



УДК 669.187.2

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ ОТЖИГЕ БЫСТРОЗАКАЛЕННОГО СПЛАВА ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ ВЫПЛАВКИ

Г. Н. Кожемякин, Н. Н. Луговой, В. А. Шаповалов,
Ю. А. Никитенко, О. Н. Иванов, Д. А. Колесников

Изучено влияние отжига при температуре 300 °С на формирование нанокристаллов в сплаве Ni-Si-B с аморфной структурой. Обнаружено неоднородное распределение нанокристаллов размерами 10...84 нм в приповерхностном слое сплава глубиной до 10 мкм. Количество и размеры нанокристаллов уменьшаются от поверхности в глубину сплава с аморфной структурой.

The effect of annealing at temperature 300 °C on the formation of nanocrystals in alloy with amorphous structure Ni-Si-B was studied. The non-uniform distribution of nanocrystals of 10...84 nm sizes in a near-surface layer of alloy at up to 10 nm, was revealed. Amount and sizes of nanocrystals are decreased from the surface into the depth of amorphous alloy.

Ключевые слова: плазменно-дуговой нагрев; аморфное состояние; отжиг; нанокристаллы

Сплавы с аморфной структурой характеризуются высокой коррозионной стойкостью и применяются для изготовления электродных материалов, топливных элементов, фильтров, работающих в растворах кислот и сточных водах, а также материалов, предназначенных для технологического оборудования при производстве соды и др. Особый интерес представляют сплавы с аморфной структурой, применяемые в качестве припоев [1]. Отжиг способствует кристаллизации таких сплавов и изменяет их свойства [2-4]. В этой связи актуальным является изучение влияния температуры на изменение микроструктуры указанных сплавов.

Целью настоящей работы является изучение влияния отжига сплава с аморфной структурой системы Ni-Si-B на изменение его структуры.

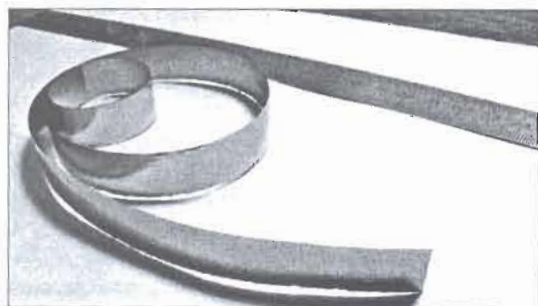


Рис. 1. Лента сплава с аморфной структурой на основе никеля

Для исследований выбрали сплав на основе никеля следующего состава, мас. %: 88 Ni; 7 Si; 3,5 В; 0,5 Fe; 1,0 Cr. Сплав получали в виде ленты способом спиннингования с применением плазменно-дуговой плавки в медном водоохлаждаемом гарнисажном тигле. Схему разработали как альтернативу классической технологии спиннингования из керамического тигля.

Применение гарнисажной плавки позволяет снизить площадь контакта расплава с керамикой и защитить от попадания в расплав неметаллических включений, а плазменно-дуговой источник отличается большим запасом мощности [5] и возможностью перегрева расплава в широком интервале температур. Шихту готовили из указанных исходных материалов чистотой 99,99 %, которую помещали в медный водоохлаждаемый тигель с внутренним диаметром 110...140 мм и высотой 50 мм в аргоновой плазме. Температура расплава в процессе спиннингования составляла около 1100 °С.

После расплавления шихты и выхода на стационарный режим в камеру резки подавали избыточное давление 5 кПа, и расплав выдавливался на поверхность диска через керамическое сопло, установленное в донной части медного тигля.

Для осуществления сверхбыстрой закалки расплава применяли медный диск-холодильник диаметром 300 мм, вращающийся с частотой 1600 об/мин. Сплав с аморфной структурой получали в виде ленты толщиной около 60 мкм, шириной 15 мм и длиной 30...40 м. Внешний вид полученного сплава представлен на рис. 1.

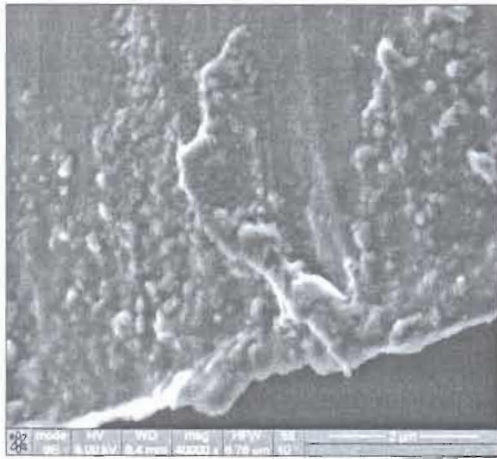


Рис. 2. Нано- и микрокристаллы у поверхности ленты с аморфной структурой после отжига при температуре 300 °С

Из ленты с аморфной структурой приготовлены образцы размерами 15,00×8,00×0,06 мм, которые подвергались отжигу на воздухе при температуре 300 °С в специальной цилиндрической печи с минимальным градиентом температуры в осевом и радиальном направлениях. Поверхность поперечного сечения образцов для изучения микроструктуры получали при помощи разрыва в жидком азоте. Исследовали микроструктуру с помощью растрового электронного микроскопа «Quanta 200 3D».

Установлено, что в неотожженных образцах отсутствовали микро- и нанокристаллы как на поверхности, так и в поперечном их сечении, т. е. лента имела аморфную структуру по всему сечению.

При визуальном осмотре отожженных образцов не обнаружили изменения геометрических размеров и оксидной пленки на поверхности. Однако с помощью электронного микроскопа в поперечном сечении образцов зафиксировали нано- и микрокристаллы. Нанокристаллы размерами 10... 84 нм обнаружены в приповерхностной области ленты с аморфной структурой глубиной до 10 мкм (рис. 2). Их концентрация и размеры уменьшались от поверхности в глубь образца. Причем наиболее мелкие нанокристаллы размещались на глубине более 8 мкм.

На поверхности сплава зафиксированы выступы, образованные, как правило, микрокристаллами, сосредоточенными у поверхности аморфной ленты. Микрокристаллы имели неправильную форму, близкую к овальной, размерами 220... 680 нм. Вероятно, эти микрокристаллы сформировались в процессе отжига из первых нанокристаллов, зародившихся на поверхностных дефектах.

Обнаружено также возникновение нанокристаллов в деформированных областях в результате раз-

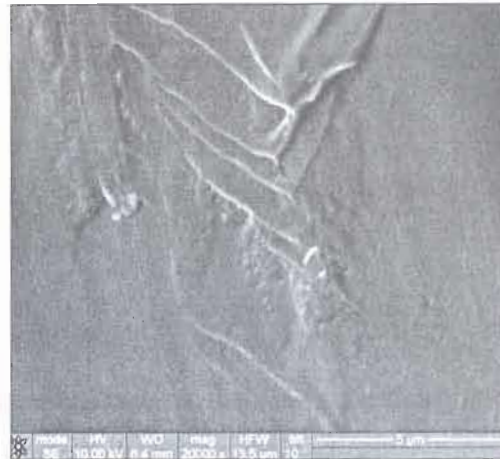


Рис. 3. Нанокристаллы в деформированной области

рыва образцов в жидком азоте (рис. 3). Эти области имели характерный вид изломов, сопутствующих разрушению кристаллов.

Таким образом, отжиг при температуре 300 °С сплава с аморфной структурой на основе никеля способствует формированию нано- и микроструктуры с размерами кристаллов 10... 680 нм. Зарождение кристаллов начинается у поверхности ленты, а в процессе отжига центры кристаллизации формируются на ее большей глубине. Обнаружено также образование нанокристаллов в областях сплава, подвергнутых деформации.

1. Применение быстрозакаленных припоев для пайки конструктивных элементов термоядерных реакторов / Б. А. Калинин, О. Н. Севрюков, В. Т. Федотов, А. Н. Плюшев // Технология машиностроения. — 2003. — № 4. — С. 45–50.
2. Lu K., Wang J. T., Wei W. D. Thermal expansion and specific heat capacity of nanocrystalline Ni-P alloy // Scripta Metal. Mater. — 25, № 3. — 1991. — P. 619–623.
3. Влияние деформации и отжига на структуру и свойства аморфных сплавов / Н. И. Носкова, Н. Ф. Вильданова, А. П. Потапов, А. А. Глазер // Физика металлов и металловед. — 73, № 2. — 1992. — С. 102–110.
4. Влияние предварительной деформации и низкотемпературного отжига на размер нанокристаллов Fe73.5Cu1Nb3Si13.5B9, полученных при кристаллизации аморфной ленты / Н. И. Носкова, Е. Г. Пономарева, А. А. Глазер // Физика металлов и металловед. — 76, № 5. — 1993. — С. 171–173.
5. Шаповалов В. А., Никитенко Ю. А., Буришев В. Р. Применение донного слива при плазменно-дуговой гарнизажной плавке. // Современ. электротехнология. — 2004. — № 4. — С. 12–17.

Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля, Луганск
Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
Белгород. гос. ун-т, ИСМН-ЦКП, Белгород
Поступила 24.09.2008