

УДК 669.018.684.41

**ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ АМОРФНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ**

**TECHNOLOGIES OF PROCESSING OF AMORPHOUS METALLIC MATERIAL
BY MEANS OF ELECTROMAGNETIC OSCILLATIONS**

В. А. Филиппов¹, Б. В. Филиппов²

V. A. Filippov¹, B. V. Filippov²

¹ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет
им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары

²ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова»,
г. Чебоксары

Аннотация. В статье представлены сведения о методах получения, структуре и свойствах аморфных металлических материалов. Рассматриваются вопросы использования перспективных процессов термообработки электромагнитными колебаниями.

Abstract. The paper presents the technologies of production, structure, physical properties of amorphous metallic material. The article considers the terms of employing advanced thermal processing by means of electromagnetic oscillations.

Ключевые слова: перспективные материалы, структура, свойства, технология термической обработки.

Keywords: advanced material, structure, properties, technology of thermal processing.

Актуальность исследуемой проблемы. Аморфные металлические сплавы представляют собой однофазную систему, состоящую из пересыщенного твердого раствора. Бурное развитие аморфных материалов связано с разработкой высокоэффективных методов быстрой закалки из жидкого состояния при скоростях охлаждения порядка 10^6 К/с, чтобы задержать процесс кристаллизации. Условия получения определяют скорость охлаждения расплава, качество получаемых образцов и характер формирующейся при высокоскоростном затвердевании структуры. В основе структурообразования лежат сложные процессы при экстремально неравновесном затвердевании, связанные с теплоотводом, теплообменом и массопереносом расплава. Это требует постановки дальнейших всесторонних исследований процессов зарождения, роста и морфологии кристаллов в условиях внешних воздействий, а также их особенностей, связанных с используемыми методами закалки. В результате таких исследований, направленных на выяснение общих закономерностей процессов структурообразования, могут быть существенно развиты и углублены существующие представления о кристаллизации аморфных сплавов.

Материал и методика исследований. Способность сплавов к аморфизации принято оценивать по критической скорости охлаждения. Предпринимались теоретические и экспериментальные попытки оценить скорости охлаждения, достигаемые в различных процессах, однако малые размеры и быстрота процесса затрудняют определение действительной скорости охлаждения. В лаборатории физикохимии аморфных и микрокристаллических сплавов ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН были проанализированы физикохимические принципы создания аморфных сплавов, не содержащих элементов – аморфизаторов [3]. Необходимым условием при этом является анализ диаграмм состояния металлических систем с установлением областей затвердевания двойных и более сложных эвтетик, содержащих интерметаллические соединения сложной кристаллохимической природы.

Установка для получения образцов из аморфных металлических сплавов (рис. 1) позволяет проводить плавку в вакууме или в среде инертного газа. Закаливаемый из расплава материал загружали в изолированный керамический тигель 7 с отверстием в нижней части. Вакуумную камеру 1 откачивали до давления 10^{-4} Па. Плавление наружного металла осуществляли индукционным методом на частоте 450 кГц. Индуктор 3, имеющий форму спирали, устанавливали на уровне загруженного металла 8. Расплав под действием избыточного давления выстреливался в форму 9.

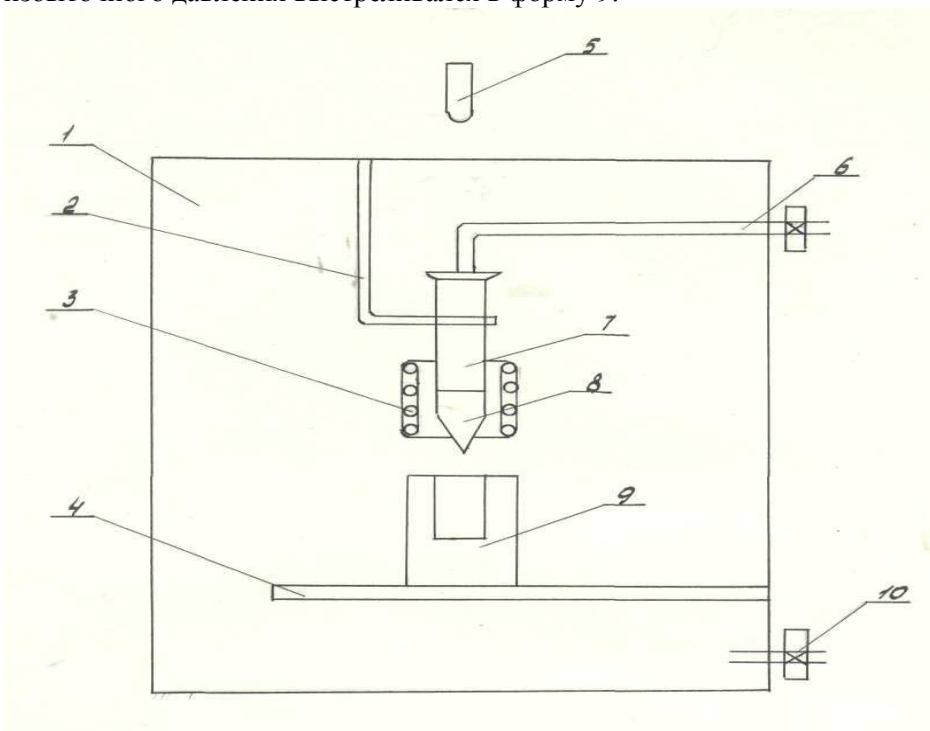


Рис. 1. Схема установки для получения объемно-аморфных образцов

Изучение характера изменения структуры и свойств источником импульсного тока проводилось на объемно-аморфных образцах, полученных сверхбыстрой закалкой из жидкого состояния (рис. 2). Рентгеноструктурный анализ подтверждает аморфную структуру полученных исходных образцов. Предполагается, что формирование аморфной структуры в таких слитках обусловлено химическим составом и дополнительно облегча-

ется специфическим характером гидродинамических процессов, происходящих в расплаве при заполнении изложницы. Критическая скорость охлаждения зависит от теплопроводности, теплоемкости, вязкости и плотности расплава. Важную роль играют толщина расплава и характеристики холодильника. Для жидкого слоя, находящегося на медной поверхности, средняя скорость охлаждения до температуры T , равной половине его начальной температуры T_0 , составляет по расчетам около 10^8 К/с. Скорость охлаждения существенно падает по мере достижения слоев температуры подложки. При идеальном охлаждении средняя скорость охлаждения до $T=T_0/2$ изменяется обратно пропорционально квадрату толщины слоя. Параметром, удобным для оценки склонности к аморфизации, является приведенная температура стеклования $T_{дс}=T_d/T_m$, представляющая собой отношение температуры «стеклования» к температуре плавления. Высокие значения $T_{дс}$ благоприятствуют образованию аморфной структуры.

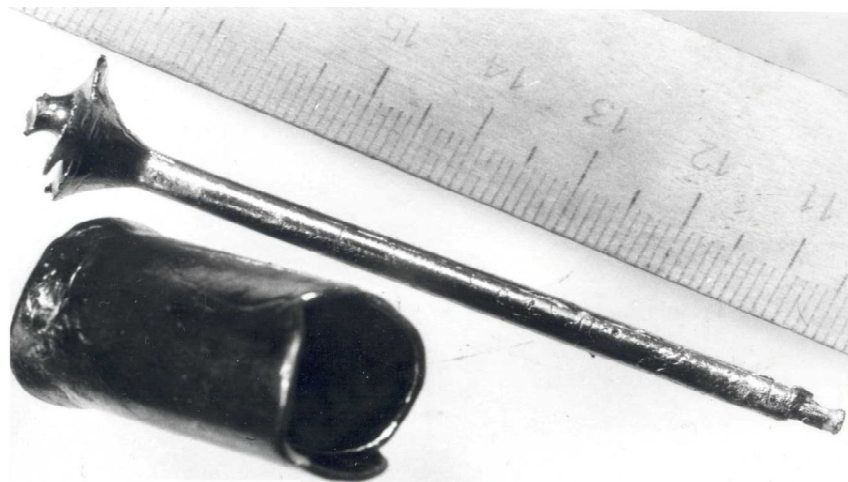
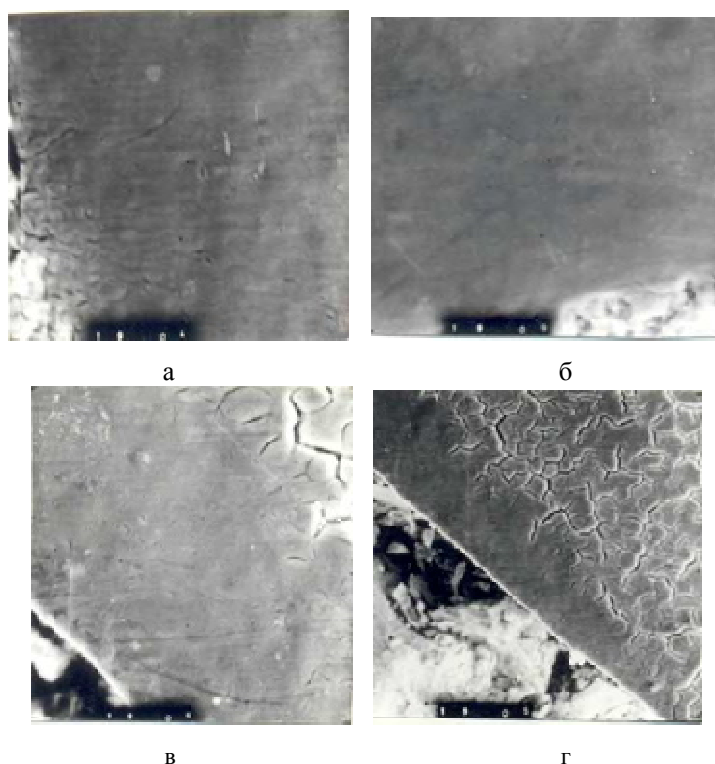


Рис. 2. Образцы с аморфной структурой для обработки электромагнитными колебаниями

Результаты исследований и их обсуждение. Толчком для развития импульсной технологии послужило интенсивное применение импульсных воздействий, характеризуемых прерывистой посылкой отдельных порций электрической энергии к объекту обработки. Нарастание энергии и мощности импульса тока, требуемое для обработки материалов электромагнитными колебаниями, вызвало поиск новых схем и конструкций генераторов импульсных токов. Обработка материалов заключается в пропускании мощного импульса тока длительностью меньше 10^{-3} с. В связи с кратковременностью теплового воздействия на материал данный метод представляет определенный интерес для аморфных материалов, обладающих ограниченным интервалом температурной стабильности. Температура, вызванная импульсным полем, в 1,6 раза больше, чем от действия стационарным синусоидальным полем.

Прочность аморфных сплавов может быть увеличена за счет образования мелкодисперсных частиц кристаллической фазы. Отжиг аморфного сплава $\text{Cu}_{60}\text{Zr}_{40}$ при 425°C в течение 15 мин приводит к повышению прочности на 25 % [4]. Изготовление прессованных заготовок из быстроохлажденных пленок позволяет увеличить предел прочности на 10 % по сравнению с такими же показателями, полученными на заготовках из прессо-

ванных порошков. При анализе микроструктурных изменений в зависимости от скорости охлаждения практически игнорируется известный для кристаллизации переохлажденных слитков факт, что неравновесное затвердевание сопровождается накоплением внутренних напряжений, которые могут инициировать протекание вторичных процессов перестройки структуры. Разные значения размеров нанокристаллов для разных вариантов кристаллизации определяются механизмом зарождения и структурой межфазной границы, а также структурой аморфной матрицы [1]. Аморфно-нанокристаллические композиты состоят из двух фаз – аморфной, играющей роль матрицы, и нанокристаллической, представленной в виде отдельных нанокристаллитов. Аморфно-нанокристаллическая структура, в которой границы между нанокристаллами размыты, характеризуется высокой прочностью. Пластичность таких композитов выше, чем в аморфном или в обычном поликристаллическом состоянии. Нанокристаллы демонстрируют снижение напряжения по мере снижения размера зерна в нанокристаллическом диапазоне [2]. По сравнению с микрокристаллическими сплавами, полученными на первой стадии кристаллизации аморфных сплавов, быстрозакаленные кристаллические сплавы отличаются более крупным зерном, меньшим разнообразием метастабильных промежуточных фаз. Аморфный сплав содержит высокую концентрацию готовых закалочных центров и потому способен кристаллизироваться при низких температурах, когда кинетически невозможно образование зародышей. Кроме закалочных центров в аморфных сплавах образуются термически активируемые зародыши. При электроимпульсной обработке (ЭИО) происходит резкое изменение микроструктуры, причем изменение структуры идет от сердцевины (рис. 3).



**Рис. 3. Изменение структуры аморфного сплава после ЭИО:
а, б – исходная структура, в, г – после обработки электромагнитными колебаниями X 3000**

Резюме. Эффективность использования воздействия импульсного тока на аморфные сплавы связана с высокой температурой, давлением и малым временем, т. е. при совершении работы происходит непосредственное использование электромагнитной энергии. При этом скорость нагрева и охлаждения на несколько порядков превышает соответствующие значения, получаемые с помощью традиционных методов нагрева.

Энергия импульса зависит от величины напряжения и емкости конденсатора. Увеличение емкости и индуктивности разрядного контура не всегда приводит к увеличению крутизны фронта импульса. Большое влияние на эффективность измельчения оказывает частота следования импульсов. Исследование показало, что при импульсной обработке идет неравномерное структурообразование. Первоначально появляется крупнозернистая структура, которая перемещается от сердцевины к поверхности, затем идет зона мелкозернистой структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андриевский, Р. А.* Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. Ч. 1. Особенности структуры. Термодинамика. Фазовые равновесия. Кинетические явления / Р. А. Андриевский, А. М. Глезер // Физика металлов и металловедение. – 1999. – Т. 88. – № 1. – С. 50–73.
2. *Андриевский, Р. А.* Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. Ч. 2. Механические и физические свойства / Р. А. Андриевский, А. М. Глезер // Физика металлов и металловедение. – 2000. – Т. 89. – № 1. – С. 91–112.
3. *Ковнеристый, Ю. К.* Физико-химические основы создания аморфных металлических сплавов / Ю. К. Ковнеристый, Э. К. Осипов, Е. Н. Трофимова. – М. : Наука, 1983. – 144 с.
4. *Megnsar, J. J.* Ун: IEEETrans / J. J. Megnsar, F. E. Luborsky, J. L. Walter // Magn. – 1977. – Vol. 13. – P. 988–991.