

cementite $Fe_3(B_{0,7}C_{0,3})$, grains and lamellar pearlite grains, which are composed of up to 1,0 – 1,3 % (wt.) Si. It has been shown that the interaction of the original glass inclusions from elements of powder mixture during sintering occurs significant change in the chemical composition of the glass, which leads to the formation of at least two vitreous phases: oxide phase on the basis of B, C and N, formed as a result of contact interaction of original glass melt with product of boron carbide particles dissociation and inclusions of boron nitride, and silicate phases which comprise elements belonging to the original glass, but with a significantly higher boron contents.

УДК 621.762

Вплив хімічного складу на структуру та механічні властивості сплавів системи Nb – Si – B

І. Ю. Троснікова, кандидат технічних наук

П. І. Лобода, доктор технічних наук, професор, член-кор. НАН України

О. О. Івашура

Національний технічний університет України «КПІ» ім. І. Сікорського, Київ

Досліджено мікроструктуру, морфологію фазових складових, хімічний склад та механічні властивості сплавів системи Nb – Si – B, отриманих опаленням пресовок електронним променем.

На сьогодні існує багато матеріалів, що працюють при високих температурах в агресивних середовищах та методів, що дозволяють відновлювати спрацьовані або зношені деталі. Завдяки цьому значно зменшуються витрати на проведення ремонтних робіт, зникає необхідність дострокової заміни пошкоджених деталей.

У вирішенні цієї проблеми особливе місце належить сплавам на основі ніобію, які за своїми властивостями дозволяють забезпечити ефективний захист поверхні основного матеріалу від негативного впливу зовнішніх факторів та можуть працювати за високих температур. Ніобієві сплави також є основою для створення легких інженерних конструкцій в багатьох галузях промисловості, зокрема в авіації, аерокосмічній техніці, автотранспортній галузі, тощо. Серед низки цих сплавів значний інтерес викликають композиційні сплави системи Nb – Si – B, які мають покращені фізико-механічні властивості за підвищених температур експлуатації [1].

Серед перспективних матеріалів слід відзначити сплави систем Mo – Si – B та Nb – Si – B, з низькою питомою вагою (порядку 6,1 – 7,2 г/см³), стійкістю до окиснення в широкому інтервалі температур, за рахунок утворення на поверхні боросилікатного шару, дисперсної високощільної

структури. Вони характеризуються високою мікротвердістю за кімнатної температури і тріщиностійкістю ($7,8 - 11,8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), високими показниками міцності за високих температур до $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ [2].

Вони мають також високу температуру плавлення і хорошу стійкість щодо повзучості. Додавання невеликої кількості бору зменшує швидкість окислення на кілька порядків. Інформація про фазову рівновагу та будову фаз має важливе значення для застосування цих матеріалів у промисловості та методів їх обробки. Серед фазових діаграм матеріалів цього класу, система Nb – Si – В останнім часом привертає найбільшу увагу, особливо в області, збагаченій Nb [3].

Тому метою роботи є встановлення впливу хімічного складу на структуру та властивості сплавів системи Nb – Si – В.

Методом електронно-променевої плавки отримано доевтектичний, евтектичний та заевтектичний сплави системи Nb – Si – В: $80\text{Nb} - 17\text{Si} - 3\text{В}$, $80\text{Nb} - 13\text{Si} - 7\text{В}$, $84\text{Nb} - 10\text{Si} - 6\text{В}$, відповідно.

Методами світлової та скануючої електронної мікроскопії, мікрорентгеноспектрального аналізу досліджено мікроструктуру, форму та розміри фазових складових, хімічний склад сплавів, методом дюрOMETричного аналізу визначено мікротвердість та тріщиностійкість отриманих сплавів.

Встановлено хімічний склад фазових складових структури (рис. 1).

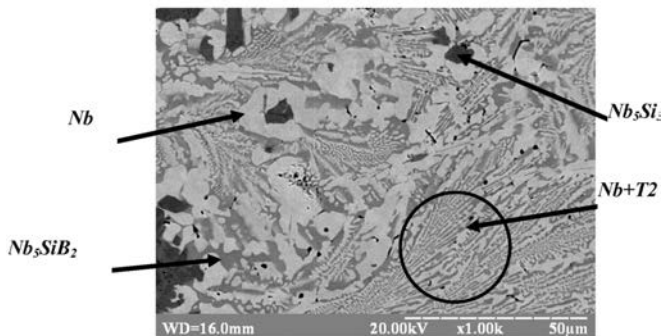


Рис. 1. Мікроструктура евтектичного сплаву $80\text{Nb} - 13\text{Si} - 7\text{В}$.

Мікроструктура доевтектичного сплаву системи Nb – Si – В – $80\text{Nb} - 17\text{Si} - 3\text{В}$ – представлена пластичною матрицею з твердого розчину ніобію, з дендритною формою зерен, в якій розташовані зерна крихкої фази Nb_5SiB_2 (T_2 -фаза) (рис. 2 а). Спостерігаються чітко виражені зерна округлої форми, що вказує на те, що кристали твердого розчину починають формуватися під час «звичайної» кристалізації, а евтектика починає утворюватися з «недокристалізованої» частини рідкого розчину.

Формування фази T_2 може відбуватися за двома механізмами: із рідкої фази та за рахунок переходу $\beta\text{-Nb}_5\text{Si}_3$ в $\alpha\text{-Nb}_5\text{Si}_3$ під час охолодження сплаву. Це пояснюється вузьким діапазоном температурної стабільності фази $\beta\text{-Nb}_5\text{Si}_3$.

Мікроструктуру сплавів системи Nb – Si – В наведено на рис. 2.

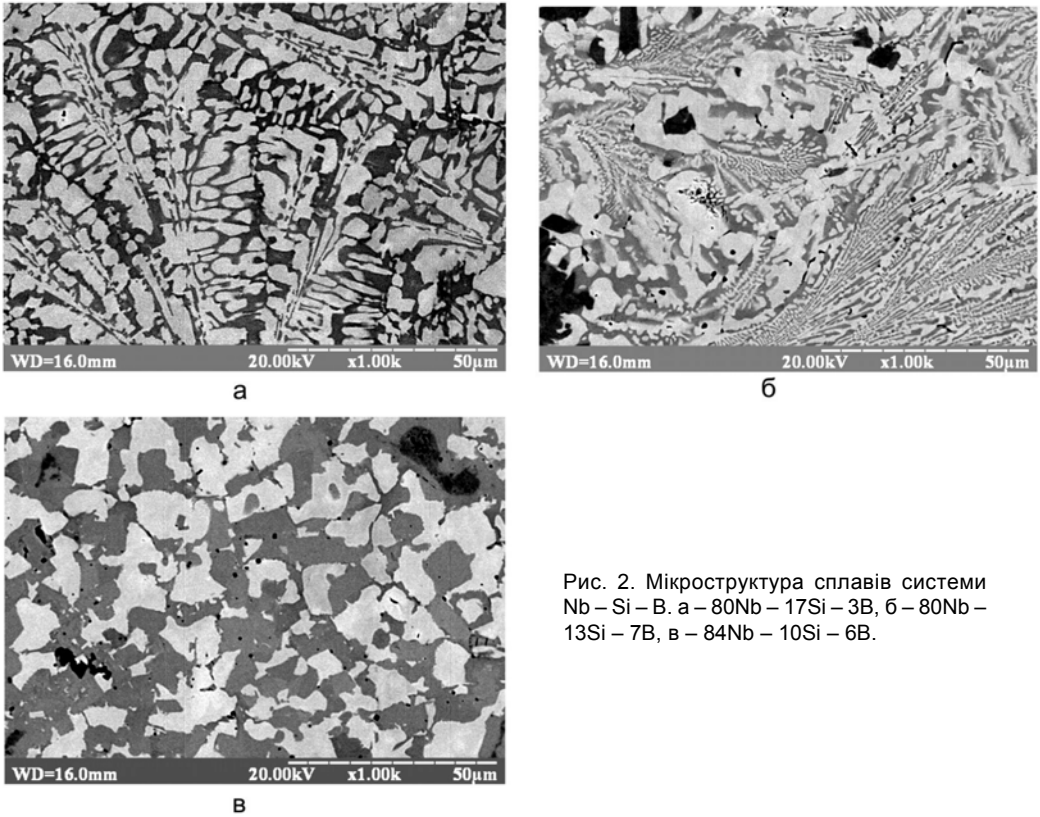


Рис. 2. Мікроструктура сплавів системи Nb – Si – В. а – 80Nb – 17Si – 3В, б – 80Nb – 13Si – 7В, в – 84Nb – 10Si – 6В.

Оскільки особлива увага приділяється двофазним сплавам системи Nb – Si – В в області Nb – T₂, яка містить високодисперсну евтектику на рис. 2 б, представлено мікроструктуру евтектичного сплаву – 80Nb – 13Si – 7В. Для сплаву з таким складом кристалізація відбувається при температурі утворення евтектики (1850 °С), що складається з дрібних кристалів обох компонентів. T₂-фаза плавиться інконгруентно і формує квазібінарну евтектику з твердим розчином ніобію.

На рис. 2 в мікроструктура заевтектичного сплаву 84Nb – 10Si – 6В представляє собою матрицю з твердого розчину ніобію з хаотично розташованими зернами округлої форми фази Nb₅SiB₂. За формою зерен можна свідчити, що цей сплав є заевтектичним. «Звичайна» кристалізація переривається при T_{евт} і рідка фаза кристалізується у вигляді евтектики.

Мікротвердість та тріщиностійкість сплавів системи Nb – Si – В досліджувалась методом індентування на приладі ПМТ-3. Навантаження на алмазну піраміду становило 100 г. Час витримки під навантаженням – 15 с (рис. 3). Встановлено, що евтектичний сплав системи має найбільшу твердість – 12 ГПа, що зумовлено більш дисперсною структурою.

У свою чергу, тріщиностійкість (рис. 4) також має найвищі значення – 11,2 МПа·м^{1/2}, що можна пояснити високою пластичністю матричної фази із твердого розчину ніобію.

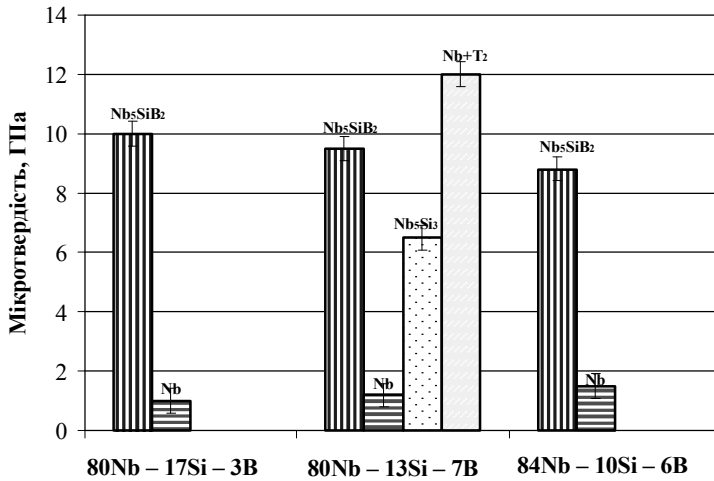


Рис. 3. Мікротвердість сплавів системи Nb – Si – В.

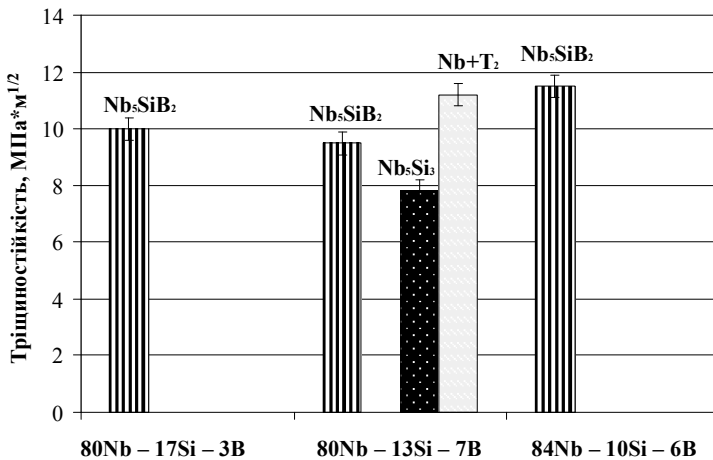


Рис. 4. Тріщиностійкість сплавів системи Nb – Si – В.

Одержання армованих керамічних матеріалів змішуванням порошків матричної фази та волокон з наступним спіканням, гарячим пресуванням, ізостатичним пресуванням не дозволяє зберегти цілісність і рівномірний розподіл волокон по об'єму матричної фази. Методи кристалізації із розплавів евтектичних сплавів дозволяють отримувати регулярне розташування волокон та формування когерентних та напівкогерентних границь розподілу між матричною фазою і волокнами, що є головною умовою підвищення термічної стабільності структури та поліпшення фізико-механічних властивостей матеріалу.

Висновки Проведені дослідження показали, що сплави системи Nb – Si – В є одними з перспективних високотемпературних матеріалів, оскільки вони мають низьку питому вагу (порядку 6,1 – 7,2 г/см³), дисперсну високощільну мікроструктуру, високу мікротвердість (12 ГПа) при кімнатній температурі та тріщиностійкість (11,2 МПа · м^{1/2}).

Література

1. Vikas Behrani, Andrew J. Thom, Matthew J. Kramer, Mufit Akinc. Microstructure and oxidation behavior of Nb–Mo–Si–B alloys // *Intermetallics*. – 2006. – № 14. – P. 24 – 32.
2. Song Zhang, Xiping Guo. Effects of B addition on the microstructure and properties of Nb silicide based ultrahightemperature alloys // *Intermetallics*. – 2015. – № 57. – P. 83 – 92.
3. Qiang HUANG, Xi-ping GUO, Yong-wang KANG, Jin-xia SONG, Shi-yu QU, Ya-fang HAN. Microstructures and mechanical properties of directionally solidified multi-element Nb-Si alloy // *Progress in Natural Science: Materials International*. – 2011. – № 21. – P. 146 – 152.

References

1. Vikas Behrani, Andrew J. Thom, Matthew J. Kramer, Mufit Akinc. (2006). Microstructure and oxidation behavior of Nb–Mo–Si–B alloys // *Intermetallics*, 14, 24 – 32 [in English].
2. Song Zhang, Xi ping Guo (2015). Effects of B addition on the microstructure and properties of Nb silicide based ultrahightemperature alloys // *Intermetallics*, 57, 83 – 92 [in English].
3. Qiang HUANG, Xi-ping GUO, Yong-wang KANG, Jin-xia SONG, Shi-yu QU, Ya-fang HAN (2011). Microstructures and mechanical properties of directionally solidified multi-element Nb-Si alloy // *Progress in Natural Science: Materials International*, 21, 146 – 152 [in English].

Одержано 05.10.16

И. Ю.Тросникова, П. И. Лобода, О. О.Ивашура

Влияние химического состава на структуру и механические свойства сплавов системы Nb – Si – В

Резюме

Исследовано микроструктуру, морфологию фазовых составляющих, химический состав и механические свойства сплавов системы Nb – Si – В, полученных оплавлением прессовок электронным лучом.

I. Yu. Trosnikova, P. I. Loboda, O. O. Ivashura

The effect of chemical composition on the structure and mechanical properties of the alloys of Nb – Si – B

Summary

The microstructure, morphology of phase components, chemical composition and mechanical properties of alloys of Nb – Si – B, it was obtained electron beam melting, were studied.