

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ АМОРФИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

М. Н. ВЕРЕЩАГИН, М. Ю. ЦЕЛУЕВ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь.

Современная тенденция производства автомобильных шин базируется на применении высокопрочного металлокорда, основой которого является высокопрочная латунированная проволока. Равновесный металл, который находит применение при производстве металлокорда, не всегда является оптимальным по своим свойствам. Это обуславливает необходимость разработки и применения нетрадиционных методов обработки металлов и сплавов для создания новых классов материалов с особыми характеристиками, изучения их строения и свойств. Одним из перспективных процессов, позволяющих резко повысить уровень физико-механических свойств металлических сплавов на железной основе, является быстрая закалка расплава методом спиннингования, основанном на взаимодействии струи расплава с перемещающейся поверхностью теплоприемника и позволяющим получать конечную продукцию в виде бесконечной нити толщиной 10÷100 мкм [1]. Высокая скорость охлаждения расплава позволяет зафиксировать в твердом сплаве аморфную структуру, которая определяет уникальные эксплуатационные свойства изделия.

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 [2]:

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

где $\eta(T)$ – температурная зависимость динамического коэффициента вязкости; k – постоянная Больцмана; T – температура; a – средний атомный диаметр компонентов сплава; X – относительное количество образовавшейся кристаллической фазы; f – относительное количество узлов на поверхности растущего кристалла, в которых может происходить присоединение атомов из жидкости ($f = 1$ – для плотноупакованных кристаллов; $f = 0,2\Delta T_{от}$ – для фасеточных кристаллов [2]); N – объемная концентрация атомов; $T_{от} = T/T_{пл}$ – относительная температура;

$\Delta T_{от} = \frac{T_{пл} - T}{T_{пл}}$ – относительное переохлаждение; $\Delta H_{пл}$ – молярная теплота плавления. R – универсальная газовая постоянная; $T_{пл}$ – температура плавления.

Тепловые условия формирования металлического волокна на поверхности теплоприемника при спиннинговании расплава с учетом рассмотрения процесса аморфизации как фазового перехода II рода [3], и учета неидеальности теплового контакта между теплоприемником и охлаждаемым волокном, можно определить из выражения:

$$T(x, t) = T_T + 2(T_P - T_m) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(\delta_n)}{\delta_n + \cos(\delta_n) \sin(\delta_n)} \times \cos\left(\frac{x \cdot \delta_n}{h}\right) \exp\left(-\frac{\delta_n^2 a t}{h^2}\right), \quad (2)$$

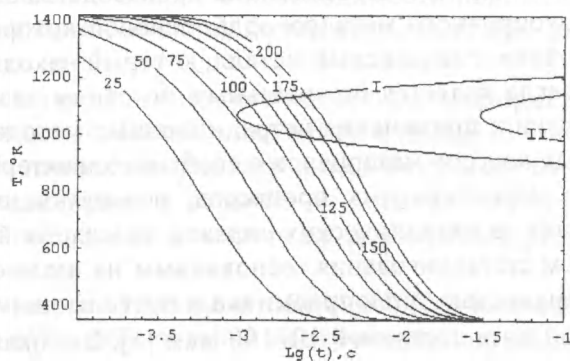
где $T(x, t)$ – температурное поле охлаждаемого волокна в линейной системе координат; x, t – переменные пространства и времени соответственно; T_T – температура теплоприемника; T_P – температура расплава; a – коэффициент температуропроводности; h – толщина волокна. δ_n – положительные корни трансцендентного уравнения:

$$\operatorname{ctg}(\delta) = \frac{\delta \lambda}{kh}, \quad (3)$$

где k – коэффициент теплопередачи по закону Ньютона; λ – коэффициент теплопроводности.

Равенство (1) позволяет построить зависимости температура–время–превращение (ТВП) и определить время, необходимое для образования заданного количества кристаллической фазы. Совместное рассмотрение равенств (1) и (2) дает связь между тепловыми условиями охлаждения и процессами структурообразования в охлаждаемом материале. Решить систему уравнений (1) и (2) в явном виде не представляется возможным, поэтому объемное содержание кристаллической фазы в быстро охлаждаемом материале волокна можно определить графически – путем наложения ТВП – диаграмм и температурно-временных зависимостей охлаждения сплава (рисунок).

Форма ТВП-диаграммы (рисунок) определяется konkurированием двух процессов, действующих в противоположных направлениях: увеличением движущей силы процесса кристаллизации с ростом переохлаждения и снижением подвижности атомов. Для получения аморфной структуры кривые, характеризующие тепловые условия охлаждения сплава, должны находиться левее линии ТВП-диаграммы. Видно, что сплав Fe–Cr–Ni–Mo–Mn–Al–B–C полностью аморфизуется толщине изделия около 75 мкм.



ТВП-диаграмма (I – II) и кривые охлаждения сплава Fe–Cr–Ni–Mo–Mn–Al–B–C при спиннинговании его расплава (I – начало кристаллизации; II – окончание кристаллизации; цифры на кривых – толщина охлаждаемых волокон, мкм)

Литература

1. Аморфные металлические сплавы / Под ред. Ф. Е. Люборского. Пер. с англ. М.: Металлургия (1987), 584
2. Дэвис Г. А. Методы быстрой закалки и образование аморфных металлических сплавов // Быстрозакаленные металлы: Сб. науч. трудов. Под ред. Б. Кантора. Пер. с англ. М.: Металлургия (1983), 11–30
3. Сверхбыстрая закалка жидких сплавов. Сб. науч. трудов / Под ред. Г. Германа. Пер. с англ. М.: Металлургия (1986)