

новых материалов и применение систем комплексного управления качеством с использованием технических нормативных правовых актов (ТНПА). Необходима систематизация ТНПА по видам производств и их гармонизация с международными стандартами. В этой связи совместно с Белорусским государственным институтом стандартизации и сертификации Госстандарта Республики Беларусь определяются направления разработки ТНПА в области литейного, термического, гальванического производств.

В новом разделе Программы также сформулированы мероприятия ее научно-организационного сопровождения, условия финансирования научного обеспечения, сформирована межведомственная рабочая группа, выработаны предложения по организации производства созданных в республике образцов печного оборудования, проведению мониторинга и разработке стратегии перевооружения гальванических производств.

Участие научных учреждений НАН Беларуси, высших учебных заведений и отраслевых институтов в научном обеспечении Программы видно из приведенной схемы. Финансирование заданий ведется через государственные научно-технические программы и программы фундаментальных и прикладных научных исследований.

УДК 621.7

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ НОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

А.Г. Колмаков, М.А. Севостьянов, В.Т. Заболотный,
В.В. Молоканов, П.П. Уминов, Н.В. Куракова

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва

Введение. Исследования композиционных материалов на основе металлических стекол показали, что введение частиц или волокон из керамики, карбидов, тугоплавких металлов и сплавов заметно улучшает их механические характеристики [1 – 4]. Новый тип композитов, основой которых является высокопрочный конструкционный или функциональный сплав с поверхностью, покрытой аморфным слоем, может обладать уникальным сочетанием механических, физических, магнитных и химических характери-

стик [5 – 9]. Требуемые свойства покрытия могут быть обеспечены при наличии высокого качества поверхности и хорошего сцепления с основой.

В данной работе проводили исследования оптимального режима получения композиционного материала, состоящего из высокопрочной проволоки – основы, из мартенситно-старееющей стали K17H9M14 диаметром 150 мкм с поверхностным слоем из эвтектического сплава Co69Fe4Cr4Si12B11 различной толщины.

Материалы и методика исследования. В качестве объекта исследования был выбран композит, состоящий из высокопрочной проволоки – основы, из мартенситно-старееющей стали K17H9M14 диаметром 150 мкм с поверхностным слоем из эвтектического сплава Co69Fe4Cr4Si12B11 толщиной 3 – 5 мкм. Для получения композита использовали известный способ автоматической индукционно-флюсовой наплавки [10]. Для получения быстрозакаленного слоя на поверхности высокопрочной проволоки-основы ее протягивали через каплю расплава, находящегося в кварцевом тигле с отверстием в донной части. Непосредственно за этим осуществлялось охлаждение композита в закалочном устройстве с проточной водой. Для исследования брали различные режимы получения композиционных материалов с поверхностным слоем из эвтектического сплава Co69Fe4Cr4Si12B11 с температурой расплава от 1210 °С до 1290 °С и скоростью протяжки от 0,03 м/с до 0,24 м/с.

Исследуемые образцы с длиной рабочей части 45 мм испытывали на универсальной испытательной машине ИНСТРОН 3382 на статическое растяжение со скоростью нагружения 2 мм/мин.

Результаты и их обсуждение. Исследование начали с температуры расплава 1260 °С и минимальной скорости протяжки провода через расплав 0,03 м/с, при которой образуется большое количество дефектов, обусловленных зарождением и ростом изолированных кристаллов. При скорости протяжки 0,09 м/с количество дефектов уменьшаются, и они обусловлены появлением паробразования.

Композит, полученный со скоростью протяжки 0,12 м/с и температурой расплава 1260 °С, в дальнейшем композит с аморфным покрытием, имеет характерную гладкую стекловидную поверхность, на которой присутствуют отдельные изолированные дефекты. Они представляют собой раковины и ямки, обусловленные образованием пара при контакте расплава с водой и выходом растворенного в материале газа при затвердевании [11].

После скорости протяжки 0,18 м/с происходило увеличение размеров кристаллических структурных фрагментов, поверхность композита была гладкой, однако на ней наблюдали дисперсную полиэдрическую структуру, в дальнейшем композит с кристаллической структурой. В условиях достаточно высоких скоростей протяжки, 0,24 м/с, нанесение поверхностного слоя происходило дискретно, происходило увеличение кристаллической фазы.

Композит, полученный с температурой плавления 1210 °С и скоростью протяжки 0,12 м/с, имеет кристаллическую структуру, характеризующуюся большим содержанием крупных первичных кристаллов, приводящих к заметному повышению шероховатости поверхностного слоя. В интервале 1260 – 1290 °С процесс нанесения имеет место, но происходит на дискретных участках провода, из-за чего не проводили исследования механических свойств.

Результаты механических испытаний исследованных материалов приведены в табл. 1. С увеличением скорости протяжки до 0,18 м/с и неизменной температуре расплава 1260 °С прочностные характеристики увеличиваются.

Таблица 1

Результаты механических испытаний исследованных материалов

Материал	Механические характеристики		
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_n , МПа	Ψ , %
Композит с $T_{распл} = 1210$ °С и $V_{прот} = 0,12$ м/с	1148±4	1373±6	62±1
Композит с $T_{распл} = 1260$ °С и $V_{прот} = 0,03$ м/с	1165±2	1381±9	63±1
Композит с $T_{распл} = 1260$ °С и $V_{прот} = 0,09$ м/с	1170±2	1385±3	64±1
Композит с $T_{распл} = 1260$ °С и $V_{прот} = 0,12$ м/с	1175±9	1403±4	76±0
Композит с $T_{распл} = 1260$ °С и $V_{прот} = 0,18$ м/с	1184±4	1413±9	61±2

Характеристики прочности у композита с кристаллическим поверхностным слоем относительно композита с аморфным поверхностным слоем выше, но очень незначительно – различие менее 1 %. Прочностные характеристики и пластичность уменьшаются при уменьшении температуры расплава до 1210 °С и одинаковой скорости протяжки 0,12 м/с. Пластичность композитов заметно зависит от структурного состояния поверхностного слоя. Композит с аморфным поверхностным слоем отличается наибольшими значениями показателей пластичности: относительное сужение выше в ~1,24 раза по сравнению с композитом с кристаллическим поверхностным слоем (см. табл. 1).

Выводы. Изучены условия получения нового типа композиционного материала, включающего проволоку-основу из высокопрочной мартенситно-старееющей стали типа К17Н9М14 и поверхностный аморфный или наноструктурный слой, из магнитомягкого сплава $Co_{69}Fe_4Cr_4Si_{12}B_{11}$, путем пропускания проволоки через металлический расплав и последующей закатки композита в слое воды.

Установлены оптимальные технологические параметры, обеспечивающие получение большей толщины и лучшего качества поверхностного слоя из сплава $Co_{69}Fe_4Cr_4Si_{12}B_{11}$ и лучшего комплекса механических свойств: $T_{распл} = 1260^\circ C$, $V_{прот} = 0,12$ м/с.

Работа выполнена при поддержке программы ОХНМ-02, II-18 и «Фундаментальные науки – медицине».

Литература

1. H. Li. Mechanical behavior of tungsten preform reinforced bulk metallic glass composites / Li H., Subhash G., Kecskes L.J., Dowding R.J. // *Materials Science and Engineering A*, 2005. – V. 403. – P. 134 – 143.
2. Choi-Yim H., Conner R.D., Szuecs F., Johnson W.L. // *Acta Mater*, 2002. – V. 50. – P. 2737 – 2745.
3. Gu X., Jiao T., Kecskes L.J., Woodman R.H., et al. // *J. Non-Cryst. Solids*, 2003. – V. 317. – P. 112 – 117.
4. Jiao T., Kecskes L.J., Hufnagel T.C., Ramesh K.T. // *Metall. Mater. Trans. A*, 2004. – V. 35A. – P. 3439–3444.
5. Ковнеристый, Ю. К. Физико-химические основы создания аморфных металлических сплавов / Ю.К. Ковнеристый, Э.К. Осипов, Е.А. Трофимова. – М.: Наука, 1983. – 145 с.
6. Влияние толщины стеклообразного покрытия на структуру и свойства аморфного магнитомягкого кобальтового сплава / Молоканов В.В. [и др.] // *Перспективные материалы*, 2006. – № 2. – С. 5 – 14.
7. From Bulk Metallic Glasses to Amorphous Metallic Coatings / M.I. Petrzhik [et al.] // *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials*, 2005. – V. 24 – 25. – P. 101 – 104.
8. Колмаков, А.Г. Использование положений системного подхода при изучении структуры, особенностей пластической деформации и разрушения металлов / А.Г. Колмаков // *Металлы*, 2004. – № 4. С. 98 – 107.
9. Калита, В. И. К вопросу формирования металлов в аморфном состоянии / В. И. Калита, Д. И. Комлев // *Металлы*, 2003. – № 6. – С 30 – 37.
10. Способ автоматической индукционно-флюсовой наплавки : а.с. № 172417 от 26 ноября 1962 г. / П. С. Колгунов // *Бюллетень изобретений*, 1965. – № 13.
11. Влияние технологических факторов на структуру поверхности композиционного материала – высокопрочная стальная проволока с аморфным металлическим поверхностным слоем / П. П. Умнов [и др.] // *Деформация и разрушение материалов*, 2006. – № 12. – С. 38 – 42.

НОВЫЕ ПОРОШКОВЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**А.Ф. Ильюшенко, Е.Е. Петюшик***ГНПО порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск:***В.В. Савич***ГНУ «Институт порошковой металлургии»**ГНПО порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск*

Введение. Повышение роли белорусской материаловедческой науки в укреплении производственного и экспортного потенциала, формирование экономики, основанной на новейших разработках, становится сегодня одной из стратегических задач в развитии экономики республики. Только новые научно-технические достижения, новые эффективные энерго- и ресурсосберегающие технологии обеспечат конкурентоспособность как продукции отдельного предприятия, так и экономики страны в целом. На долю новых разработок, воплощаемых в новых материалах, технологиях, оборудовании, подготовке кадров, организации производства в развитых странах, приходится от 70 до 85 % прироста ВВП. Порошковая металлургия занимает особое место среди других технологий создания новых материалов самого широкого назначения, так как позволяет производить материалы и изделия, которые либо невозможно получить традиционными металлургическими методами, либо их изготовление обходится дешевле, чем традиционным способом [1].

В данной работе представлены некоторые разработки новых порошковых и композиционных материалов, выполненные в 2007 – 2008 гг. сотрудниками ГНПО ПМ.

Машиностроительные материалы. Для описания процесса уплотнения порошковых смесей предложено использовать комбинированную модель, состоящую из трех участков: в диапазоне относительных плотностей θ от 0,6 до 0,68 – модель Флэка [2], в диапазоне свыше 0,8 – модель Гурсона – Твергарда – Нидлмана [3, 4]. Переходную область в координатах $P - \theta$ предложено описывать прямой, проходящей через крайние точки указанных выше диапазонов плотностей. Такое описание удовлетворительно описывает процесс прессования порошковых смесей в жестких матрицах. Так как использование модели, содержащей точки разрыва, при численном конечно-элементном моделировании процесса получения порошковых заготовок затруднительно, в настоящем исследовании