

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИИ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

*А.В. Стрюков, Е.В. Шарлай, А.В. Рощин*

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR STUDYING OF AMORPHOUS ALLOY CORROSION IN THE AIR

*A.V. Stryukov, E.V. Sharlay, A.V. Roshchin*

**Разработан метод исследования коррозии аморфных сплавов в воздушной среде. Произведены коррозионные испытания на ленточных образцах аморфных сплавов 5БСДР и 2НСР. Произведен анализ оксидной пленки на поверхности аморфной ленты, с целью подтверждения эффективности метода.**

*Ключевые слова: коррозионные испытания, коррозионная стойкость в воздушной среде, степень кристалличности, температура начала кристаллизации.*

**A method of studying of amorphous alloy air corrosion is developed. Corrosion tests were performed on samples of 5BСDR and 2NSR alloys in the form of amorphous ribbons. The analysis of an oxide film was conducted on the surface of the amorphous ribbon in order to confirm the effectiveness of the method.**

*Keywords: corrosion testing, air corrosion resistance, extent of crystallinity, temperature of crystallization.*

Аморфное состояние твердого тела до сих пор является недостаточно изученной областью современного материаловедения. Особенности структуры аморфных сплавов (металлических стекол) непосредственно сказываются на механических и физико-химических свойствах. Величина свежесформированной поверхности аморфных сплавов в исходном состоянии свидетельствует о наличии на поверхности оксидных пленок, в которых энергия связи Me–O выше, чем у кристаллических сплавов. В аморфных сплавах отсутствуют границы зерен, линейные дефекты типа дислокаций и кристаллографическая анизотропия, другими словами, высоколокализованные области с избыточной энергией. Эти особенности обеспечивают уникальность коррозионного и, в частности, электрохимического поведения аморфных сплавов [1].

Ранее коррозионные испытания аморфных сплавов производились в растворах электролитов, о чем свидетельствуют литературные источники [2]. Как правило, образцы изготавливались в виде лент, скорость коррозии оценивалась по уменьшению массы образцов при погружении их в раствор электролита в открытой атмосфере. В настоящее время предложен метод исследования коррозионной стойкости аморфных сплавов в воздушной среде [3], однако данный метод предполагает значительные затраты времени, что сильно затягивает проведение комплексного исследования.

Целью разрабатываемой методики является ускорение процесса воздушной коррозии. Задачей является подбор таких условий, при которых процесс коррозии интенсифицируется. В качестве ус-

ловий выбраны температура близкая к 100 °С, и влажность близкая к 100 %.

Исследования производили на ленточных образцах, изготовленных из аморфных сплавов 2НСР и 5БДСР толщиной 15–30 мкм. Исходные аморфные ленты были получены на Ашинском металлургическом заводе. Перед началом эксперимента с помощью рентгеноструктурного анализа была произведена аккредитация образцов на степень аморфизации [4].

Суть метода состоит в том, что исследуемые образцы предварительно взвешивали на аналитических весах (точность  $\pm 0,00005$  г). Далее образцы помещали в жаростойкие пакеты для защиты от возможного попадания капель и пыли на поверхность ленты и загружали в сушильный шкаф, в котором поддерживали температуру близкую к 100 °С, а влажность близкую к 100 %. Во время эксперимента образцы периодически вынимали из сушильного шкафа и взвешивали, что позволило контролировать массу образцов. Принято считать, что прирост массы образцов характеризует степень коррозии на поверхности сплавов. Поскольку увеличение массы образцов относительно мало, то необходимо использовать образцы, изменение массы которых заметно превосходит погрешность измерений. Необходимо также иметь большую площадь поверхности образцов. Поэтому использовали образцы ленты большой длины.

Известно [5], что для сплава 5БДСР температура начала кристаллизации составляет примерно 500 °С, однако в процессе отработки методики эксперимента замечено, что уже при 300 °С ленты

5БДСР и 2НСР становятся хрупкими, что при взвешивании ведет к потере массы.

Особенностью эксперимента является поддержание влажности близкой к 100%. Высокая влажность поддерживалась за счет испарения воды. При температуре близкой к 100 °С вода не доводится до кипения, пары воды не конденсируются на поверхности образцов и коррозия происходит в воздушной, а не водной среде. Использовали дистиллированную воду, так как в обычной воде содержатся соли, которые в процессе эксперимента переносятся на поверхность образцов, что искажает результаты экспериментов.

Предложенная методика позволяет в относительно короткие сроки произвести коррозионные

испытания в воздушной среде и получить продукты коррозии на поверхности исследуемых образцов в достаточных для исследования количествах.

Поверхность аморфных сплавов 2НСР и 5БДСР изучали с помощью оптического микроскопа OLYMPUS BX51 и сканирующего электронного микроскопа Jeol 6460 LV.

На рис. 1 изображена элементная картография поверхности аморфной ленты из сплава 5БДСР после испытаний при температуре близкой к 100 °С во влажной атмосфере в течение 30 суток. (Снимок произведен на сканирующем электронном микроскопе.) На поверхности находится пленка, которая содержит углерод, кислород, медь и небольшое количество железа.

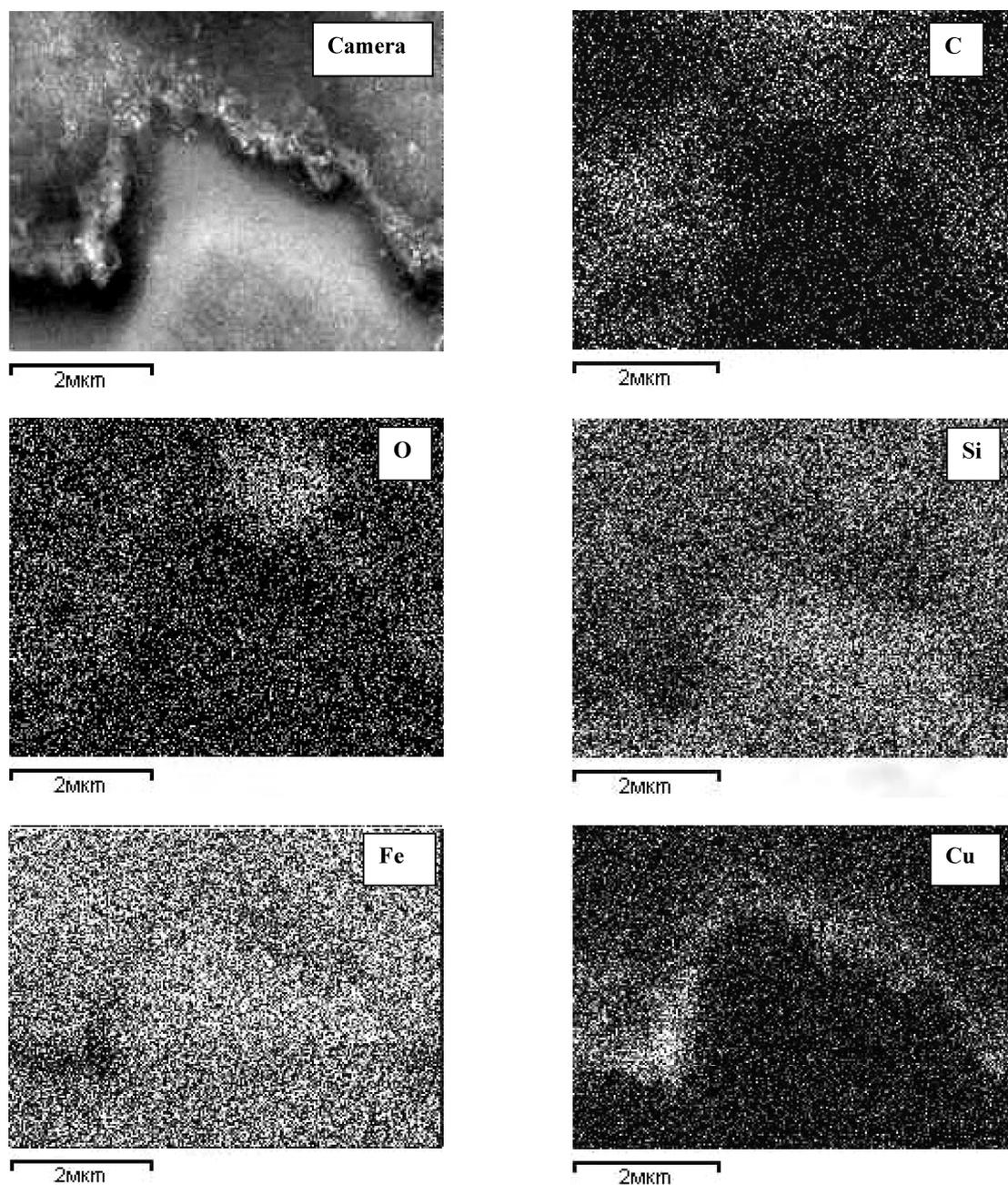


Рис. 1. Аморфный сплав 5БДСР



а)



б)

Рис. 2. Аморфный сплав 2HCP: контактная сторона (а) и свободная сторона (б)

ложить, что данная пленка содержит карбонат гидроксомеди  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ . Возможно, это связано с тем, что медь присутствует в составе нанокристаллического сплава 5БДСР и в контакте с железом образует микрогальванический элемент, что могло стать очагом коррозии.

На рис. 2 изображена поверхность аморфного сплава 2HCP, подверженного коррозионным испытаниям при температуре 100 °С. (Снимок произведен на оптическом микроскопе.) По результатам визуального наблюдения можно сделать предположение о том, что поверхность ленты, контактирующая во время производства с вращающимся диском, подвержена коррозии сильнее, чем поверхность ленты, которая во время производства контактировала с воздухом. Это объясняется наличием на контактной поверхности воздушных карманов, каверн, возникающих при разливке [3]. Такой рельеф поверхности усиливает атмосферную коррозию.

Таким образом, предложена методика, которая позволяет ускорить процесс коррозионных испытаний аморфных лент из сплавов на основе Fe. Подобраны условия (температура близкая к 100 °С и влажность близкая к 100 %), при которых процесс коррозии протекает с заметной скоростью.

Получены образцы с продуктами коррозии, что подтверждает эффективность предложенной методики.

#### Литература

1. Проблемы защиты металлов от коррозии / В.Ю. Васильев, Б.К. Опара, А.Ю. Четкин, А.В. Казакевич // Тезисы докладов I Всесоюзной межвузовской конференции. – Казань, 1985. – С. 15.
2. Судзуки, К. Аморфные металлы / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото. – М.: Металлургия, 1987. – 328 с.
3. *Effect of surface morphology on atmospheric corrosion behaviour of Fe-based metallic glass, Fe67Co18Si14B1* / B. Vishwanadh, R. Balasubramaniam, D. Srivastava, G.K. Dey // *Bull. Mater. Sci.* – 2008. – Vol. 31, No. 4. – P. 693–698.
4. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
5. Гойхенберг, Ю.Н. Структура и магнитные свойства аморфных сплавов при разной степени их кристаллизации / Ю.Н. Гойхенберг, В.Е. Роцин, С.И. Ильин // Труды XIII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». – Екатеринбург, 2011. – С. 38.

Поступила в редакцию 6 сентября 2012 г.