуються за рахунок часткової перекристалізації вищого карбіду хрому Cr_3C_2 у Cr_7C_3 та розчинення атомів заліза в останньому і утворення складного карбіду $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$. Стадії карбідних перетворень в ході дифузійного відпалу можна представити наступним чином: $\text{Cr}_3\text{C}_2 \rightarrow \text{Cr}_7\text{C}_3 \rightarrow (\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$. Мікротвердість первинних карбідів при цьому змінюється від 20 до 15 ГПа в залежності від їх складу, зокрема від співвідношення хрому та заліза.

Карбідосталі на основі системи Fe-Cr-C можуть бути відносно дешевими заміниками зносо-корозійностійких матеріалів з неіржавіючих сталей, а також твердих сплавів, що працюють в умовах абразивного зношування, сухого тертя чи обмеженої подачі змазки. Результати випробувань показали, що отримана карбідосталь має досить високі триботехнічні характеристики, що перевищують по досліджуваним показникам твердий сплав ВК8 [7]. Карбідосталь має оптимальне співвідношення карбідної та металевої (більше 50 %) складової, для того щоб отримати матрично-наповнену, а не карбідно-каркасну, мікроструктуру з рівномірним розподіленням дрібних карбідів, що знижує долю крихкого руйнування у зоні тертя.

Виявлено, що в результаті гарячого пресування та термообробки у дослідному матеріалі формується складна гетерофазна структура завдяки одночасному проходженню процесів гарячої деформації, дифузії та синтезу карбідів. У структурі присутні: карбідна евтектика з пластинчастими та зернистими карбідами хрому, високовуглецевий аустеніт з дисперсними виділеннями вторинних карбідів, α -фаза у вигляді ділянок мартенситу і прошарків хромистого фериту у карбідній евтектиці, а також залишки графіту. Виділення вторинних карбідів мікронного розміру в структурі хромової карбідосталі проявляється у вигляді ефекту дисперсного зміцнення металевої основи, що розширює перспективи використання даного виду карбідосталі. Оптимальним режимом одержання хромистої карбідосталі є гаряче пресування при температурі 1200 °С з витримкою 15 – 20 хв.

Література

1. Маслюк В.А., Напара-Волгина С.Г. Стойкие к износу и коррозии материалы типа карбидосталей с различными матрицами // Порошк. металлургия. – 1999. – № 9/10. – С. 108 – 114.
2. Шевченко О.М. Карбидостали. Виды и способы их получения // Современные проблемы физического материаловедения. – Киев: ИПМ НАН Украины. – 2011. – 20. – С. 51 – 64.

3. Маслюк В.А., Напара-Волгина С.Г., Орлова Л.Н. Горячештампованные износостойкие порошковые материалы на основе нержавеющей сталей аустенитного класса // Порошк. металлургия. – 2006. – № 1/2. – С. 26 – 35.
4. Власюк Р.З., Деймонтович В.Б., Мамонова А.А. Растворение карбида Cr_3C_2 в железной матрице // Там же. – 1981. – № 10. – С. 26 – 30.
5. Клименко В.Н., Маслюк В.А., Самброс Ю.В. Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов системы карбид хрома-железо // Там же. – 1986. – № 8. – С. 39 – 44.
6. Яковенко Р.В., Маслюк В.А., Грипачевский А.Н. Растворение карбида хрома Cr_3C_2 в стали X17N2 при спекании // Там же. – 2011. – № 3/4. – С. 75 – 83.
7. Шевченко О.М. Структурні основи створення хромової карбідосталі евтектичного типу з підвищеною зносостійкістю // Доповіді НАНУ. – 2013. – № 5. – С. 104 – 110.

Одержано 20.02.15

О. М. Шевченко

Структура хромистой карбидостали, полученной горячим прессованием

Резюме

Получена хромистая карбидосталь путем синтеза карбидов в ходе горячего прессования. Исследованы особенности ее структурообразования. Показано, что в результате одновременного прохождения процессов горячей деформации, диффузии и образования карбидов в полученном материале формируется довольно равномерная, дисперсная, однако сложная структура. Предоставлены рекомендации относительно дальнейшей термообработки данного типа карбидостали.

O. M. Shevchenko

The structure of the chromium carbide steel that obtained by hot pressing

Summary

The chromium carbide steel has been obtained by carbides synthesis at hot pressing. The features of its structure formation were investigated. It is shown that rather uniform, disperse, but complex structure was formed in the material obtained as a result of simultaneous hot deformation, diffusion and carbides formation processes. The recommendations related to the further heat treatment of this type of carbide steel are given.