

## ИЗУЧЕНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ WC РАСПЛАВОМ ЖЕЛЕЗА РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

**А.Н. Аникеев, В.И. Чуманов, И.В. Чуманов**

Изложены результаты измерения угла смачиваемости карбида вольфрама различными методами: методом «лежащей капли» и капиллярным методом, проведенные в экспериментальном комплексе Института литья (Польша, г. Краков).

*Ключевые слова:* карбиды вольфрама, расплав железа, метод лежащей капли, капиллярный метод, угол смачиваемости.

Композиционные материалы являются одними из самых востребованных материалов в тех отраслях промышленности, где требуются повышенные механические свойства. В современном мире видов композиционных материалов, основанных на взаимодействии жидкого металла и других элементов, достаточно много, но при создании этих композитов наука и техника сталкивается с задачей их взаимодействия – смачиванием, которая характеризуется краевым углом смачивания. Общеизвестно, что краевой угол смачивания – угол, образованный касательными плоскостями к межфазным поверхностям, ограничивающим смачивающую жидкость, а вершина угла лежит на линии раздела трех фаз [1–3].

Классическим методом определения смачиваемости материалов является метод «лежащей капли»: на образец одного материала (более тугоплавкого, чем металл) помещают металлический образец и нагревают в печи до момента расплавления металла. Расплавленный металл формирует каплю. Далее делается фотография данной капли, по которой позже вычисляют угол смачивания.

Данный метод, хотя и очень распространен, имеет несколько существенных недостатков:

1) во время совместного нагревания реакция взаимодействия между металлом и подложкой начинается задолго до процесса плавления металла и, соответственно, капля жидкого металла, контактирует уже не с подложкой, а с продуктами реакции, образовавшимися в процессе нагревания;

2) взаимодействие металла и подложки также изменяет температуру плавления металла, что приводит к искажению результатов эксперимента;

3) при исследованиях достаточно редко исследуют изменение атмосферы в печи, хотя состав данной атмосферы напрямую влияет на поверхностное натяжение капли металла, а значит, и на угол смачивания.

В Институте литья (Польша, г. Краков), был разработан альтернативный метод исследования угла смачивания, получивший название «капиллярный метод». Суть данного метода заключается в том, что образец металла, находящийся в камере для нагревания, изолирован от подложки и

плавится отдельно в специальной мини-камере. По расплавлению металла, на нагретую до такой же температуры подложку (температура в камере контролируется 4 термодарами), выдавливается капля жидкого металла. Весь процесс снимается на высокоскоростную камеру (2000 кадров/с), после чего изображения загружаются в специально разработанный программный комплекс и производится анализ полученных данных [4].

Коллективом авторов в Институте литья было проведено исследование смачиваемости карбида вольфрама металлическим расплавом на основе железа. При подготовке эксперимента из мелкодисперсного карбида вольфрама (исходный размер частиц 4–9 мкм) были сформированы образцы размерами кв. 20 мм, толщиной 5 мм. Формирование образцов осуществлялось в прессе для запрессовки образцов при температуре 180 °С и давлении 300 бар. В качестве связующего при прессовании подложек использовалась вода. Сформированные образцы подвергли спеканию в вакуумной печи, оснащенной Оже-спектрометром, при 1200 °С в течение 15 мин для удаления связующего из спекаемых образцов, что подтвердила спектрограмма исходящих газов.

Эксперименты по определению смачиваемости карбидов металлом проводили в атмосфере аргона (степень чистоты 99,9992 %), при давлении 850–900 мбар.

При проведении эксперимента методом лежащей капли металл нагревали вместе с подложкой до его расплавления. Эксперимент показал, что при таком нагревании плавление металла происходит уже при 1450 °С (рис. 1). По расплавлению металл не сформировал на подложке каплю, а в течение 10 с впитался в подложку.

При проведении эксперимента капиллярным методом расплавленный металл выдавливали на нагретую подложку. Расплавленный металл также не образовал каплю, а впитался в материал подложки.

Полученные после эксперимента образцы подложек из карбидов вольфрама, прореагировавших с металлом, исследовались на сканирующем электронном микроскопе «Hitachi TM-3000».

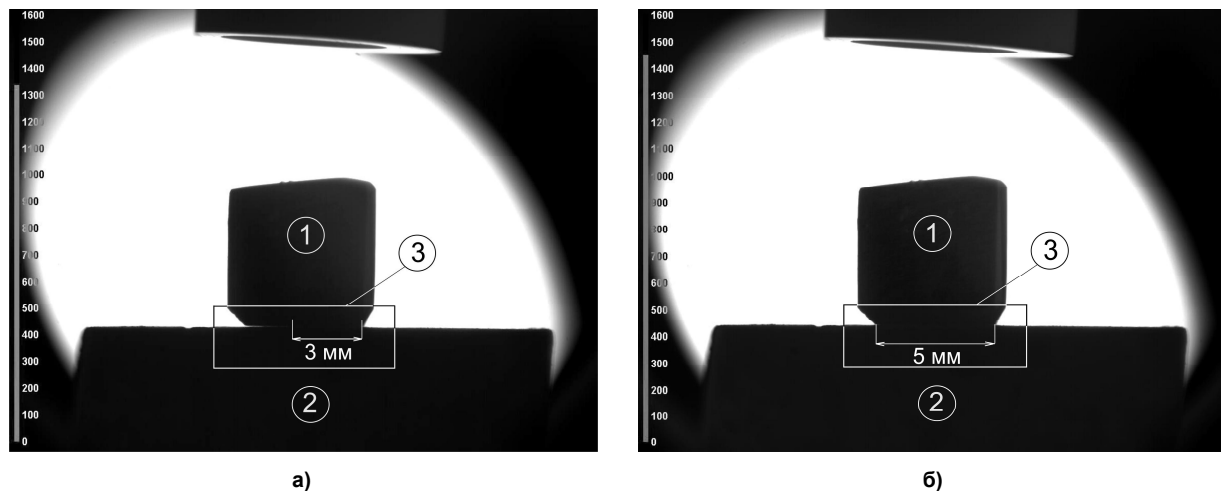


Рис. 1. Камера экспериментального комплекса при 1320 °С (а) и 1450 °С (б): 1 – металлический образец; 2 – подложка из прессованных карбидов; 3 – место контакта образцов

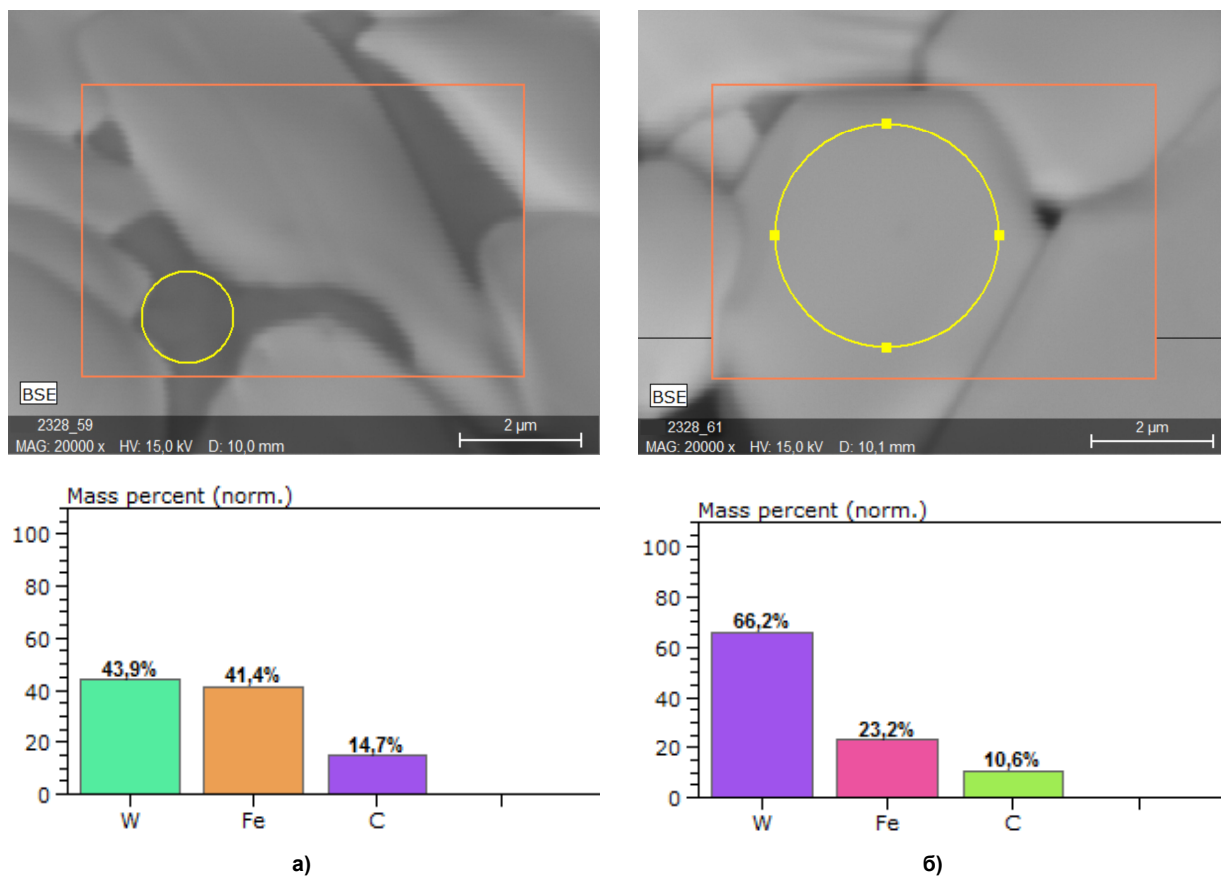


Рис. 2. Микроструктура и состав поверхности: а – подложка эксперимента методом «лежачей капли» (×20000); б – подложка эксперимента «капиллярным» методом (×20000)

В результате исследования были получены изображения и спектры с поверхности подложек, показавшие, что в результате взаимодействия карбида вольфрама и жидкого металла растворил часть карбидов, образовав в местах взаимодействия железо-углерод-вольфрамовое соединение (рис. 2).

Таким образом, по проделанной работе можно сделать вывод, что взаимодействие карбида вольф-

рама и расплава на основе железа идет по химической связи и что карбид вольфрама полностью смачивается расплавом, т. е. угол смачивания лежит в промежутке от 0 до 90°.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации, шифр 7.2938.2011, а также поддержана РФФИ, проект № 12-08-00896.

---

### Литература

1. Исследование и анализ структурных составляющих дисперсно-упрочненных центробежнолитых заготовок / И.В. Чуманов, Н.Т. Карева, В.И. Чуманов, А.Н. Аникеев // *Электromеталлургия*. – 2011. – № 9. – С. 34–37.

2. Чуманов, В.И. Упрочнение металлических материалов дисперсными тугоплавкими частицами / В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, А.Н. Аникеев //

*Проблемы черной металлургии и материаловедения*. – 2010. – № 1. – С. 24–28.

3. Sobczak, N. High-temperature wettability measurements in ceramic-metal systems – some methodological issues / N. Sobczak, M. Singh, R. Asthana // *Current Opinion in Solid State & Materials Science*. – 2005. – № 9 (4–5). – P. 241–253.

4. The mystery of molten metal / N. Sobczak, J. Sobczak, R. Asthana, R. Purgert // *Asthana Journal: China Foundry*. – 2010. – Vol. 7. – P. 425–437.

**Аникеев Андрей Николаевич**, аспирант кафедры общей металлургии, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Златоусте. 456209, Челябинская обл., г. Златоуст, ул. Тургенева, 16. Тел.: (3513)665829. E-mail: anikeev-ml@mail.ru.

**Чуманов Валерий Иванович**, кандидат технических наук, профессор кафедры общей металлургии, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Златоусте. 456209, Челябинская обл., г. Златоуст, ул. Тургенева, 16. Тел.: (351)3665829. E-mail: maria@zb-susu.ru.

**Чуманов Илья Валерьевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой общей металлургии, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Златоусте. 456209, Челябинская обл., г. Златоуст, ул. Тургенева, 16. Тел.: (3513)665829. E-mail: chiv71@susu.ac.ru.

---

**Bulletin of the South Ural State University**  
**Series “Metallurgy”**  
**2013, vol. 13, no. 2, pp. 44–46**

---

## STUDY OF WETTABILITY OF WC WITH IRON MELT BY DIFFERENT METHODS

**A.N. Anikeev**, South Ural State University, Zlatoust Branch, Zlatoust, Chelyabinsk region, Russian Federation, anikeev-ml@mail.ru,

**V.I. Chumanov**, South Ural State University, Zlatoust Branch, Zlatoust, Chelyabinsk region, Russian Federation, maria@zb-susu.ru,

**I.V. Chumanov**, South Ural State University, Zlatoust Branch, Zlatoust, Chelyabinsk region, Russian Federation, chiv71@susu.ac.ru

The paper presents the results of measuring the angle of the wetting of tungsten carbide by different methods, recumbent drop and capillary method, carried out in the experimental complex of the Institute of Casting (Krakow, Poland).

*Keywords:* tungsten carbide, iron melt, recumbent drop method, capillary method, angle of wetting.

### References

1. Anikeev A.N., Chumanov I.V., Kareva N.T., Chumanov V.I. Study and Analysis of the Structural Constituents of Billets Hardened by Fine-Grained Particles and Formed by Centrifugal Casting. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2012, no. 6, pp. 540–543. doi: 10.1134/S0036029512060055.

2. Anikeev A.N., Chumanov I.V., Chumanov V.I. Hardening of Metallic Materials Dispersed Refractory Particles [Uprochnenie metallicheskih materialov dispersnymi tugoplavkimi chastitsami]. *Problemy chernoy metallurgii i materialovedeniya*, 2010, no. 1. pp. 24–28.

3. Sobczak N., Singh M., Asthana R. High-Temperature Wettability Measurements in Ceramic-Metal Systems – Some Methodological Issues. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 2005. vol. 9, no. 4–5, pp. 241–253. doi: 10.1016/j.cossms.2006.07.007.

4. Sobczak N., Sobczak J., Asthana R., Purgert R. The Mystery of Molten Metal. *China Foundry*, 2010, vol. 7, no. 4, pp. 425–437.

*Поступила в редакцию 6 сентября 2013 г.*