

Компьютерный анализ структуры срезов карбида вольфрама

Д. Г. Каграманян⁺, Е. П. Константинова⁺, Б. Б. Страумал*, Л. Н. Щур^{+#1)}

⁺Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, 101000, Москва

⁺Институт физики твердого тела РАН, 142432, Черноголовка

[#]Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, 142432, Черноголовка

Submitted 1 Июня 2021

Resubmitted 12 июня 2021

Предложен подход для анализа структуры карбида вольфрама с использованием компьютерной обработки фотографий срезов. Из цифровых фотографий, полученных электронным сканирующим микроскопом, извлекаются такие геометрические параметры кобальтовой связки. В частности, обнаружено, что распределение внутренних углов срезов кобальтовой связки имеет выраженную бимодальную структуру, причем значения углов пиков практически одинаковы для образцов с мелко-, средне- и крупно-дисперсными карбидовыми включениями. Получены также распределения полуосей кобальтовых связок. Мы излагаем детали разработанных методов обработки изображений срезов.

Материалы на основе карбида вольфрама WC («победиты», cemented carbides) известны уже около ста лет. Исследования «победитов» привели к их широкому использованию в технологических процессах и в областях промышленности, например, это бурение многокилометровых скважин и сверление субмиллиметровых отверстий. Победиты применяются в горном деле, гражданском и дорожном строительстве, машиностроении и при проходке тоннелей. Повидимому, еще далеко не исчерпаны возможности для формирования и улучшения их структуры, для чего проводятся разработки новых подходов. В статье мы предлагаем один из таких подходов с использованием элементов искусственного интеллекта. Сам по себе карбид вольфрама обладает очень высокой твердостью, близкой к максимально возможной. Однако, он весьма хрупок. Поэтому первый работоспособный материал с его использованием был получен за счет погружения зерен карбида вольфрама в пластичную металлическую связку на основе кобальта Co [1]. Варьируя долю карбида вольфрама и кобальтовой связки в материале, а также состав кобальтовой связки, размер зерен карбида вольфрама и другие параметры, удалось добиться широкого спектра и сочетания свойств, необходимых для различных применений, таких как твердость, износостойкость, трещиностойкость, пластичность и ударная вязкость [2]. Для дальнейшего развития этого класса материалов недостаточно обычных параметров описания микроструктуры, которые используются в количественной металлографии, таких как средний размер зерен или объемная доля фаз. Необходим

поиск тонких инструментов, позволяющих охарактеризовать особенности топологии взаимного проникновения фаз WC и Co. В настоящей работе мы приводим результаты первого шага на этом пути.

1. Описание трех образцов. Рисунки - три фото образцов (с мелко-, средне- и крупно-дисперсными карбидовыми включениями). Описание метода преобразования изображений.

2. Описание метода определения границы. Рисунки - Пример границы кобальтовых связок для одного из образцов.

3. Описание метода определения углов. Рисунок - распределение углов для трех образцов.

4. Описание метода определения полуосей. Рисунок - распределение полуосей для трех образцов.

5. Обсуждение результатов.

Благодарности

1. I. O. Kulik and A. N. Omel'yanchuk, Fiz. Nizk. Temp. **3**, 945 (1977) [translated in Sov. J. Low Temp. Phys.].
2. C. W. Beenakker and H. van Houten, Phys. Rev. Lett. **66**, 3056 (1991).
3. V. S. Shumeiko, E. N. Bratus', G. Wendin, Fiz. Nizk. Temp. **23**, 249 (1997) [Sov. J. Low Temp. Phys. **23**, 181 (1997)], cond-mat/9610101.
4. C. W. Beenakker, Phys. Rev. Lett. **67**, 3836 (1991).
5. D. A. Ivanov and M. V. Feigel'man, cond-mat/9808029.

¹⁾e-mail: lev@landau.ac.ru