

УДК 548.39:539.2

## ВПЛИВ В<sub>4</sub>С НА СТРУКТУРУ І ЗНОСОСТІЙКІСТЬ БУРОВИХ ВСТАВОК НА ОСНОВІ С<sub>алмаз</sub>-ВК6 СПЕЧЕНИХ МЕТОДОМ ГАРЯЧОГО ПРЕСУВАННЯ

М.О.Бондаренко

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2, м. Київ, 04074, тел.(044)-467-56-25, e-mail:bond@ism.kiev.ua

*Описано получение буровых вставок на основе ВК6 спеченных методом горячего прессования в интервале температур 300-1800К и давлений 0,5-50 МПа. Исследовано влияние В<sub>4</sub>С на строение металлической зоны вокруг алмаза и механические характеристики композита. Обсуждаются вопросы износостойкости и показаны конкретные пути повышения стойкости и надежной работы буровых вставок*

*The work describes the production of 94%WC-6%Co-based drill bit inserts sintered by hot pressing method within temperature range of 300-1800 R and pressure range of 0,5-50 MPa. The effect of В<sub>4</sub>С in the structure of metal zone around diamond and mechanical characteristics of the composite have been investigated. The problems of wear-resistance are discussed and specific ways of increasing the resistance and dependability of the drill bit inserts are shown*

Проблема збільшення обсягів видобутку нафти і газу в Україні пов'язана зі збільшенням глибин нафтогазових свердловин. Це, у свою чергу, потребує створення такого обладнання і інструментів, зокрема алмазних бурових доліт, які б відповідали вимогам часу. Долота ІНМ, які протягом багатьох років успішно використовуються в бурінні свердловин, оснащуються породоруйнівними вставками із матеріалу славутич (композит на основі природних алмазів і твердого сплаву групи ВК). Як показала практика використання таких вставок, закріплених в них алмаз має ресурс роботи 30-35 %, що зумовлено недостатньою взаємодією з матричним матеріалом. Поліпшення алмазоутримання до ресурсу 50 % дасть змогу збільшити зносостійкість породоруйнівних вставок, а отже і бурових доліт, у 2 і більше разів.

У роботі [1] показано, що введення дібориду хрому СгВ<sub>2</sub> у шихту на основі твердого сплаву ВК6 під час спікання за особливими технологічними режимами вдосконалює металеву зону навколо алмазу, підвищує механічні властивості і зносостійкість бурових вставок за рахунок утворення досить міцного хімічного зв'язку на контактні алмаз-матриця. Для збереження алмазів у матриці і забезпечення надійної роботи долота на всьому етапі буріння дуже важливою характеристикою для вставок є протидія високим температурам і навантаженням. Залежно від типу гірської породи та умов буріння, температури в зоні контакту долотопорода розвиваються до значних величин і зумовлюють термопружні напруги, які можуть викликати пластичні деформації і призвести навіть до катастрофічного зношування. У [2,3] зазначається, що карбід бору В<sub>4</sub>С – стійка хімічна сполука із сильними ковалентними зв'язками між атомами вуглецю і бору з низькою концентрацією нелокалізованих електронів. Завдяки високій абразивній стійкості він використовується у вигляді порошкового матеріалу для шліфу-

вання і полірування скла, кераміки, кварцу, мінералів, технічних каменів, заточування і доведення різальних пластин із твердих сплавів [4-7]. У вигляді спечених виробів, зцементованих різними зв'язками, цей матеріал використовується для виготовлення відрізних, шліфувальних кругів і інструментів для обробки твердих матеріалів [8,9]. Карбід бору – складова частина багатьох наплавочних сумішей, які мають високу стійкість проти абразивного зношування [6,10,12].

Дані про зношування бурових вставок на основі вольфрамкобальтових сплавів з добавками В<sub>4</sub>С, будову металевої зони навколо алмазу і перерозподіл компонентів в об'ємі виробу нам невідомі.

У цій роботі проведено дослідження впливу В<sub>4</sub>С на зносостійкість, будову металевої зони навколо алмазу та механічні властивості бурових вставок на основі твердого сплаву ВК6, спечених методом гарячого пресування.

Можна сподіватися, що отримані результати будуть цікавими для спеціалістів, які працюють у порошковій металургії в напрямку виготовлення надтвердих композитних матеріалів та в галузі експлуатації бурових доліт.

Зразки бурових вставок діаметром 10 і висотою 10 мм для дослідження механічних характеристик і зношування виготовляли методом гарячого пресування суміші порошоків 94WC6Co, мас.% з розмірами зерен від 3 до 5 мкм (зразки № 1) і аналогічної суміші з добавками В<sub>4</sub>С за загальної кількості в % бору 77,9, вуглецю загального 21,0 і вільного 0,5 (зразки № 2). У шихту для робочих частин вставок додавали природні алмази зернистістю 800/630 мкм з відносною концентрацією 100% (що відповідає 4,4 карат на 1 см<sup>3</sup>). Порошки готували в спиртовому середовищі. Шихту перемішували в барабані протягом 36 годин. Спорядження комірки для спікання виконували згідно з вимогами виробництва бурових вставок на основі



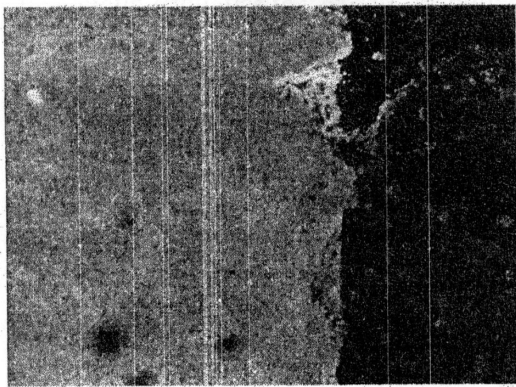
матеріалу славутич. Зразки № 1 спікали в графітовому середовищі в інтервалі температур 300-1800 К і тисків 0,5-15,0 МПа протягом 720 с згідно з стандартним технологічним режимом. Зразки № 2 з додаванням  $V_4C$  спікали за спеціальними технологічними режимами. Для дослідження поверхні зламу контакту алмаз-матриця були спечені спеціальні зразки розмірами  $5 \times 5 \times 21$  мм за технологією і складом аналогічно зразкам № 1 і № 2.

Дослідження мікроструктури і складу зразків виконували на растровому електронному мікроскопі (РЕМ) BS-340, який оснащений системою цифрової обробки зображення і енергетичним аналізатором рентгенівських спектрів "Link-860". Дослідження мікротвердості виконували на мікротвердометрі ПМТ-3 індентором Віккерса за навантаження 50 Г ( $\approx 0,49$  Н). Відбитки наносили на відстані 10 мкм від границі алмаз-матриця і до 50 мкм від неї. Розміри відбитків виміряли на універсальному мікроскопі NU-2E фірми Carl Zeiss Jena за збільшення 750 у режимі фазового контрасту. Зносостійкість зразків досліджено на спеціальному стенді ШПС-73М за шліфування кварцитового пісковику твердістю за штампом  $R_{шт} = 270-320$   $кГ/мм^2$  з вертикальним навантаженням на одну вставку  $P = 50$   $кГ$  за лінійної швидкості обертання 4 м/с протягом 600 с. Оцінку інтенсивності зношування бурових вставок виконували за двома показниками: відношенням втрати маси робочої частини вставки до шляху її тертя по

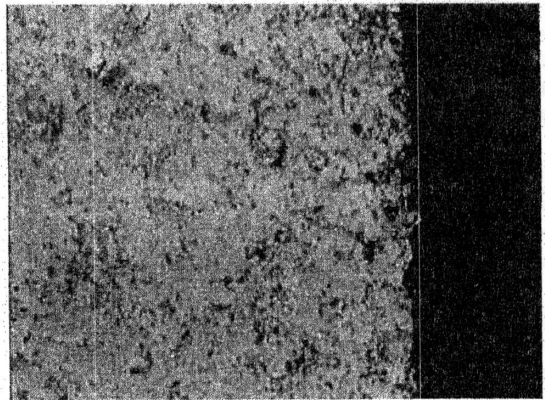
поверхні породи  $I_s$ ,  $г/м^3$  і відношенням втрати маси робочої частини вставки до об'єму зруйнованої породи  $I_d$ ,  $г/м^3$ .

На рис.1 зображено типові мікроструктурні зображення поверхні контакту алмаз-матриця дослідних зразків.

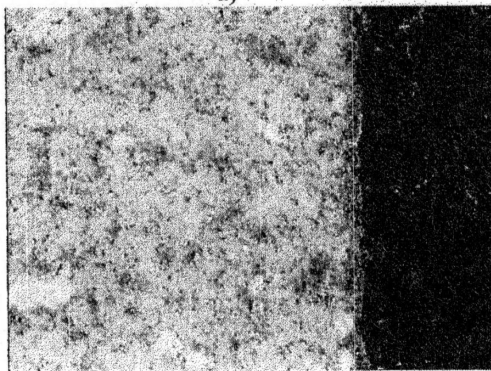
Іх аналіз свідчить, що в зразку № 1 у металевій зоні навколо алмазу є тріщини, порожнини і транскристалітні сколювання (рис.1а). Із введенням в шихту  $V_4C$  структура металевій зоні навколо алмазу зразка № 2 стає більш досконалою і рельєфною, порожнин і транскристалітних сколів не має (рис.1б). За подальшої оптимізації технологічних режимів спікання (збільшення тиску пресування і швидкості нагрівання) відбувається подрібнення складових композиту із зменшенням розмірів зерен в металевій зоні навколо алмазу (рис.1в). Імовірно це пов'язано з утворенням нової фази чи сполуки на основі компонентів шихти в присутності  $V_4C$  і вуглецю, який може утворюватися на периферії алмазу під дією високих температур. Фізико-механічні властивості цієї сполуки можуть перевищувати аналогічні параметри ВК6. Дослідження твердості матриці свідчить про утворення такої фази в металевій зоні навколо алмазу в цих зразках. Так мікротвердість матриці зразків № 2 на відстані 50 мкм від межі контакту алмаз-матриця досягала значень 29,2 ГПа, а на відстані 10 мкм від цієї межі – 17,8 ГПа, які значно перевищують мікротвердість стандартних зразків № 1 відповідно 21,5 і 13,0



а)



б)



в)

Рисунок 1 - Мікроструктурні зображення металевій зоні навколо алмазу після спікання зразків № 1 (а,  $\times 2000$ ) і № 2 (б,  $\times 2000$ ; в,  $\times 1000$ )

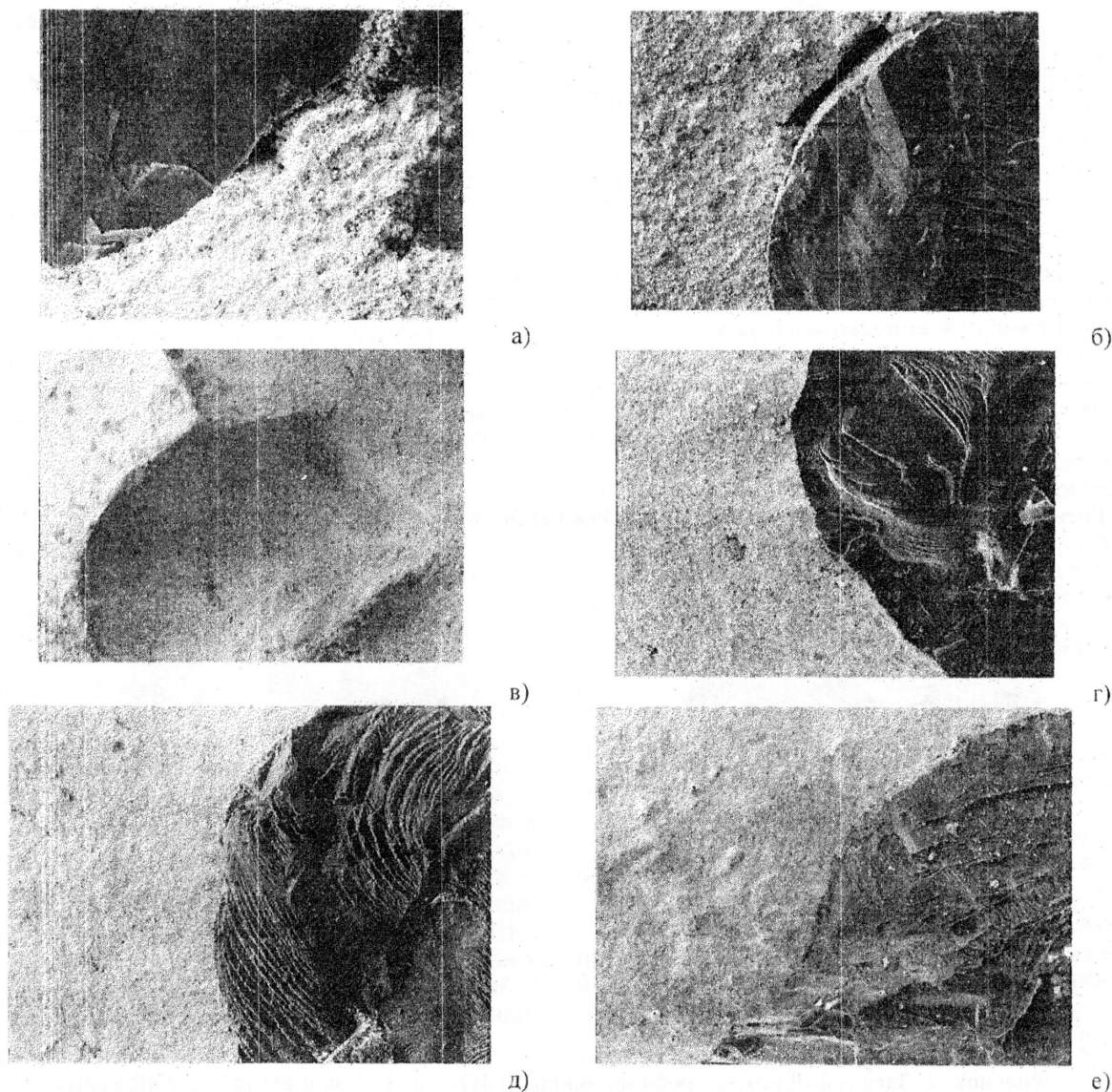


Рисунок 2- Поверхні зламу зразків № 1 (а, х500; б, х 250; в, х 111) і № 2 (г, х 253; д, х 142; е, х 160)

ГПа. Підвищення мікротвердості металевої зони навколо алмазу від 13,0 до 17,8 ГПа є важливою перевагою зразків № 2 над № 1, оскільки це має принципове значення.

Аналіз мікроструктурних зображень поверхні зламу підтверджує перевагу зразків № 2 над зразками № 1 (рис. 2). У металевій зоні навколо алмазу в зразках № 1 спостерігаються пори, порожнини (рис. 2, а і б), тріщини і випадання алмазів з матриці (рис. 2в). Ці обставини свідчать про те, що високоякісні алмази, не використавши своїх потенційних можливостей, передчасно випали з матриці, що істотно знижує стійкість проти спрацювання і довговічність цього композиту. На противагу зразкам № 1 бурові вставки № 2 після зламу мають щільний і міцний контакт алмаз-матриця, металева зона навколо алмазу не містить ані пор, ані порожнин та тріщин (рис. 2, г-е), а структура відрізняється дрібнозернистістю. Випадання алма-

зів з матриці в цих композитах не спостерігається, злам матриці відбувається по тілу алмазу. Характерною особливістю цих зразків є і те, що вони мають хвилову поверхню зламу алмазів і розвинуту рельєфну структуру матриці, які свідчать про високу міцність і стійкість проти спрацювання, добре утримування алмазів і надійну роботу цих зразків.

Металографічні дослідження засвідчили, що структури дослідних зразків істотно відрізняються залежно від складу шихти і умов спікання. У стандартному зразку №1 як в поперечному, так і в поздовжньому перерізах шліфа спостерігаються пори з розмірами до 50мкм з загальною кількістю 0,2об.% і включення графіту до 0,8 об.%. На робочій поверхні цього зразка виявлено 7 закріплених і 15 випадених алмазів з розмірами зерен від 274 до 716 мкм. Мікроструктура зразків крупнозерниста. Розподілення кобальту в матриці нерівномірне, спосте-

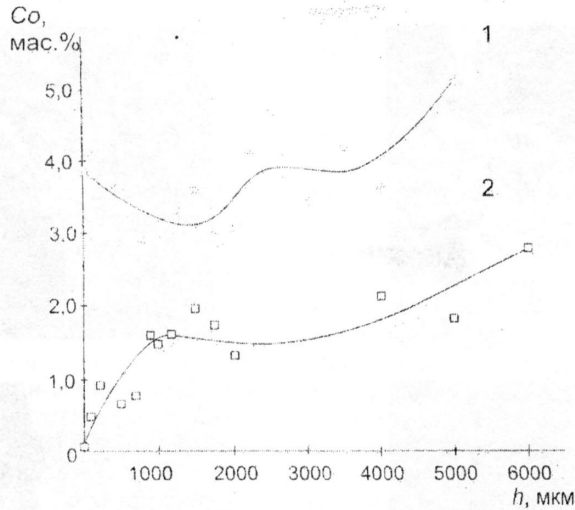
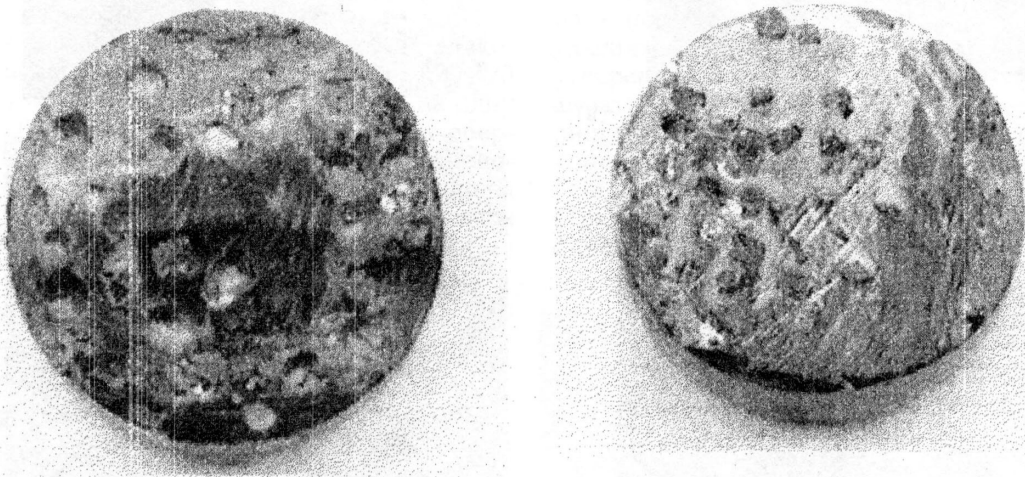


Рисунок 3- Розподіл кобальту по висоті зразків в напрямку від алмазного шару до матриці № 1 і № 2



а)

б)

Рисунок 4- Загальний вигляд робочої поверхні бурових вставок після їх дослідження на знос № 1 (а) і № 2 (б), х 24

рігається багато скупчень. Максимальна ширина прошарку кобальту від 0,5 до 5 мкм. Особливою рисою зразків № 2 відносно № 1 є те, що в поперечному перерізі шліфа пори не виявлені, а в поздовжньому вони спостерігаються в незначній кількості до 0,1 об.%, включення графіту зменшилось до 0,3 об.%

Мікроструктура дрібнозерниста, з рівномірним розподіленням кобальту і карбіду вольфраму. Максимальна ширина прошарку рівномірно розподіленої фази кобальту зменшилась до 1,5 мкм. На робочій поверхні зразка виявлено 21 закріплення і 4 випалих з матриці алмази.

На підставі рентгеноспектрального вивчення складу композиту виявлено, що додавання  $V_4C$  у шихту істотно змінює розподіл кобальту і карбіду вольфраму в спечених зразках. На рис.3 зображено розподіл кобальту в дослідних зразках по висоті бурової вставки в напрямку від алмазного шару до матриці. У зразку № 1 вміст кобальту в робочій частині вставки на переході від алмазного шару до межі робоча частина – матриця (перехідна зона) змен-

шується від 4 до 3 мас.%, у перехідній зоні коливається близько 3 мас.%, а в матриці спостерігається зростання від 3 до 6 мас.% (рис.3, крива 1). Загальна кількість кобальту в зразку № 2 менша ніж у № 1. У робочій частині цього зразка нв переході в напрямку до перехідної зони вміст кобальту відносно збільшується від 0,2 до 1,5 мас.%, у перехідній зоні коливається близько 1,5 мас.%, а в матриці зростає від 1,5 до 2,5 мас.%.

Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що додавання карбіду бору в стандартну шихту матеріалу славутич ( $C_{алмаз}-BK6$ ) і спікання за спеціальними технологічними режимами сприяє міграції кобальту з робочої частини вставки в матрицю, а карбіду вольфраму – з матриці в робочу частину, що підвищує механічні властивості цього композиту і забезпечує його надійну роботу. Тут необхідно зауважити, що за такого розподілу компонентів забезпечується надійне алмазоутримання не тільки змочуванням алмазів і зерен карбіду вольфраму рідкою фазою, а ймовірно всього за рахунок утво-



Таблиця 1 – Результати досліджень бурових вставок

№ зразка	Склад композиту	Інтенсивність зношування		Різальна спроможність $\times 10^{-6} \text{ м}^3/600\text{с}$
		$I_3 \times 10^{-6} \text{ г/м}$	$I_8 \times 10^3 \text{ г/м}^3$	
1	$\text{C}_{\text{алмаз}}\text{-BK6}$	1752	14,1	298
2	$\text{C}_{\text{алмаз}}\text{-(BK6-В}_4\text{С)}$	629	9,9	152

рення досить міцного хімічного зв'язку на контакті алмаз–матриця.

Результати лабораторних досліджень різальної спроможності та інтенсивності зношування дослідних вставок під час шліфування пісковіку зведено в таблицю, а загальний вигляд робочої поверхні цих вставок після їх випробувань зображено на рис.4. Аналіз цих результатів засвідчує, що інтенсивність зношування бурових вставок з добавками  $\text{В}_4\text{С}$  у 2,7 рази менша ніж у стандартних зразках. Незначне зменшення різальної спроможності зразків № 2 порівняно з № 1 свідчить про те, що їх механічні властивості, як було вказано вище, перевищують аналогічні параметри стандартних зразків. Суттєве підвищення зносостійкості зразків №2 забезпечується за рахунок надійного алмазоутримання.

Так, після дослідження на зносостійкість в умовах великих динамічних навантажень, контактних температур і вібрацій алмазні зерна в зразку № 2 не випали із матриці (рис. 4б), в той час як у стандартному зразку № 1 переважна кількість їх випали (рис.4а). Ці обставини свідчать про те, що добавки  $\text{В}_4\text{С}$  у шихту  $\text{C}_{\text{алмаз}}\text{-BK6}$  для спікання за спеціально підібраними технологічними режимами забезпечують міцний і надійний контакт алмаз–матриця і високу зносостійкість бурових вставок.

Таким чином, використання вставок, спечених за спеціальною технологією з добавками  $\text{В}_4\text{С}$ , дасть можливість збільшити ресурс роботи доліт ІНМ і ефективніше використовувати їх у процесі буріння свердловин, геологічний розріз яких складають тверді абразивні породи.

#### Література

1 Бондаренко Н.А., Мечник В.А., Жуковський А.Н., Панов А.В., Трескин В.П. Новые порообразующие элементы для алмазного бурового

инструмента // Породоразрушающий и металлоработующий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2003.– С. 35 - 40

2 Косолапова Т.Я. Карбиды. – М.: Металлургия, 1968.– 299 с.

3 Самсонов Г.В. К вопросу о классификации карбидов // Порошковая металлургия. – 1965. - № 1.– С.98–106.

4 Артаманов А.Я., Тутаков О.В., Дайч А.П. Исследование полирующей способности тугоплавких соединений // Там же.– 1966, – № 9.– С. 55-60.

5 Самсонов Г.В., Стасовская В.В., Казаков В.К. Абразивная способность некоторых неметаллических тугоплавких соединений // Там же.– 1968, - № 3.- С. 37– 41.

6 Тугоплавкие карбиды. / Под ред. Самсонова Г.В.– Киев: Наук. думка, 1970. – 132 с.

7 Meerson G.A. In: Mog Developm. Powder Metallurgy. V.3. Plenum Press, N.Y./1956.– P. 95–104.

8 Пат. ФРГ № 977030 (19.11.64). Способ приготовления формирующих изделий из карбида бора добавками кремния или алюминия (Авт. В. Якоби).

9 Пат. Япония № 1533 (19.01.70). Сверхтвердый сплав на основе карбида бора / Авт. Мута Акинори, Тога Гедзо.

10 Шутов И.Д., Добровольский Л.Г. Газопорошковая наплавка карбидом бора // Порошковая металлургия.– 1971. - № 9.– С. 30–34.

11 Электронное строение и физические свойства твердого тела. - Ч. 2. - Киев: Наук. думка, 1972.– 167 с.

12 Ianes S., Nixdorf H. Herstellung von Sinterkorpern aus Borkarbid und Bornitrid. // Ber.Disch.Keram. Ges.- 1966,Bd 43.-S.136-145.

