

УДК 621. 726

**В.В. Черниенко**, д-р техн. наук, проф.,  
**В.А. Граменицкий**, инженер,  
**Е.Г. Павлышко**, инженер  
 Одес. нац. политехн. ун-т

## СПЕКАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В АТМОСФЕРЕ ОТКРЫТОЙ ПЕЧИ В ПЕСЧАНОЙ ЗАСЫПКЕ

*В.В. Чернієнко, В.А. Граменицький, О.Г. Павлышко.* **Спiкання композиційних матеріалів в атмосфері відкритої печі у пісчаній засипці.** Визначено особливості, які мають місце при спiканні композиційних матеріалів у вакуумі та водні.

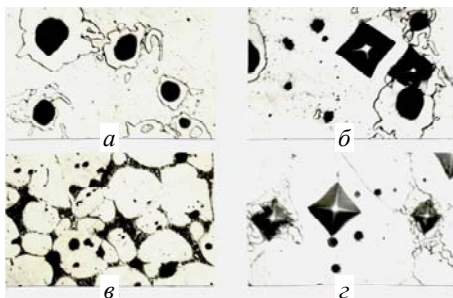
*V.V. Chernienko, V.A. Gramenitskiy, E.G. Pavlyshko.* **Sintering of composite materials in the atmosphere of the open furnace stove in the sand fill.** Certain features, which are lacking in sintering of composite materials in vacuum argon and hydrogen, are determined.

Установлена возможность получения композиционных материалов на основе железа путем пропитки железоборидными сплавами в атмосфере открытой печи в контейнерах с песчаной засыпкой [1].

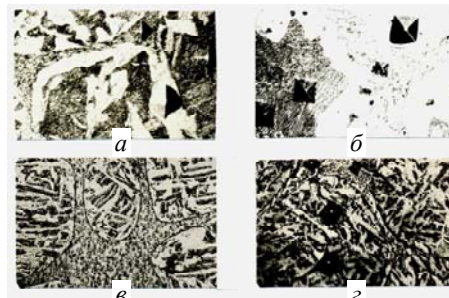
В ходе дальнейшего исследования был выяснен ряд особенностей жидкофазного спекания, присущих только данному способу, по сравнению со спеканием таких же материалов в вакууме и водороде [2].

Так, при проведении пропитки и последующего спекания однотипных материалов на основе базовых систем Fe — (Fe — В) и Fe — (Fe — ферроборал Ba1) в вакууме (рис. 1) и в атмосфере открытой печи в песчаной засыпке (рис. 2) установлено, что протекание физико-химических процессов взаимодействия жидкой эвтектической фазы с железной основой происходит по-разному.

В вакууме, по мере увеличения продолжительности жидкофазного спекания во всех капиллярных объемах, заполненных эвтектикой, происходит образование крупных диффузионных пор (см. рисунок 1) и значительное повышение хрупкости боридных соединений, которую можно наблюдать по рыхлым стенкам отпечатков алмазной пирамидки (рисунок 1, б, г). Это приводит к снижению механических свойств материалов [3].



*Рис. 1.* Микроструктура композиционных материалов после спекания в вакууме: Fe—(Fe—3,5%B) (а, б); Fe—(Fe—30%Ba1) (в, г). Увеличение:  $\times 500$  (а, б, г);  $\times 200$  (в)



*Рис. 2.* Микроструктура композиционных материалов после спекания в открытой печи в контейнерах с песчаной засыпкой: Fe—(Fe—4%B) (а, б); Fe—(Fe—30%Ba1) (в, г). Увеличение:  $\times 450$  (а, б);  $\times 320$  (в, г)

В случае спекания композиционных материалов в атмосфере открытой печи в песчаной засыпке при температуре  $T = 1523$  К продолжительностью четыре часа образование крупных пор не наблюдается (рисунок 2), а повышение микротвердости эвтектики с 1,3 ГПа [3] до

2,3...2,7 ГПа (табл. 1) не вызывает снижения прочности материалов, так как при медленном охлаждении в песке между участками эвтектики и железной основой образуются более мягкие промежуточные слои, микротвердость которых не превышает 1 ГПа.

Таблица 1

Свойства композиционных материалов после пропитки и жидкофазного спекания в атмосфере открытой печи в песчаной засыпке ( $P=500$  МПа,  $T=1523$  К,  $t=4$  ч)

№ п/п	Состав материалов матрицы и пропитывающего сплава	Степень пропитки, %	Линейная усадка, %	$\Phi_B$ , МПа	$\delta$ , %	Микротвердость фаз, ГПа	
						основной	эвтектической
1	Fe — 100 %	—	1...2	120...140	1...2	0,7...0,8	—
2	Fe — (Fe — 4% В)	24...26	0,9...1,0	280...360	4...6	1,5...2,3	4...5
3	Fe — (Fe — 30% Ba1)	24...29	0,6...1,3	270...290	3...6	1,5...1,8	2...3
4	(Fe — 5% Mo2) — (Fe — 20% НВ2)	0	—	400...420	0	4,4...5,0	5...7

Химический анализ показывает, что содержание кремния в образцах материалов не превышает 0,14 мас. %, т.е. насыщение железа кремнием в процессе пропитки и жидкофазного спекания не происходит. При взаимодействии бора с кремнием происходит лишь растворение оксидов, расположенных на поверхностях деталей, а, следовательно, именно песчаная засыпка обеспечивает пропитку и надежное спекание железоборидных материалов в атмосфере открытой печи [4].

Однако, в случае применения в композициях легирующих добавок хрома, тантала или молибдена, пропитка ухудшается, а также резко уменьшается пластичность материалов (табл. 1).

С целью определения глубины проникновения эвтектики в пористое железо проводилась пропитка цилиндрического образца со стороны одного из его торцов (рис. 3), а затем на противоположном торце проверялась степень пропитки и микротвердость ферритной и эвтектической фаз материала.

Распределение элементов в боридных соединениях типа  $Fe_xB_y$  проверяли (рис. 4) с помощью микрорентгеноспектрального анализа системы Fe — (Fe — В).

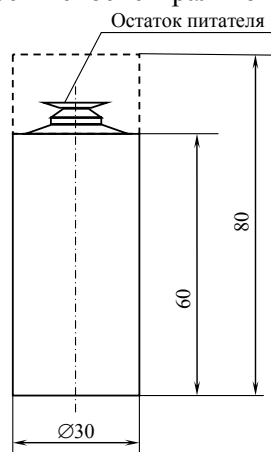


Рис. 3. Расположение образца при определении глубины проникновения пропитывающего сплава в железную матрицу в песчаной засыпке

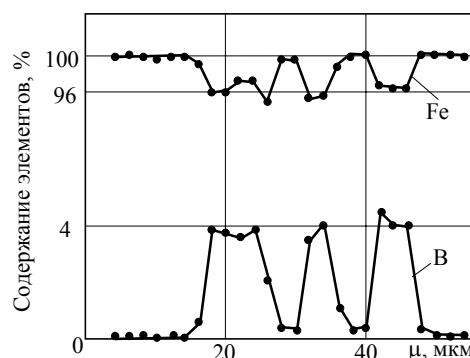


Рис. 4. График распределения элементов в композиционном материале Fe-(Fe-3,5%B)

Оптимальное значение продолжительности жидкофазного спекания оценивалось согласно экспериментальным данным, при которых учитывались различные значения продолжительности спекания при максимальной температуре  $T=1523$  К (4 и 12 ч) и последующем охлаждении контейнеров с образцами материалов, на воздухе или вместе с печью (табл. 2).

Аналогичное проведение пропитки железной матрицы эвтектическим сплавом Fe — 34 % Ba1 в среде водорода в песчаной засыпке и без нее показало, что пластичность материала в засыпке повышается с 2 до 4 %, а при использовании сплава Fe — 2 %, Nb — 3,5 % В еще больше (0,7...3,7 %) без изменения прочности материалов, составляющих  $\sigma_B = 260$  МПа и  $\sigma_B = 360$  МПа, соответственно [5].

Таблица 2

*Зависимость механических свойств композиционного материала системы Fe — (Fe — 3,5 % В) от условий и продолжительности охлаждения ( $P_{гидрост.} = 400$  МПа,  $T = 1523$  К)*

№ п/п	Наименование показателей	Охлаждение образцов материалов	
		На открытом воздухе (4 ч)	В печи до конца остывания (12 ч)
1	Микротвердость фаз, ГПа:		
	— частиц железной основы	1,7...2,6	1,4...1,7
	— эвтектического сплава	5,2...6,2	3,3...3,8
	— боридных включений	9,2...12,0	—
2	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа	380...420	290...300
3	Относительное удлинение *, %	0...1	—
4	Линейная усадка, %	0,8...1,3	1,8...1,9

Следовательно, песчаная засыпка обеспечивает одинаковые прочностные характеристики как в среде водорода, так и в атмосфере открытой печи, но в последнем случае затрачивается в два раза меньше времени на спекание. Кроме того, второй способ проще, особенно при спекании путем индукционного нагрева композиционных материалов в контейнерах с песчаной засыпкой. В условиях высокой скорости индукционного нагрева обеспечивается достижение оптимальной температуры  $T = 1523$  К через 8 мин, а весь процесс спекания длится 10 мин [6].

### Литература

1. Пропитка с последующим борированием пористого железа эвтектическим сплавом железа с бором в окислительной среде / А.К.Машков, В.В. Черниенко, В.И. Хомяков, З.Л. Спиридонова // Тр. Ом. политехн. ин-та. — Омск, 1971. — С. 141 — 145.
2. Черниенко В.В. Исследование влияния ниобия, молибдена и вольфрама на свойства железоборидных материалов / Черниенко В.В., Мартюхин И.Д. // Порошковая металлургия. — 1980. — № 2. — С. 79 — 82.
3. Черниенко В.В. Технологические основы получения композиционных материалов для кокилей: Учеб. пособие. — К.: УМК ВО, 1988. — 96 с.
4. Грюнет П. Металлизация изделий твердосплавным порошком // Новые материалы, полученные методом порошковой металлургии. — М.: Металлургия, 1966. — С. 89 — 97.
5. Черниенко В.В. Влияние водорода на свойства композиционных материалов на основе железа / Черниенко В.В., Граменицкий В.А. // Сб. информ. материалов 1-й Междунар. конф. "ВОМ-95". — Донецк, 1995. — Ч. 1. — С. 66 — 67.
6. К применению индукционного нагрева при изготовлении кокилей из железного порошка / А.К. Машков, В.В. Черниенко, Ю.А. Селиванов, С.А. Осипов // Прогрессив. технол. процессы в литейном пр-ве: Тр. Ом. политехн. ин-та. — Омск, 1982. — С. 105 — 107.

Поступила в редакцию 25 января 2007 г.