



Рис. 2. Мікроструктура сплаву Fe35Ni25Co15Cr20Al5 у вихідному стані

При цьому параметр ґратки матричного ГЦК твердого розчину у порівнянні з вихідним станом (0,3571 нм) збільшується і становить 0,3577 нм, що свідчить про дифузію кисню у приповерхневі шари сплаву та утворення оксидів на основі нікелю та хрому.

Проведені дослідження показали, що даний сплав при температурі 900 °С має високу жаростійкість, оскільки на його поверхні формується тонка оксидна плівка, яка має високі захисні властивості, і тому є перспективним конструкційним матеріалом для високотемпературного застосування.

Література:

1. High-entropy alloys – a new era of exploitation / J.W. Yeh, Y.L. Chen, S.J. Lin // MaterialsScienceForum. – 2007. – v.560. – p. 1.

Касьяненко М.В.¹, Куциба П.В.¹, Габ А.И.¹, Малышев В.В.^{1,2}
(¹Университет «Украина»; ²Институт общей и неорганической химии, г. Киев)
СИЛИЦИРОВАНИЕ И БОРИРОВАНИЕ ВОЛЬФРАМА В СОЛЕВЫХ РАСПЛАВАХ

E-mail: viktor.malyshev.igic@gmail.com

Для современной техники большой интерес представляет повышение жаростойкости тугоплавких металлов и расширение за счет этого областей их применения. Анализ литературных данных показал перспективность бестокового метода диффузионного насыщения вольфрама кремнием, и бором в расплавленных солевых средах.

Для исследования использовали горячепрессованный спеченный вольфрам чистоты 99,9%. Борировали вольфрам в электролите состава (масс. %): Na₂B₄O₇ – 75, NaCl – 15, В (аморфный) – 10; силицировали – в электролите (масс. %): эквимольная смесь KCl и NaCl – 60, NaF – 17,7, Na₂SiF₆ – 17,7, Si – 16,6.

Кинетику нанесения покрытий изучали по привесу образцов и измерению глубины слоя. Фазовый состав покрытий изучали металлографическим, рентгеноструктурным, частичным послойным химическим и спектральным анализом. Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г. Структуры борированого и борсилицированного вольфрама протравливали в смеси 40% HF + 40% спирта + 20% H₂O, силицированного вольфрама – в смеси HNO₃ и HF (в соотношении 1:1).

Борирование вольфрама. Кинетику борирования вольфрама изучали при 1223, 1273 и 1323 К в течение 0,5...7,0 ч. Насыщение осуществляли в воздушной атмосфере. Для всех исследуемых температур зависимость роста слоя от времени параболическая, что свидетельствует о существовании лимитирующей стадии диффузии в твердой фазе. Константа скорости борирования в расплавленных солевых средах связана с температурой уравнением:

$$K = 9,16 \cdot 10^{-2} \exp(-41500/RT) \text{ см}^2 \cdot \text{с.} \quad (1)$$

Предложенный состав электролита кинетически более выгоден, чем описанные в литературе с карбидом бора или порошкообразным аморфным бором.

При выдержках не более 1 ч на поверхности вольфрама образуется однослойное покрытие состава α -WB толщиной 25...30 мкм с микротвердостью 32...34 ГПа. Микротвердость вольфрама составляла 4,6...4,8 ГПа. С увеличением продолжительности

борирования до 6 ч образовывается двухслойное покрытие толщиной 120 мкм при 1323 К и 90 мкм при 1273 К, состоящее из внешнего борида W_2B_5 с микротвердостью 23...25 ГПа и внутреннего – α -WB с микротвердостью 31...33 ГПа. Толщина обоих слоев растет с увеличением выдержки, причем внутренний слой α -WB растет быстрее, чем внешний. Фазы подобного состава, при аналогичных температурах, обнаруживались в покрытиях и при электролитическом синтезе боридов вольфрама.

Покрытие состава α -WB было испытано на жаростойкость при 1373 и 1473 К. Защитный слой разрушается в течение 1,5 ч.

Силицирование вольфрама. Кинетику силицирования вольфрама в расплавленных солях изучали при 1073, 1123 и 1223 К в течение 2...12 ч в атмосфере аргона. Рост покрытия подчиняется параболическому закону. Температурная зависимость скорости процесса выражается уравнением:

$$K = 1,1 \cdot 10^2 \exp(-61400/RT) \text{ см}^2 \cdot \text{с} \quad (2)$$

Скорости силицирования вольфрама в расплавленных солях и в порошках близки по величине. На поверхности вольфрама образуется однослойное покрытие, состоящее из WSi_2 с микротвердостью 13...15 ГПа.

При 1223 К и продолжительности силицирования 12 ч был получен слой толщиной 35 мкм. Испытание данного покрытия при 1373 К показало увеличение жаростойкости до 60...140 ч, при 1723 К – 2,0 ч. Фазы подобного состава, при аналогичных температурах, обнаруживались в покрытиях и при электролитическом синтезе силицидов вольфрама. Защитные свойства дисилицида вольфрама связаны с образованием стекловидной пленки из α - SiO_2 на его поверхности, что отмечалось нами и ранее.

Кивгило Б.В.

(КПИ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

3D ДРУК У ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ

E-mail:kyvgylo.bogdan@gmail.com

В основі процесу лиття за моделями, що витоплюються, лежить використання легкоплавких модельних матеріалів: модель вилівка і ливникова система виготовляється з воску, парафіну, стеарину та ін. Будь-який із цих легкоплавких матеріалів в розплавленому стані запресовують у прес-форму, а після затвердіння отримують “воскову” модель. Отриману модель разом з ливниковою системою покривають вогнетривкою суспензією. Після просушування на моделі утворюється вогнетривка оболонка, з якої виплавляють модельний склад і отримують тонкостінну ливарну форму, яку після прожарюють і заливають розплавом [1, 2].

Світові тенденції розвитку сучасних технологій та автоматизації процесів принесли у ливарне виробництво технологію 3D друку [3]. Взявши до уваги особливості технології 3D друку при виготовленні для лиття за моделями, що витоплюються, можна сказати, що ця технологія займає свою нішу у процесі виготовлення моделей.

Технологія 3D друку допомагає нівелювати значну частину підготовки виробництва та приступити безпосередньо до виготовлення моделей практично будь-якої складності (рис. 1). Розвиток 3D друку сприяв розвиненню полімерних матеріалів для друку моделей, підбір яких здійснюється конкретно під задачі виробництва [4], робочий діапазон температур яких лежить у широких межах [4].

Використання в модельних композиціях легкоплавких матеріалів з мінімальною зольністю дозволяє відразу витоплювати модель, пропускаючи стадію виплавляння та переходити відразу до прожарювання оболонки. Така технологічна особливість виробництва дозволяє збільшити продуктивність та точність, минаючи отримання