ПОРОШКОВЫЕ И ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.762

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-2-237-28-32

С. П. Писарев, А. И. Богданов, В. Н. Арисова, В. О. Харламов

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛЕГИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ БОРИДА ВОЛЬФРАМА И НИКЕЛЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ВЗРЫВНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: mv @ vstu.ru

Исследован химический состав фаз в полученных взрывным прессованием в стальных ампулах порошковых композициях из борида вольфрама и никеля до и после термической обработки. Установлена возможность с помощью термической обработки при температуре 1200 °С легирования материалом стенки ампулы из аустенитной стали 12X18H10T спрессованной взрывом порошковой композиции, содержащей 50 % борида вольфрама.

Ключевые слова: композиционные материалы, порошковые композиции, взрывное прессование, термическая обработка, аустенитная сталь, борид вольфрама, никель, легирование, химический состав.

S. P. Pisarev, A. I. Bogdanov, V. N. Arisova, V. O. Kharlamov

STUDY ON THE POSSIBILITY OF DOPING OF POWDER COMPOSITIONS FROM TUNGSTEN AND NICKEL BORIDE OBTAINED BY EXPLOSIVE PRESSING

Volgograd State Technical University

The chemical composition of the phases obtained by explosive pressing in steel ampoules of tungsten boron and nickel powder compositions before and after heat treatment was studied. It has been established that it is possible by means of heat treatment at 1200 °C to alloy with the material of the ampoule from austenitic steel 12Cr18Ni10Ti powder composition pressed by explosion, containing 50% tungsten boride.

Keywords: composite materials, powder compositions, explosive pressing, heat treatment, austenitic steel, tungsten boride, nickel, alloying, chemical composition.

Взрывное компактирование смесей металлических порошков с неметаллическими обычно осуществляют в стальных цилиндрических ампулах сохранения с последующей термической обработкой, например, как в [1, 2], что позволяет получать композиционные материалы (КМ) с необходимыми свойствами, однако возможности использования материала ампул для легирования расположенных внутри них порошковых прессовок изучены пока еще недостаточно. В связи с этим целью настоящей работы явилось установление возможности с помощью термической обработки (ТО) легирования стенками ампул из стали 12X18H10T полученных внутри них взрывным прессованием порошковых композиций (ПК) из борида вольфрама (W_2B_5) и никеля (Ni).

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись два КМ, полученные взрывным прессованием (ВП) как в работе [2]. Каждый полученный КМ состоял из стальной оболочки и расположенной внутри ее спрессованной ПК из смеси порошков борида вольфрама и никеля. Стальные оболочки выполняли из аустенитной стали 12X18H10T с наружным диаметром 16 мм и с толщиной стенок 1 мм. В КМ №1 ПК содержала 12,5 % (вес.) W_2B_5 , в КМ №2 – 50 %.

ТО полученных КМ проводили в герметичных стальных контейнерах в электрической печи LIOP LF-7/13-G1 при температуре 1200 °С в течение 1 ч с последующим охлаждением с печью до 800 °С, после чего охлаждение производилось на воздухе. Перед ТО каждый из иссле-

дуемых КМ помещали в оболочку из никелевой фольги. Промежутки между КМ и стенками каждой из оболочек заполняли порошком α -корунда.

Сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) и определение химического состава КМ (ЭДС анализ) осуществляли на растровом двухлучевом электронном микроскопе Versa 3D Dual Beam.

Результаты исследований и их обсуждение

Электронно-микроскопические исследования показали, что КМ после ВП представляют собой механические смеси, в которых дискретные частицы W_2B_5 распределены в непрерывной никелевой матрице (рис. 1), что подтверждается данными ЭДС анализа (табл. 1).

а

б

Рис. 1. СЭМ-изображения структуры КМ №1 (а) и КМ №2 (б) после ВП

Таблица 1
Результаты точечного ЭДС анализа
состава КМ после ВП

Анализируемая точка (рис. 1)	Содержание элемента, ат. %		
	W	Ni	B
1	—	100	—
2	27,8	—	72,2
3	—	100	—
4	24,65	—	75,35

ТО при 1200 °С приводит к радикальным изменениям структуры и состава исследуемых КМ. Так, структура КМ №1 представляет собой гетерогенную смесь крупных светлых округлых включений состава ~ 37,4 ат. % В, ~60,3 ат. % Ni, ~ 2,3 ат. % W в темной матрице (рис. 2, табл. 2). При больших увеличениях становится очевидным эвтектический характер строения матрицы (рис. 3). Она, в свою очередь, состоит из темной никелевой основы (~100 ат. % Ni), в которой хаотично распределены мелкие свет-

лые включения состава ~ 37,3 ат. % В, ~60,9 ат. % Ni, ~ 1,8 ат. % W (табл. 2).

Согласно данным металлографического анализа, размер крупных светлых включений составляет ~30-120 мкм, и они занимают до 93 % площади КМ. Между стальной оболочкой и КМ наличествует переходная зона толщиной ~150 мкм, соответствующая по своему составу светлым включениям (рис. 2, б, табл. 2). Характер распределения химических элементов по мере удаления от стальной оболочки вглубь КМ №1 приведен на рис. 3, а данные точечного ЭДС анализа сведены в табл. 2

Наблюдаемые изменения в структуре КМ наиболее вероятно вызваны выделением тепла при экзотермических реакциях образования новых фаз, что приводит к контактному плавлению (температура плавления Ni -1453 °С, а W_2B_5 – 2370° С) на межфазных границах составляющих КМ и формированию структур эвтектического типа при последующей кристаллизации.

Рис. 2. СЭМ-изображения структуры КМ №1 после ВП и ТО. Увеличение $\times 130$ (а), $\times 260$ (б) и $\times 4000$ (в)

Рис. 3. Результаты ЭДС анализа распределения химических элементов в поперечном сечении КМ № 1 после ВП и ТО

Результаты точечного ЭДС анализа состава КМ №1 после ВП и ТО

Анализируемая точка (рис. 2)	Содержание элемента, ат. %		
	W	Ni	B
1	2,5	61,3	36,2
2	2,6	58,9	38,5
3	1,8	60,9	37,3
4	—	100	—

Таблица 2

Указанные тепловые эффекты в еще большей степени проявляются при ТО КМ № 2, в которых в межфазное взаимодействие вовлекается стальная оболочка. На рис. 4 представлена трансформированная в результате ТО структура стальной оболочки, включающая матрицу из светло- и темно-серых участков состава $\sim 8,17$ ат. % Cr, $\sim 42,78$ ат. % Fe, $\sim 49,06$ ат. % Ni и $\sim 11,65$ ат. % Cr, $\sim 44,7$ ат. % Fe, $\sim 43,65$ ат. % Ni, соответственно, и светлые «ске-

летные» кристаллы дендритного строения (рис. 4, табл. 3). ЭДС анализ «скелетных» кристаллов показал наличие в их составе следующих элементов в соответствующих концентрациях: В (55,09 ат. %), Cr (19,1 ат. %), Fe (13,28 ат. %), Ni (6,25 ат. %) и W (6,29 ат. %). Стоит учитывать, однако, что поперечный размер осей пер-

вого и второго порядков «скелетных» кристаллов в большинстве случаев не превышал 1 мкм, что, в свою очередь, усложняет интерпретацию результатов точечного ЭДС анализа, т. к. в область генерации характеристического излучения могут вовлекаться участки междендритного пространства с другим химическим составом.

а

б

в

Рис. 4. СЭМ-изображения структуры стальной оболочки в КМ № 2 после ВП и ТО. Увеличение $\times 130$ (а), $\times 1000$ (б) и $\times 2000$ (в)

В результате интенсивного массообмена между составляющими КМ и стальной оболочкой структура и состав самого КМ № 2 также претерпели значительные изменения (рис. 5).

В структуре наблюдаются более светлые участки состава $\sim 6,45$ ат. % Cr, $\sim 33,06$ ат. % Fe, $\sim 60,49$ ат. % Ni и более темные состава $\sim 11,17$ ат. % Cr, $\sim 43,0$ ат. % Fe, $\sim 45,83$ ат. % Ni.

а

б

Рис. 5. СЭМ-изображения структуры КМ № 2 после ВП и ТО. Увеличение $\times 2000$ (а) и $\times 8000$ (б)

Сопоставляя данные по составу матрицы трансформированной стальной оболочки и составу прессовки, можно сделать вывод о том, что диффузионные процессы протекают по всей глубине КМ. На границе между трансформирован-

ной стальной оболочкой и прессовкой расположена зона наноразмерных (30–800 Å) светлых включений состава ~ 58,9 ат. % В, ~15,5 ат. % Ni, ~ 25,6 ат. % W. Результаты точечного ЭДС анализа КМ № 2 сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты точечного ЭДС анализа состава КМ №2 после ВП и ТО

Анализируемая точка (рис. 4, 5)	Содержание элемента, ат. %				
	W	Ni	B	Fe	Cr
1	–	49,06	–	42,78	8,17
2	–	43,65	–	44,7	11,65
3	6,29	6,25	55,09	13,28	19,1
4	–	60,49	–	33,06	6,45
5	–	45,83	–	43,0	11,17
6	25,6	15,5	58,9	–	–

Стоит отметить, что процесс контактного плавления и кристаллизации исследуемых КМ сопровождается порообразованием, причем, если в КМ № 1 поры присутствуют в большем количестве и имеют сферическую форму (рис. 2, а), то в КМ № 2 пор значительно меньше и они не имеют строгой формы (рис. 4, а).

Вывод

Установлена возможность с помощью термической обработки при температуре 1200 °С сквозного легирования материалом стенки ампулы из стали 12X18H10T спрессованной взрывом ПК, содержащей 50 ат. % W₂B₅, остальное Ni, в ней обнаружены структурные составляющие, содержащие, помимо основных компонентов, компоненты стальной оболочки:

железо и хром. В КМ с меньшим содержанием борида вольфрама (12,5 ат. %) легирование ПК материалом стенки ампулы наблюдается лишь в приграничной зоне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ №1797217, МПК В22F 3/08, В23К 20/08. Способ взрывного прессования кольцевых антифрикционных уплотнений / В. Н. Арисова, Н. В. Орешин, Р. К. Ткачев, А. Ф. Трудов. Оpubл. 10.09.96, бюл. №25.
2. Писарев, С. П. О формировании соединений между сталью 12X18H10T и прессовками из порошков боридов вольфрама и никеля, полученными взрывным прессованием / С. П. Писарев, В. Д. Рогозин, А. И. Богданов, В. Н. Арисова // Известия ВолгГТУ : научн. журнал № 6 (229) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 18–22.