

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ НАПЛАВКЕ САМОФЛЮСУЮЩЕГОСЯ NI-CR-SI-B ПОРОШКА, ЛЕГИРОВАННОГО НИОБИЕМ В СОЧЕТАНИИ С БОРОМ И УГЛЕРОДОМ

*Т.А. ЗИМОГЛЯДОВА, В.А. ПАСИЧНИК, А.С. ЕГОРОВА, Е.Г. БУШУЕВА*

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: zimogliadovatatiana@gmail.com

Разработка защитных покрытий, комплекс механических свойств которых позволит повысить долговечность деталей при работе в условиях высоких температур и абразивного изнашивания является перспективным направлением развития современного материаловедения. Для формирования таких покрытий все чаще применяются технологий, основанные на использовании высококонцентрированных источников энергии. Из данных методов особо следует выделить вневакуумную электронно-лучевую наплавку (ВЭЛН). Данная технология обладает рядом преимуществ значительно выделяющих ее среди всех методов высокоэнергетического воздействия. К ним относится высокий КПД, большая глубина проникновения пучка электронов в материал, высокий уровень адгезии между покрытием и основным материалом и т.д. [1-2].

Самым распространенным материалом, применяемым для поверхностного упрочнения деталей, являются самофлюсующиеся сплавы системы *Ni-Cr-Si-B*. Покрытия, сформированные при наплавке этих порошков, обладают высокой твердостью и износостойкостью за счет образования мелкодисперсных частиц упрочняющих фаз, таких как *CrB*, *Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>*, *Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>* и др. [2]. Дополнительное легирование тугоплавкими металлами 2 подгруппы (*Hf*, *V*, *Ti*, *Mo*, *Zr*, *Nb* и др.), обладающих высоким сродством к углероду, приводит к измельчению структуры и формированию износостойких тугоплавких частиц на их основе [3-4].

Цель работы заключается в оценке влияния тугоплавких частиц на основе ниобия на механические свойства самофлюсующихся покрытий, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки.

В качестве основного металла использовали пластины толщиной 10 мм из низкоуглеродистой стали 20. Наплавку порошковых смесей осуществляли на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6 производства Института ядерной физики СО РАН по следующему режиму: ток пучка (*I*) - 25 мА, скорость перемещения электронного луча (*v*) - 15 мм/с. Для модифицирования основного материала использовали промышленный самофлюсующийся порошок марки ПН77Х15С3Р2 (15 % *Cr*, 3 % *Si*, 2 % *B*, 3 % *Fe*, 77 % *Ni*). Для оценки влияния тугоплавких частиц на комплекс механических свойств самофлюсующихся покрытий ПН77Х15С3Р2 легировали порошковыми смесями содержащими ниобий и бор, а также ниобий и углерод в количестве 5, 10, 15 % (вес.). Металлографические исследования наплавленных слоев проводили на микроскопе *Carl Zeiss Axio Observer ZIM*. Для оценки фазового состава использовали дифрактометр *ARL X'TRA*. Оценка уровня микротвердости полученных материалов осуществляли на приборе *Wolpert Group 402 MVD*. Нагрузка на алмазный индентор составляла 0,98 Н. Испытания на ударную вязкость проводили на инструментальном маятниковом копре *Metro Com 06103300*.

Металлографические исследования показали, что покрытия, сформированные методом ВЭЛН, обладают дендритным строением. Толщина наплавленных слоев достигает 1,5 мм. Ячейки дендритов представляют собой  $\gamma$ -твердый раствор на основе *Ni*, *Fe*. По границам ячеек дендритов располагается эвтектика. При наплавке самофлюсующегося сплава в сочетании с порошками ниобия, бора и углерода зафиксировано образование *Nb<sub>5</sub>C<sub>6</sub>*, *NbB<sub>2</sub>*, что подтверждается результатами рентгенофазового анализа (рисунок 1). Анализ результатов дюрометрических испытаний

показал, что наибольшим уровнем микротвердости - 600 *HV* обладают покрытия, легированные 15 % (*Nb+B*).

Испытания на ударную вязкость проводили в соответствии с ГОСТ 9454. В качестве образца сравнения была использована сталь 20. Результаты исследования показали, что уровень ударной вязкости материала, полученного наплавкой самофлюсующегося сплава без легирующих компонентов, уступает ударной вязкости стали 20. Дополнительное легирование ниобием в сочетании с бором и углеродом приводит к уменьшению толщин наплавленных слоев, что, в свою очередь, положительно сказывается на уровне ударной вязкости материалов.

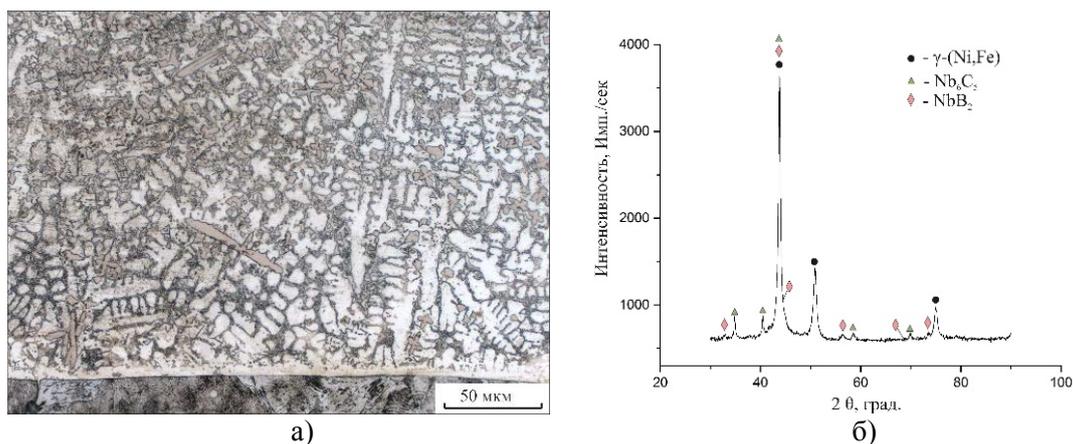


Рисунок 1 – а) микроструктура покрытия, сформированного наплавкой смеси ПН77Х15СЗР2 + 15 % (*Nb-C*), б) рентгенограмма, снятая с покрытия, полученного наплавкой самофлюсующегося порошка в сочетании с бором и ниобием (15 % вес.)

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что легирование самофлюсующихся покрытий тугоплавкими частицами на основе ниобия положительно сказывается на уровне микротвердости наплавленных слоев, вместе с тем, не приводя к существенному снижению уровня ударной вязкости материала в целом.

#### Список литературы

1. Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума, LAP LAMBERT Academic Publishing, Германия, 2007. – 325 с.
2. Hemmati I., Oceli'k V. Microstructure and Phase Formation in a Rapidly Solidified Laser-Deposited Ni-Cr-B-Si-C Hardfacing Alloy // Metallurgical and materials transactions. – 2014. - №2. – С.878-892.
3. Hemmati I., Huizenga R.M., Oceli'k V. Microstructural design of hardfacing Ni-Cr-B-Si-C alloys // Acta Materialia. – 2013. - №61. – С. 6061–6070.
4. Hemmati I., Oceli'k V. Advances in Laser Surface Engineering: Tackling the Cracking Problem in Laser-Deposited Ni-Cr-B-Si-C Alloys // Minerals, Metals & Materials Society. – 2013. - №65. - С. 1007 – 1015.