

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СПЛАВОВ ПРИ БЫСТРОЙ ЗАКАЛКЕ ИЗ РАСПЛАВОВ

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

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

²Государственное 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.

Л и т е р а т у р а

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.