

© Д.В. Масайло, Е.А. Сомкова, Б.В. Фармаковский, П.А. Кузнецов, 2012 г.
Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей»
г. Санкт-Петербург, Шпалерная, 49
prometey_35otdel@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО МИКРОПРОВОДА ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Ni-Cr-Mo

Развитие современной техники вызывает потребность в поисках и разработке новых композиционных металлических материалов, обладающих не только более высокими свойствами, но и таким сочетанием физических, механических и химических свойств, которое не может быть достигнуто на базе традиционных материалов. Одним из таких материалов является наноструктурированный микропровод в стеклянной изоляции [1].

Суть процесса формирования наноструктурированного микропровода в стеклянной изоляции заключается в следующем: навеска металла в несколько грамм помещается в стеклянную трубку с опаянным донцом и вместе с последней вводится в индуктор высокочастотной установки (рис. 1). Под действием магнитного поля индуктора навеска металла плавится и размягчает примыкающие к ней стенки стеклянной трубки. Далее путем прикосновения к донцу микрованны стеклянным штабиком часть ее оболочки оттягивается на специальное приемное устройство в виде капилляра со сплошным металлическим заполнением в виде непрерывной токопроводящей жилы. На пути от микрованны до приемного устройства микропровод проходит через кристаллизатор в виде струи охлаждающего агента. Тем самым обеспечивается закалка расплава со скоростями до 10^6 K^{-1} и получение микропроводов с аморфной и нанокристаллической структурой.

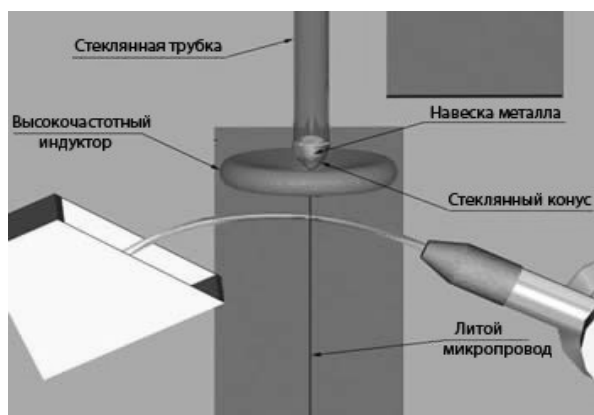


Рис. 1. Схема процесса литья микропроводов в стеклянной изоляции (а)
и фотография установки литья (б)

По указанной технологии могут быть получены микропровода из чистых металлов (Ag, Au, Cu, Pt, Ni и т. д.), сплавов и интерметаллидных соединений (Mn_2Ga , Ni_3Mn , RbI). Однако специфические особенности литья микропроводов в стеклянной изоляции выдвигают некоторые ограничения по химическому составу используемых сплавов, прежде всего с точки зрения физико-химических процессов, происходящих в жидкой фазе между металлом и стеклом. Установлено [2], что использовать сплавы с содержанием элементов высокой химической активности (Al, Ti, Nb, V) в сумме более 5 % не представляется возможным из-за интенсивного окислительно-восстановительного взаимодействия в системе металл-стекло в условиях литья.

Перспективными направлениями использования указанной технологии является создание систем электромагнитной защиты из микропроводов на основе магнитомягких сплавов системы Ni-Co-Fe, а также особо прочных наноструктурированных микропроводов из сплава системы Ni-Cr-Mo.

При разработке сплава для литья микропроводов с высокими механическими характеристиками был выбран метод упрочнения твердого раствора сильным легированием элементами, образующими в сплаве интерметаллидные фазы. Разработка состава сплава проводилась в системе Ni-Cr-Mo. Известно [3], что в этой системе наряду с твердыми растворами на основе никеля и молибдена образуются интерметаллидные фазы – δ -фаза ($NiMo$), σ -фаза, P-фаза ($Cr_{18}Mo_{42}Ni_{40}$) и др.

Для приготовления сплавов системы Ni-Cr-Mo использовали чистые шихтовые материалы: электролитический никель марки Н0, хром марки Х0 и молибден в прутках марки МЧ. Было изготовлено четыре серии никелевых сплавов и в паре с термоустойчивым стеклом марки «Simax», были получены микропровода в стеклянной изоляции.

I – 10 % Cr, 10, 20, 25, 30 и 35 % Mo;

II – 20 % Cr, 10, 20, 25, 30 и 35 % Mo;

III – 30 % Cr, 10, 20, 25 и 30 % Mo;

IV – 40 % Cr, 10, 20, 25 и 30 % Mo.

После получения микропроводов исследовали их механические свойства и особенности структуры и фазового состава.

Анализ рентгенограмм показал, что все сплавы представляют собой твердые растворы на основе никеля с наноструктурными выделениями, идентифицированными как P-фаза. Установлено, что количество этой фазы в сплавах увеличивается по мере повышения в твердом растворе содержания хрома и молибдена. Наибольшее количество линий, соответствующих P-фазе, наблюдается в сплавах, в которых отношение суммы хрома и молибдена к никелю равно единице и более.

Исследования образцов на электронном микроскопе показали, что жила литых микропроводов из сплава Ni-Cr-Mo имеет аморфную структуру с наноразмерными включениями, размер которых составляет около 10 нм.

Было установлено, что прочность микропроводов увеличивается по мере повышения степени легирования никеля хромом и молибденом и достигает значения более 4 ГПа при содержании 20–40 % Cr и 30–35 % Mo.

Следует отметить, что литье микропроводов из сплавов Ni-Cr-Mo сопровождается химическим взаимодействием между расплавленным металлом и боросиликатным стеклом. В процессе литья происходит окисление хрома и молибдена, которое нарушает технологический процесс; одновременно капля сплава в результате этого взаимодействия в системе сплав-стекло насыщается кремнием и бором. Эти явления определяют длительность настройки технологического процесса литья. С учетом окислительно-восстановительных процессов, происходящих в системе «сплав-стекло», с целью их стабилизации и улучшения технологичности сплавов выбранного состава дополнительно вводили кремний в количестве до 3 % и бор – до 0,3 %. Это положительно сказалось на технологичности процесса и свойствах литых микропроводов. Наилучших результатов, с точки зрения прочностных характеристик, удалось добиться при введении бора и кремния в сплав никеля с 20 % Cr и 35 % Mo.

Для увеличения чистоты исходных сплавов и уменьшения разброса прочности по длине микропровода было проведено дополнительное легирование сплава выбранного состава рафинирующими добавками – церием, лантаном, иттрием, цирконием в количестве 0,1–1,0% каждого. Существенное увеличение прочности микропроводов с модифицирующими добавками обнаружено не было, но качество исходных заготовок сплава и стабильность процесса литья заметно улучшилось, т. е. существенно увеличилась длина безобрывного отрезка микропровода с 300 до 10 000 м.

Полученные результаты показывают, что при образовании диффузионного слоя между металлом и стеклом формируется единая механическая система в виде композиционной нити, имеющей уникально высокую прочность – до 5 ГПа. Использование таких микропроводов весьма перспективно в качестве армирующих компонентов, а также при создании тканевых композиций для систем электромагнитной защиты в сочетании с магнитомягким микропроводом [4].

Список использованных источников

1. Бадинтер Е.Я. [и др.] Литой микропровод и его свойства. Кишинев: «Шниинца», 1973.
2. Каримова Г. В. Бистабильный литой аморфный микропровод из Fe-, Fe-Co- сплавов в стеклянной оболочке и его применение в магнитометрии / под редакцией Г. В. Ломаева. Ижевск, 2006.
3. Bloom D.S., Crant N.Y. An investigation of the systems. Formed by Chromium Molybdenum and Nicel // J. Metals. 1954. V. 6, № 2.
4. Khandogina E.N., Petelin E.N. Magnetic, mechanical properties and structure of amorphous glass-coated microwires // J. Magn. Mater. 2002. V. 249. No. 1–2. P. 55–59.