



2 Повх И.Л. Техническая гидромеханика. – Л.: Машиностроение, 1976.

3 Гукасов Н. А. Механика жидкости и газа: Учеб. пособие для вузов по направлению "Нефтегазовое дело" М. Недра 1996.

УДК 548.39:539.2

ВПЛИВ CrSi_2 НА МЕХАНІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУРОВИХ ВСТАВОК АЛМАЗ–(WC– Co), ОДЕРЖАНИХ ГАРЯЧИМ ПРЕСУВАННЯМ

М.О. Бондаренко, В.А. Мечник

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
Україна, 04074, м. Київ,
вул. Автозаводська, 2, bond@ism.kiev.ua, vlad.me4nik@ukr.net*

Вступ. Композиційні алмазовмісні матеріали (КАМ) на основі твердосплавних матриць володіють сприятливим комплексом фізико-механічних властивостей, що дозволяє їх використовувати для виготовлення бурових інструментів різного функціонального призначення [1]. У промислових умовах такі КАМ виготовляють гарячим пресуванням шпихти, що складається з порошків алмазу зернистістю 800/1000–630/800 і карбїду вольфраму та кобальту, середній розмір яких складає 5–50 мкм. Ці композити можна отримувати також електроіскровим спіканням, високочастотним індукційним спіканням, спіканням в пульсуючій плазмі, інтенсивним електроспіканням [2]. В залежності від способу спікання остаточна структура таких КАМ формується при температурі 1350–1450 °С і тиску 20–300 МПа. Фізико-механічні властивості КАМ розглядуваної системи (Салмаз–WC–Co) обумовлюються хімічним складом, структурою і морфологією, які, в свою чергу, залежать від властивостей їх складників, способів та технологічних режимів їхнього одержання. Дослідження таких КАМ ускладнено через взаємовплив компонентів і продуктів їх взаємодії, неізотермічні умови спікання, малу концентрацію аморфного чи (або) графітового вуглецю, що виділяється в перехідній зоні алмаз–матриця внаслідок графітізації поверхневих шарів алмазних зерен при спіканні. Цей вуглець є основною причиною передчасного руйнування перехідної зони та випадіння алмазних зерен із матриці КАМ, що погіршує їх фізико-механічні властивості [1].

Для поліпшення властивостей КАМ до їх складу вводять добавки карбїдів, боридів, нітридів та силїцидів перехідних металів, які



активують процес спікання та зв'язують графітовий вуглець з металевою зв'язкою композиту. Зокрема в [1, 3] показано, що додавання 1,5% і 2% CrSi_2 до композиту Салмаз–(94WC-6Co) (тут і надалі склад композиту подано в % (за масою) відносно твердосплавної матриці WC-Co) сприяє зменшенню графітизації поверхневих шарів при спіканні і, як наслідок, підвищенню його зносостійкості. Однак, як показує аналіз літературних даних, оптимальний склад для цих композитів ще не визначено. Для цього необхідно дослідити залежності мікротвердості, границі міцності під час стиску і згинання та зносостійкості композитів системи Салмаз–(94WC-6Co) від вмісту CrSi_2 у їх складі.

Мета роботи – дослідити вплив вмісту CrSi_2 на механічні та експлуатаційні властивості композитів Салмаз–(94WC-6Co), одержаних гарячим пресуванням при остаточній температурі 1450 °C і тиску 50 МПа протягом 12 хв.

Об'єкти і методи дослідження

В якості вихідних речовин використовували порошки природного алмазу зернистістю 800/630 і карбиду вольфраму (WC), кобальту (Co) (ГОСТ 97-97 і силіциду хрому (CrSi_2) із вмістом 47,8 мас.% хрому та 52,2 мас.% кремнію, середній розмір яких складає 5–50 мкм. Порошкові суміші 94WC-6Co (1), 93WC-6Co-1 CrSi_2 (2), 92WC-6Co-2 CrSi_2 (3), 91WC-6Co-3 CrSi_2 (4), 90WC-6Co-4 CrSi_2 (5) і 89WC-6Co-5 CrSi_2 (6) змішували механічно в барабанному млині розмельними кулями з високощільної алюмоксидної кераміки в режимі сухого помелу за частотою обертання млина 200 об./хв, що забезпечувало ударно-зсувну дію куль на порошки. Співвідношення маси куль і порошоків становило 5:1, тривалість оброблення – 10 год. Алмазовмісні суміші готували у такий спосіб. До порошкових сумішей (1) – (6) додавали алмази в кількості 4,4 карат на 1 см³ шихти, що відповідає відносній концентрації 100%, та перемішували без використання розмельних куль. З цих сумішей в металевих прес-формах за кімнатної температури при тиску 500 МПа одержували брикети для зразків КАМ (зразки (1)–(6)). Спікання зразків КАМ (1)–(6) здійснювали на промисловій установці в графітовій прес-формі при зміні температури від 20 до 1450 °C і тиску — від 0,5 до 50 МПа на протязі 12 хв..

Мікротвердість зразків КАМ вимірювали за допомогою приладу ПМТ-3 з використанням індентора Віккерса при навантаженні 4,91 Н. Відбитки наносили на відстані від 10 до 50 мкм від границі поділу алмаз–матриця. Границі міцності зразків КАМ під час згинання та стиску досліджували за стандартною методикою (похибка ≤ 5 %). Випробування зразків КАМ на зносостійкість здійснювали на спеціальному стенді при шліфуванні кварцового пісковикку при



вертикальному навантаженні 50 кг, швидкості обертання 4 м/с протягом 600 с.

Визначали масовий знос зразка Δm шляхом його зважування на аналітичних вагах ВЛА-20г-М (точність ± 4 мг) і масову інтенсивність зношування I ($I = \Delta m/L$).

Статистичний аналіз експериментальних даних виконували за параметричними критеріями нормального розподілу інваріант, стандартного відхилення середніх значень за загальноприйнятою методикою.

Аналіз результатів. Результати дослідження мікротвердості H ділянок твердосплавної матриці, що не містять алмазних зерен, і перехідної зони алмаз–матриця, границі міцності під час стиску R_{cm} і згинання R_{bm} , масового зносу Δm і інтенсивності зношування I спечених зразків КАМ наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Механічні і експлуатаційні характеристики спечених зразків КАМ

Зразок	Вміст $CrSi_2$, % (мас.)	H, ГПа		R_{cm} , МПа	R_{bm} , МПа	Δm , г	I, 10^{-3} , г/м
		матриця	перехідна зона				
1	0	23,6	14,0	4640	1810	2,58	1,08
2	1	27,2	19,4	4960	2018	1,78	0,74
3	2	30,4	24,2	5260	2680	0,84	0,35
4	3	32,6	25,4	5580	2820	0,47	0,20
5	4	34,8	26,8	5640	2510	1,00	0,42
6	5	37,3	27,6	5730	2140	2,24	0,93

З таблиці видно, що механічні і експлуатаційні властивості КАМ суттєво залежать від вмісту $CrSi_2$. Так для зразка 1, що не містить у складі вихідної шихти $CrSi_2$, спостерігається найменші H , R_{cm} , R_{bm} і найбільші значення Δm , I . Для зразка 2, що містить у складі вихідної шихти 2% $CrSi_2$, значення мікротвердості ділянок матриці і перехідної зони, границі міцності під час стиску і згину зростають відповідно від 23,6 до 27,2 ГПа, від 14,0 до 19,4 ГПа, від 4640 до 4960 і від 1810 до 2018 МПа. При цьому масовий знос і інтенсивність зношування зменшуються відповідно від 2,58 до 1,78 г і від $1,08 \times 10^{-3}$ до $0,74 \times 10^{-3}$ г/см. Причиною поліпшення механічних та експлуатаційних характеристик зразка 2 порівняно зі зразком є відсутність в перехідній зоні алмаз–матриця графітових включень внаслідок утворення стійких карбідних фаз хрому та формування дрібнозернистої структури за відсутності пор, тріщин та інших дефектів [1, 3]. Крім того, присутність кремнію у зразку 2 порівняно зі зразком 1 сприяє утворенню міцних хімічних зв'язків алмазних зерен з вольфрамом, вуглецем і кобальтом, що поліпшує адгезійні властивості. При збільшенні вмісту $CrSi_2$ від 1% до 3% у складі вихідної шихти механічні та експлуатаційні властивості КАМ зростають. Максимальні



значення механічних та експлуатаційних характеристик виявлено для зразка 4, що містить 3% CrSi_2 . Структура твердосплавної матриці цього зразка за даними ТЕМ складається з рівномірно розподілених фаз WC , $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ і Co , а перехідна зона сформована з фаз WC , Co , Cr_3C_2 і Cr_7C_3 , що забезпечує повне знеутлецювання, міцне утримання алмазних зерен твердосплавною матрицею і, як наслідок, максимальну підвищує твердість, границі міцності під час стиску і згинання та зносостійкість.

При подальшому збільшенні вмісту CrSi_2 у складі вихідної шихти виявлено, що зносостійкість КАМ починає різко зменшуватись. Так, при збільшенні вмісту CrSi_2 від 3% до 5% у складі вихідної шихти масовий знос і інтенсивність зношування збільшуються в 4,7 рази (зразки 4 і 6). Це пояснюється тим, що зі збільшенням вмісту CrSi_2 відбувається подальше зростання мікротвердості, що зменшує крихкоміцність і границю міцності під час стиску, а це в свою чергу призводить до передчасного руйнування перехідної зони за механізмом інтенсивного розтріскування і випадіння алмазних зерен з твердосплавної матриці.

Отримані результати свідчать про те, що оптимальним з точки зору механічних і експлуатаційних властивостей є композит Салмаз–(94% WC –6% Co) з добавкою 3% мас. CrSi_2 . Цей композит володіє найбільшими значеннями границі міцності під час стиску і згинання та найменшими значеннями масового зносу і інтенсивності зношування. Встановлені закономірності актуальні і вагомі як для теорії, так як поглиблюють відомі підходи щодо прогнозування алмазовмісних композитів на основі твердих сплавів, так і для технології, оскільки дозволяють одержувати бурові вставки підвищеної зносостійкості.

Літературні джерела:

1 Лисовский А.Ф., Бондаренко Н.А., Давиденко С.А. Структура и свойства композита алмаз– WC – Co , легированного 1,5% (по массе) CrSi_2 // Сверхтвердые материалы. – 2016. – № 6. – С. 9–21.

2 Майстренко А. Л. Формирование структуры композиционных алмазосодержащих материалов в технологических процессах. – К.: Наукова думка. – 2014. – 342 с.

3 Багиров О.Э. О применении композиционных материалов алмаз–(WC – Co), легированных) CrSi_2 в буровых долотах // SOCAR Proceedings. – 2016. – № 1. – С. 15–22.