

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СПЛАВОВ ПРИ БЫСТРОЙ ЗАКАЛКЕ ИЗ РАСПЛАВОВ

М. Н. Верещагин¹, М. Ю. Целуев², С. Н. Целуева¹

¹*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

²*Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель*

Большинство используемых на практике металлических материалов не находятся в термодинамическом равновесии. Возможность получения металлов и сплавов в метастабильном состоянии является одним из эффективных средств направленного воздействия на их физико-химические свойства. Предельным случаем термодинамической неустойчивости твердых металлов и сплавов является их некристаллическое, или аморфное, структурное состояние.

Твердое металлическое вещество с атомно разупорядоченной структурой получают «замораживанием» расплава, т. е. охлаждением его со скоростями, при которых процессы зарождения и роста кристаллических зародышей не успевают получить достаточного развития.

С точки зрения кинетики кристаллизации возможность образования аморфной структуры металлического сплава определяется частотой образования способных к росту зародышей кристаллической фазы, скоростью роста кристаллов и скоростью охлаждения расплава. Частота зарождения и скорость роста кристаллов определяются физико-химическими свойствами сплава, а скорость охлаждения – теплофизическими условиями его затвердевания.

Согласно теории Джонсона–Мела–Аврами [1] относительное количество X малой доли кристаллической фазы, образовавшейся за время t , в предположении постоянства частоты гомогенного зародышеобразования и роста сферических кристаллов определяется выражением

$$X = \frac{\pi}{3} I_{\text{гом}} U_k^3 t^4, \quad (1)$$

где $I_{\text{гом}}$ – частота гомогенного образования критического зародыша кристаллической фазы; U_k – скорость роста кристалла.

Из уравнения (1) получена зависимость для определения времени, необходимо-го при образовании заданного количества кристаллической фазы:

$$t = \frac{9,3\eta(T)}{kT} \sqrt[4]{\frac{a_0^9 X}{f^3 N} \frac{\exp\left(\frac{1,07}{T_{\text{от}}^3 \Delta T_{\text{от}}^2}\right)}{\left(1 - \exp\left(-\frac{\Delta T_{\text{от}} \Delta H_{\text{пл}}}{RT}\right)\right)^3}}, \quad (2)$$

где $\eta(T)$ – динамический коэффициент вязкости; a_0 – средний атомный диаметр компонентов сплава; $\Delta T_{\text{от}}$ – относительное переохлаждение; $\Delta H_{\text{пл}}$ – молярная теплота плавления; k – постоянная Больцмана; f – относительное количество узлов на поверхности растущего кристалла, в которых может происходить присоединение атомов из жидкости; $T_{\text{от}}$ – относительная температура; N – объемная концентрация атомов.

Равенство (2) позволяет построить зависимости температура–время–превращение (ТВП). Форма ТВП-диаграмм определяется конкурированием двух процессов, действующих в противоположных направлениях: увеличением движущей силы процесса кристаллизации с ростом переохлаждения и снижением подвижности атомов.

ТВП-диаграммы и кривые охлаждения были построены для сплавов следующих систем: Fe–Ni–Co–Cr–Mo–B–Si, Fe–Ni–Cr–Mo–Mn–Al–B–C, Fe–Al–P–C при спиннинговании их расплавов. Анализ кривых ТВП показал, что первые два сплава стали полностью аморфными в процессе спиннингования расплава при толщине изделия около 75 мкм. Наиболее легко аморфизирующимся сплавом является Fe–Al–P–C, для которого полностью аморфное изделие возможно при толщине более 200 мкм.

Литература

1. Аморфные металлические сплавы / под ред. Ф. Е. Люборского ; пер. с англ. – М. : Металлургия, 1987. – 584 с.
2. Дэвис, Г. А. Методы быстрой закалки и образование аморфных металлических сплавов / Г. А. Дэвис // Быстрозакаленные металлы : сб. науч. тр. / под ред. Б. Кантора ; пер. с англ. под ред. А. Ф. Прокошина. – М. : Металлургия, 1983. – С. 11–30.