

2. Сушло Н.В. Влияние модифицирования на процессы структурообразования в сером и высокопрочном чугунах / Н.В. Сушло, В.Т. Калинин, Г.Б. Климович // Новітехнології: Науковий вісник КУЕІТУ. – 2008. – №1(19). – С.236 – 240.

3. Сушло Н.В. Исследования по использованию наномодификаторов при производстве чугунов мелющих шаров / Н.В. Сушло, В.Т. Калинин // Наукові вісті: Зб. Сучасні проблеми металургії. – 2009. – Т.12. – С.59-65.

4. Калинин В.Т., Сушло Н.В. Технологические особенности производства литых шаров повышенного качества // Вісник КТУ, випуск 23, 2009г.

УДК 621.791.92

**Е. В. Сухова**

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара,  
Днепропетровск

## **ЛИТЫЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Композиционные материалы, полученные способом печной пропитки, находят применение в качестве износостойких покрытий на деталях металлургического оборудования [1]. Однако современная техника требует создания покрытий, свойства которых отличаются с рабочей и внутренней поверхностей. Поэтому возникает необходимость разработки составов двухслойных композиционных покрытий, свойства которых различаются вдоль их сечения.

В связи с этим в работе изучали закономерности формирования структуры и свойств двухслойного композиционного материала, слои которого были упрочнены одинаковым сплавом-наполнителем W–3,5%С, но отличались составом сплава-связки. В качестве металлических связок использовали сплав марки МНЖ 5-1 и эвтектический сплав Fe–В–С. Композиционные материалы получали методом свободной пропитки путем двухстадийного нагрева в печи. Вначале нагрев осуществляли до температуры плавления более легкоплавкой связки композиционного материала, а затем – до температуры плавления более тугоплавкой связки. В результате получали двухслойную структуру композиционного материала, для изучения которой использовали методы металлографического, микрорентгеноспектрального, рентгеноструктурного анализов. Коэффициенты относительной окалиностойкости (К), абра-

зивной износостойкости ( $\varepsilon_A$ ) и газо-абразивной износостойкости ( $\varepsilon_{Г-А}$ ) определяли гравиметрическим методом.

После последовательной пропитки наполнителя W–C сплавами-связками МНЖ 5-1 и Fe–B–C при температурах 1373/1473K в течение 15/15 минут образуется двухслойный композиционный материал, пористость которого не превышает 3–4%. В структуре слоя (W–C/МНЖ) заметные изменения структуры наполнителя и связки по сравнению с исходной не наблюдаются. На границах раздела между наполнителем и железной связкой в слое (W–C/Fe–B–C) протекают процессы контактного взаимодействия, приводящие к появлению фазы  $Fe_3W_3C$ . На границе двух слоев со стороны связки МНЖ 5-1 наблюдаются отдельные выделения фазы на основе железа, легированной медью и никелем. После пропитки микротвердость ( $H_{\mu}$ ) сплава W–C вблизи границы с матрицей МНЖ снижается в среднем на  $7,5 \pm 0,3\%$ , а на границе с железной матрицей – на  $17,9 \pm 0,9\%$ . Вблизи гранул W–C микротвердость матрицы на основе сплава МНЖ-5-1 растет на  $12,7 \pm 0,6\%$ , а железной матрицы – на  $25,2 \pm 1,1\%$ .

При переходе от слоя со сплавом-связкой МНЖ 5-1 к слою со связкой Fe–B–C микротвердость матрицы увеличивается на  $321,0 \pm 15,2\%$ . Твердость по Роквеллу и общая микротвердость повышаются соответственно на  $46,5 \pm 2,8\%$  и  $36,6 \pm 1,7\%$ , а прочность на сжатие ( $\sigma$ ) снижается на  $29,6 \pm 0,2\%$ . Окалиностойкость растет в 1,4 раза, абразивная износостойкость – в 2,4 раза, газо-абразивная износостойкость – в 1,6 раза при 293 К и в 2,2 раза при 473 К.

Таблица

Механические и эксплуатационные свойства двухслойных композиционных материалов

Характеристика	Составы слоев	
	(W–C)/(МНЖ 5-1)	(W–C)/(Fe–B–C)
HRC, ед.	$43 \pm 1$	$63 \pm 3$
$H_{\mu}$ , ГПа	$8,2 \pm 0,2$	$11,2 \pm 0,3$
$\sigma$ , МПа	$2835 \pm 5$	$2010 \pm 15$
K, ед.	$1,07 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$
$\varepsilon_A$ , ед.	1,0	$2,4 \pm 0,3$
$\varepsilon_{Г-А}$ , ед.	293 К	$1,0$
	473 К	$1,0$
		$2,2 \pm 0,1$

Таким образом, использование печного способа пропитки позволяет обеспечить градиент свойств вдоль сечения двухслойного композиционного покрытия, бла-

годаря чему предотвращается его трещинообразование и разрушение при воздействии градиентных температурных полей рабочего цикла, а также при неоднородном распределении напряжений и деформаций.

### Список литературы

1. Спиридонова И. М. Стабильность композиционных материалов / И. М. Спиридонова, А. Д. Панасюк, Е. В. Суховая, А. П. Уманский. – Д.: Свидлер, 2011. – 244 с.

УДК 680.18:669.71

**Е. В. Суховая, Е. В. Устинова**

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара,  
Днепропетровск

### **ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ДЕКАГОНАЛЬНОЙ D-ФАЗЫ В ЛИТЫХ СПЛАВАХ AL-NI-FE**

В работах [1, 2] сообщается об образовании квазикристаллической декагональной D-фазы в сплавах Al–Ni–Fe. Однако требуют уточнения, в связи с противоречивостью, сведения о стабильности этой фазы при комнатной температуре. Поэтому в работе исследовали фазовый состав сплавов Al–Ni–Fe, охлажденных со скоростью 50 К/с, в области образования D-фазы.

Сплавы  $Al_{70}Ni_{14,5}Fe_{15,5}$  и  $Al_{71}Ni_{24}Fe_5$  получали сплавлением химически чистых элементов в графитовых тиглях в печи Таммана. Химический состав сплавов контролировали методом рентгенофлуоресцентного анализа. Структуру исследовали методами количественного металлографического и рентгеноструктурного анализов. МикродюрOMETрические характеристики фаз определяли на приборе ПМТ-3.

Сплав  $Al_{70}Ni_{14,5}Fe_{15,5}$  имеет двухфазную структуру, состоящую из D-фазы и фазы  $Al_5FeNi$ . Относительное содержание D-фазы составляет около 30 об. %. В структуре сплава  $Al_{71}Ni_{24}Fe_5$  присутствуют три фазы: D-фаза, фазы  $Al_3Ni$  и  $Al_3Ni_2$ . Содержание D-фазы составляет более 15 об. %.

Проведенные исследования показывают, что в исследованных сплавах Al–Ni–Fe образуется два типа стабильной D-фазы. D-фаза в сплаве  $Al_{71}Ni_{24}Fe_5$  представляет собой твердый раствор железа в квазикристаллическом двойном соединении  $Al_{80}Ni_{20}$  (D-AlNi), а в сплаве  $Al_{70}Ni_{14,5}Fe_{15,5}$  – твердый раствор никеля в соединении  $Al_{86}Fe_{14}$