

УДК 621.762

О.В.Заболотний<sup>1</sup>, В.В.Чернієнко<sup>2</sup><sup>1</sup> Луцький національний технічний університет<sup>2</sup> Одеський національний політехнічний університет

### ОБ'ЄМНЕ БОРУВАННЯ ЗАЛІЗА І СТАЛІ ІЗ СЕРЕДОВИЩА ЕВТЕКТИЧНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА ТА БОРУ

У статті розроблено і обґрунтовано новий спосіб об'ємного борування залізних та сталевих матриць боромісткими евтектичними сплавами.

У реальних умовах борування залізної або сталеві матриць евтектичним сплавом Fe-B в системі Fe-(Fe-B) утворюються дві боридні зони  $Fe_2B$  і FeB або  $(Fe, Me)_2B$  і  $(Fe, Me)B$  (див. рисунок 1).

Процес борування протікає аналогічно поверхневому боруванню заліза [1], але оскільки стінки капілярів оточують евтектичну фазу з усіх боків, то боридні ділянки FeB, які згідно закону борування, можуть формуватися лише на кристалах  $Fe_2B$ , виявляються всередині боридних зон  $Fe_2B$ , що їх облягають.

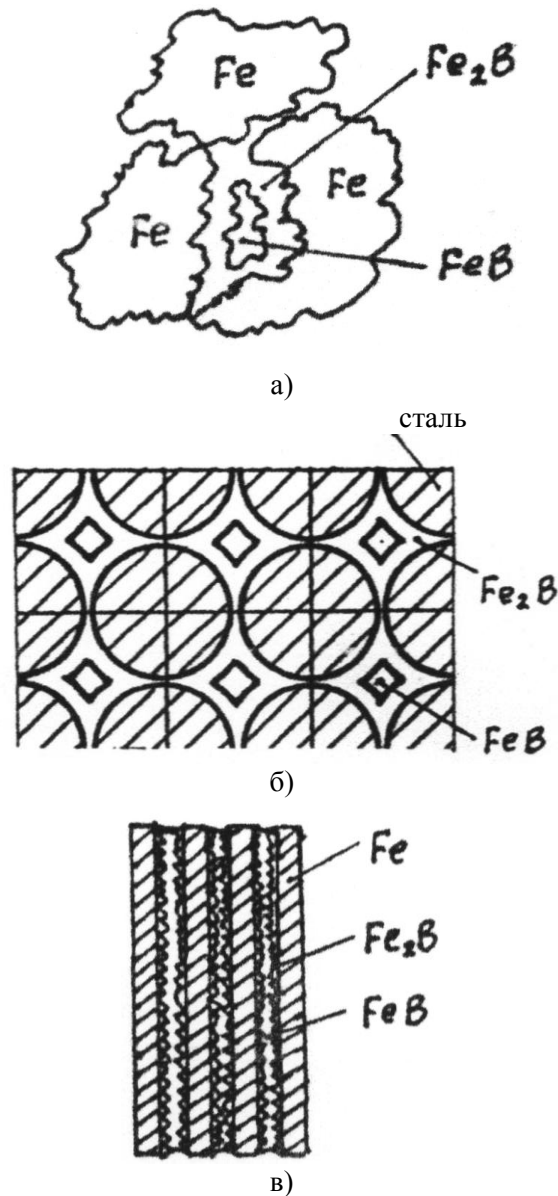


Рис. 1. Схема борування заліза (сталі) в капілярних об'ємах різних за формою матриць: а) – в капілярах порошкової матриці; б) – в капілярах голчастої матриці; в) – в капілярах пластинчастої матриці

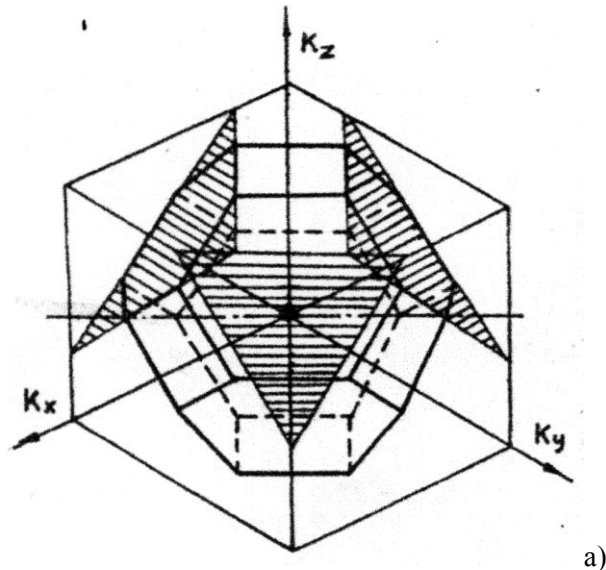
Можливість переважного насичення рідкої фази бором обумовлена дуже низькою його розчинністю в залізі (0,001 ат. %) при високому коефіцієнті відношення діаметрів  $d_B / d_{Fe} = 0,76$ , внаслідок чого дифузія бору в твердофазний каркас заліза утруднюється і практично весь бор витрачається на утворення боридних сполук  $Fe_2B$  та  $FeB$  в рідкій фазі.

Таким чином, поверхнєве борування перетворюється в об'ємне борування, яке протікає в системі  $Fe-(Fe-B)$  при одній і тій же температурі утворення евтектики і одночасно в усіх капілярах залізної або сталеві матриць.

У пористій матриці із залізного порошку (рис. 1, а) ділянки  $Fe_2B$  прилягають до внутрішніх стінок капілярів, а ділянки  $FeB$  розташовуються в центральних частинах капілярів в повному оточенні боридної складової  $Fe_2B$ .

У разі борування евтектикою  $Fe-B$  голчастої (рис. 1, б) або пластинчастої (рис. 1, в) матриць кристали  $Fe_2B$  і  $FeB$  розділяються на окремі зони, які потрійним шаром поширюються на всю глибину брикетів за схемою:  $Fe-Fe_2B-FeB-Fe_2B-Fe$ .

Модель кристалічної структури боридного з'єднання  $Fe_2B$  і наступного утворення на його кристалі бориду  $FeB$  представлена на рисунку 2.



Зони Бриллюена

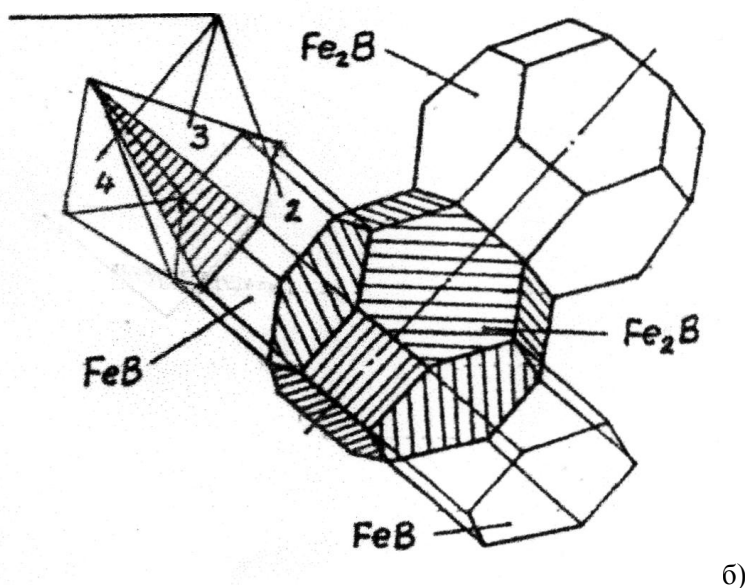


Рис. 2. Побудова моделей ОЦК-гратки і кристалічної структури боридних сполук  $Fe_2B$  і  $FeB$ : а) – побудова зон Бриллюена металічної гратки із комірок Вігнера-Зейтца; б) – формування кристалів  $FeB$  на гранях кристалів  $Fe_2B$  у другій, третій та четвертій зонах Бриллюена

Результати мікроструктурного і мікрорентгеноспектрального аналізів зразків матеріалів системи Fe-(Fe-B) після спікання у вакуумі наведені на рисунку 3.

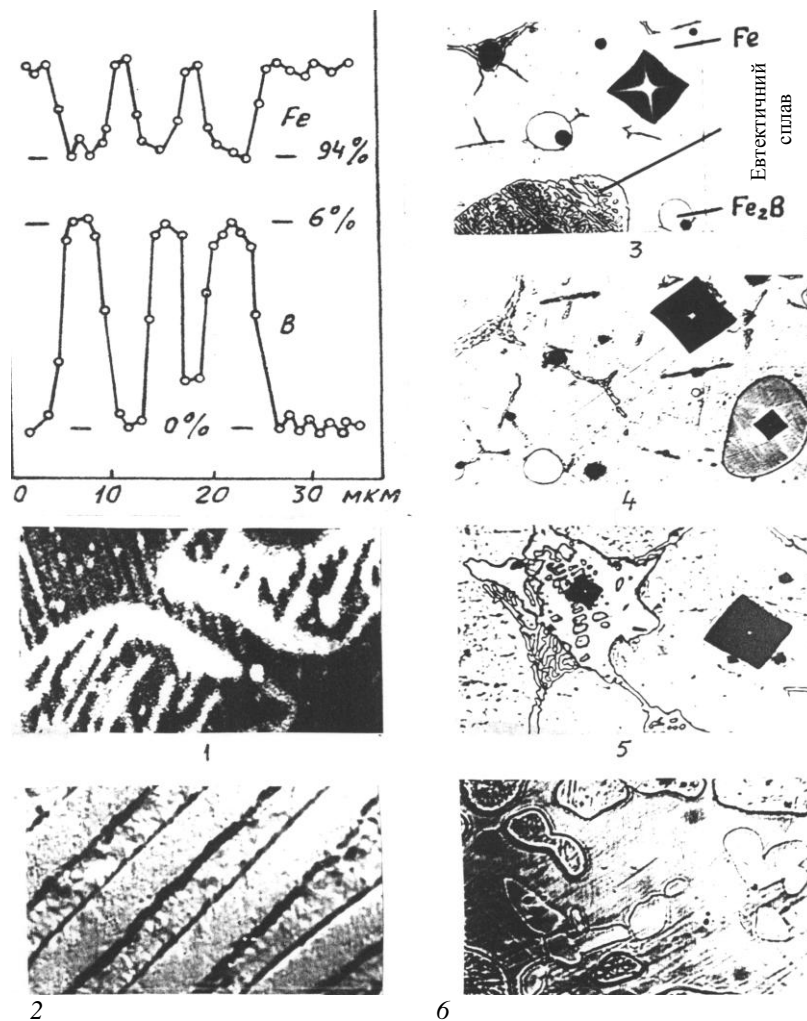


Рис. 3. Графік розподілу елементів в композиційному матеріалі Fe-(Fe-4%B) і мікроструктура:

1),2) Fe-(Fe-4%B); 3),4) Fe-(Fe-30%Ba1); 5) (Fe-1%B)-(Fe-4%B); 6) (Fe-6%B)-(Fe-4%B). Зображення одержані: 1) – в поглинених електронах ( $\times 1000$ ); 2) – в електронному випромінюванні ( $\times 13300$ ); 3)-6) – у світлових променях ( $\times 500$ )

Як видно із рисунка 3, п.6, ділянки боридних з'єднань FeB розташовуються в центральних зонах евтектичної фази (показаний один із капілярів залізної матриці заповнений евтектикою).

У разі легування евтектики перехідними металами із конфігураціями валентних електронів, які подібні  $d^5 - d^{10}$ -конфігураціям атомів заліза, відбувається часткова заміна ними заліза, але це не призводить до зміни встановленого механізму об'ємного борування.

У зв'язку з вище наведеним, нами розроблено новий спосіб одержання композиційного матеріалу на основі заліза об'ємним боруванням [2], який включає:

- формування прямим пресуванням пористої пресовки у вигляді каркаса з порошку заліза і просочувального сплаву евтектичного сплаву у вигляді брикету з суміші порошоків заліза, бору та легуючих компонентів;

- укладку брикету на поверхню каркаса;

- сумісне нагрівання каркаса та брикету до температури плавлення евтектичного сплаву;

- просочення ним каркаса;

- рідинно-фазне спікання з об'ємним боруванням каркаса з середовища евтектичного сплаву композиційного матеріалу.

Розроблений нами спосіб відрізняється тим, що об'ємне борування залізного каркаса проводять з одночасним легуванням хімічних сполук евтектичного сплаву ванадієм, хромом,

ніобієм і молібденом і, завдяки цьому, за допомогою 5,1 мас. % хрому та частини молібдену – 1,4-2,8 мас. % перетворюють боридні сполуки  $Fe_2B$  на складні сполуки типу  $(Fe, Me)_2B$ , де  $Me$  – легуючі метали, утворюють на їх основі боридну фазу цього типу у вигляді прошарків покриття залізного каркаса, зміцнюють їх включеннями боридних сполук типу  $(Fe, Me)B$ , до складу яких вводять 1,0 мас.% ванадію і 1,0 мас. % ніобію, та за допомогою залишків у твердому розчині евтектики 3,415,8 мас. % ніобію і 2,0-14,5 мас. % молібдену проводять часткове заміщення заліза у сполуках типу  $(Fe, Me)_2B$  та перетворюють їх на сполуки типу  $(Fe, Me)B$ , зміцнюють хімічний зв'язок атомів у сполуках цієї фази за рахунок збільшення у її складі вмісту ніобію і молібдену, розміщують другу фазу боридного покриття у вигляді включень в об'ємі першої фази і досягають стійкого рівня енергетичного стану обох типів боридних фаз  $(Fe, Me)_2B$  і  $(Fe, Me)B$  утвореного композиційного матеріалу.

Таким чином, розроблений нами спосіб [2] може знайти широке застосування в промисловості, наприклад, для випадків, де потрібно підвищити твердість матеріалів без гартування або зменшити їх зношування при терті в абразивних умовах роботи.

1. А.с. 513112 СССР. Спеченный композиционный материал на основе железа / В.В.Черниенко, А.К.Машков, Радомысельский И.Д., Негода Г.П. // Открытия. Изобретения. – 1976. – № 17.

2. Пат. 93725 Україна, МПК (2011.01): В22F 3/12 (2011.01), В22F 3/26(2011.01), В22F 7/00, С22С 1/04(2011.01), С22С 33/02 (2011.01), С22С 38/12 (2011.01), С22С 38/18 (2011.01), С22С 38/32 (2011.01). Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі заліза об'ємним боруванням / Чернієнко Василь Васильович, Заболотний Олег Васильович, Граменицький Володимир Анатольевич, Тігарєв Володимир Михайлович. – № а 2009 01449; Заявл. 20.02.2009; Опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5/2011.