

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СВС-КОМПОЗИТА СИСТЕМЫ Fe-Ti-Ni-Mn-B-C ПОСЛЕ ОТЖИГА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Пугачева Н.Б.¹, Нохрина А.В.¹, Задворкин С.М.¹

¹Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова УрО РАН, Екатеринбург

Одним из перспективных методов получения новых порошковых или монолитных материалов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) [1-3]. Отличительной особенностью СВС-композитов в рассматриваемой системе является высокая износостойкость, что позволяет использовать их во многих отраслях. Технология изготовления такого композита включает в себя обработку давлением (горячее прессование), вследствие чего внутри пластины возникают остаточные напряжения. Отжиг – наиболее эффективный метод, применяемый для снятия внутренних напряжений. Поэтому актуальной задачей является определение структуры СВС-композита системы Fe-Ti-Ni-Mn-B-C после отжига при различных температурах.

Композит был изготовлен методом СВС [4]. Материалами для изготовления были выбраны порошки Ti, V₄C, Fe, и самофлюсующийся порошок ПРН9Г4СР. Исходя из исследований [5, 6] было взято оптимальное содержание термореагирующих компонентов (порошки Ti и V₄C), равное 25 масс. %. Вышеперечисленные порошки были засыпаны в стальную трубу марки Ст3 и диаметром 60 мм, которая служила одновременно реактором и внешней оболочкой заготовки. Сразу после завершения синтеза заготовка была подвергнута горячему прессованию при температуре 1200 °С на гидравлическом прессе с нагрузкой 250 МПа. Была получена сэндвич-пластина размером 85 x 300 мм, состоящая из стальной оболочки толщиной 3,5 мм и монолитного СВС-композита толщиной 10 мм, заполняющего объем стальной оболочки. Из пластины были вырезаны образцы для исследования, а затем подвергнуты отжигу при температурах 900 °С, 1000 °С и 1100 °С с выдержкой 2 часа и охлаждением с печью.

Структуру композита исследовали в исходном состоянии и после операций отжига на оптическом микроскопе НЕОРНОТ 21. Фазовый рентгеноструктурный анализ и определение внутренних остаточных напряжений были выполнены на рентгеновском дифрактометре SHIMADZU в k_{α} -излучении хрома.

Во время получения образцов для исследования из пластины (при резке) на шлифе образовались трещины, что свидетельствует о высоких остаточных напряжениях. Можно предположить, что остаточные напряжения, определенные в ходе исследования, меньше, чем остаточные напряжения в исходной пластине.

В результате проведения фазового рентгеноструктурного анализа было выявлено, что в композите присутствуют соединения класса карбидов TiC, боридов TiB₂, FeB, Fe₂B, а также феррит α -Fe. После отжигов фазовый состав не изменился, повысилась интенсивность распределения фаз по объему композита. При сравнении микроструктуры исходного композита и после отжига при 1100 °С заметно увеличилось количество упрочняющих фаз (см. рис. 1).

В результате отжига в композите происходит перераспределение остаточных напряжений в матрице. Значения остаточных напряжений в направлении приложения деформации (rad – радиальное), вдоль монолитной пластины (axel – аксиальное) и поперек пластины (tang – тангенциальное) (см. таблица 1 и рис. 2).

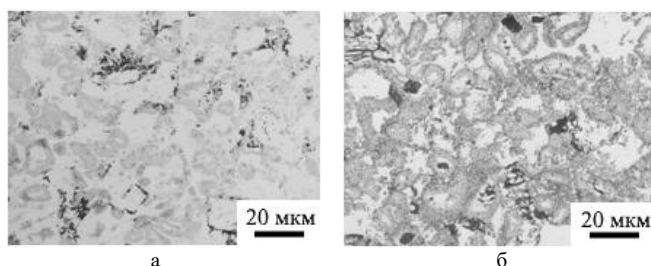


Рис. 1. Структура исходного (а) и после отжига при 1100 °С композита (б)

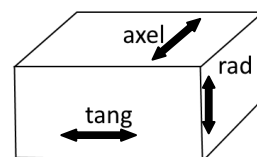


Рис.2. Направления остаточных напряжений в композите

Таблица 1. Остаточные напряжения в композите и твердость по Роквеллу после различных температур отжига

Температура отжига		исходный	900 °С	1000 °С	1100 °С
Остаточные напряжения, кг/мм ²	rad	-63	-49	-40	-82
	axel	-73	-39	-95	-66
	tang	-42	-66	-40	-32
Твердость, HRC		61	62,5	64	63

Параметр кристаллической решетки железной матрицы α -Fe после отжига при температурах 900 и 1000 °С увеличился, а после отжига при 1100 °С практически оказался таким же, как в исходном состоянии (см. таблица 2).

Таблица 2. Параметр кристаллической решетки СВС-композита после различных температур отжига

Температура отжига	исходный	900 °С	1000 °С	1100 °С
a , Å	2,8663	2,8676	2,8656	2,8664

Отжиг при 900 °С привел к снижению уровня остаточных напряжений, тогда как при более высоких температурах отжига произошло увеличение отдельных составляющих напряжений (аксиального при 1000 и радиального при 1100 °С). Твердость композита при отжиге увеличивается, что свидетельствует о выделении упрочняющих фаз.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМАШ УрО РАН.

Список литературы

- Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов : учебное пособие. – Москва : Машиностроение-1, 2007. – С. 472.
- Мержанов А.Г. Твердопламенное горение – Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 2000. – 224 с.
- Самораспространяющийся высокотемпературный синтез /под ред. А.Е. Сычева: сборник статей. – Черноголовка: Территория, 2001. – С. 432.
- Николин Б.В., Матевосян М.Б., Кочугов С.П., Пугачева Н.Б. Патент на изобретение №2680489. Способ изготовления многослойной износостойкой пластины. Приоритет от 10.11.2017 до 10.11.2037.
- Структура СВС-композитов системы Fe-Ti-C-B / Н.Б. Пугачева, Ю.В. Николин, Е.И. Сенаева, И.Ю. Малыгина // Физика металлов и металловедение. – 2019. – Т.120, №11. – С. 1174-1180.
- Влияние химического состава матрицы на структуру и свойства монолитных СВС-композитов / Н.Б. Пугачева, Ю.В. Николин, Т.М. Быкова, Е.И. Сенаева // Обработка металлов. – 2021. – Т.23, №3. – С. 124-138.