

Из изложенного следует, что образование ЦК по варианту 1 проходит при строго определённой величине радиуса кластера и не зависит от глубины переохлаждения расплава:

$$r_k = \text{const}, \quad r_k \neq f(\Delta T).$$

В этом случае, если между скоростью охлаждения расплава и скоростью роста кластеров возникнет диспропорция в пользу скорости охлаждения, то к моменту охлаждения расплава до температуры равновесной кристаллизации ($T_{\text{кр}} = T_{\text{пл}}$), ни один из кластеров не увеличится до размера r_k и расплав будет переохлаждаться. То есть, если при $T_{\text{кр}}$ величина $r < r_k$, то при дальнейшем охлаждении температура расплава будет понижаться ниже температуры $T_{\text{кр}}$ такое время, за которое радиус кластера увеличится до значения r_k . Величину переохлаждения расплава в этом случае можно рассчитать по формуле:

$$\Delta T = W \cdot \tau_p, \quad (4)$$

где W – скорость снижения температуры переохлаждённого расплава, К/с; τ_p – время достижения кластером критического размера в переохлаждённом расплаве (в интервале температур от $T_{\text{кр}}$ до $T_{\text{кр}} - \Delta T$), с.

Время τ_p зависит, как от вязкости переохлаждённой жидкости, так и от размера кластеров (r), которые они имели к моменту достижения расплавом температуры $T_{\text{кр}}$. Если при охлаждении расплав достиг температуры $T_{\text{кр}}$ и $r = r_k$, то его кристаллизация начнётся при температуре $T_{\text{кр}}$. Если металлическая жидкость охлаждается со скоростью $W \rightarrow \infty$, либо её вязкость будет столь велика, что $\tau_p \rightarrow \infty$, то, в соответствии с (4) металл вместо кристаллической структуры приобретёт структуру аморфную, поскольку в этих случаях $\Delta T \rightarrow \infty$.

УДК 621.74.045

С.И. Репях

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

РАЗМЕРЫ КЛАСТЕРОВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Рассматривая процесс плавления металлов с позиций волновой теории и на основе квазиполикристаллической модели строения металлической жидкости, предположили, что кластеры образуются в предплавильный период без образования активированных атомов, а размеры кластеров соответствуют размерам

тепловых (акустических) фононов. Активированные атомы (разупорядоченная зона) появляются при температуре, превышающей температуру плавления металла, когда подводимая к металлу (расплаву) тепловая энергия приводит к повышению его температуры. То есть, кластер при температуре плавления – это по сути “материализованный” фонон. Исходя из этого, радиус кластеров при $T_{пл}$ рассчитывали по формуле, м:

$$r_{кл} = 1,2 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{w}{\Theta}, \quad (1)$$

где $1,2 \cdot 10^{-10}$ – коэффициент, с·К; w – скорость распространения звука в твёрдом веществе при температуре $T_{пл}$, м/с; Θ – температура Дебая, К.

В условиях динамического равновесия кластеры в расплаве существуют бесконечно долго. При этом, имея различный уровень энергетического состояния, при нагреве, в первую очередь, в разупорядоченную область металлической жидкости переходят атомы с наиболее высоким уровнем энергии. В то же время “ядро” кластеров составляют атомы, с наиболее низким энергетическим уровнем.

Для перехода из кластера в разупорядоченную зону таким атомам необходимо приобрести дополнительную энергию, которую они получают при дальнейшем нагреве расплава. Соответственно, при понижении температуры, “низкоэнергетические” атомы, теряя кинетическую энергию, являются центрами формирующихся или уже существующих кластеров, первыми встраиваются в тела растущих кластеров, образующихся кристаллических зародышей и растущих кристаллов. Предполагаемая “энергетическая” последовательность атомарного построения кластера, возможно, является причиной того, что с понижением температуры скорость его роста становится зависимой не только от температуры, но и от вязкости жидкости, и от коэффициента самодиффузии.