ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОВ И РОЛЬ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ

старший преподаватель Ризаева Нигора, доцент Сарвар Турсунбаев, магистрант Муродов Собиржон

Ташкентский государственный технический университет, 100095, ул. Университетская, 2, г. Ташкент, Узбекистан

Кристаллизация является одним из важнейших процессов, определяющих формирование структуры и свойств металлических материалов. Понимание термодинамических закономерностей, лежащих в основе фазовых превращений, позволяет управлять процессами затвердевания и получать материалы с заданными характеристиками. В этом контексте особое значение имеет энергия Гиббса, которая определяет устойчивость фаз при различных температурах.

Если вещество может существовать в виде той или иной фазы, то устойчивой будет являться та фаза, которая при данных условиях (в нашем случае — при данной температуре) будет обладать меньшей энергией Гиббса G. Условием термодинамического равновесия между твердой и жидкой фазами является равенство энергий Гиббса в этих состояниях, $G_{тв} = G_{ж}$. Температурная зависимость энергии Гиббса различна для разных фаз (рис. 1). В некоторой точке (при некоторой температуре) кривые пересекаются. Эту температуру, при которой выполняется условие $G_{тв} = G_{ж}$, называют теоретической температурой кристаллизации T_0.

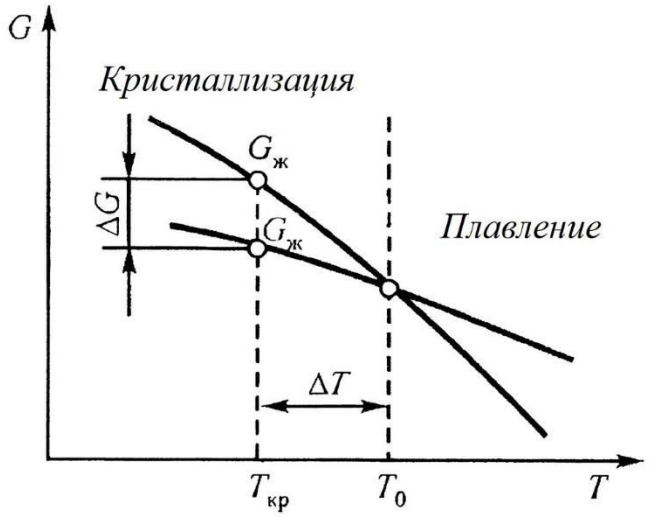


Рис. 1. Температурная зависимость свободной энергии для жидкой и твердой фаз.

При температурах выше T_0 выполняется неравенство

$G_ж < G_{тв}$, и устойчивой будет жидкая фаза.

А при температурах ниже T_0 — $G_{тв} < G_ж$, и устойчивой будет твердая фаза. Кристаллизация, как и любой другой самопроизвольный процесс, может протекать только при условии уменьшения энергии Гиббса, т.е. когда

$$\Delta G = G_{тв} - G_ж < 0.$$

Другими словами, кристаллизация не может начаться и протекать при теоретической температуре кристаллизации T_0, поскольку в этом случае $G_{тв} = G_ж$ и $\Delta G = 0$.

Для протекания кристаллизации металл необходимо переохладить относительно T_0 до некоторой температуры $T_{кр}$ (рис. 1). Разность между $T_{кр}$ и T_0 называют степенью переохлаждения $\Delta T = T_{кр} - T_0$.

Как видно из графиков на рис. 1, с увеличением степени переохлаждения (или перегрева, если речь идет о плавлении) значения ΔG становятся все более отрицательными, и вероятность протекания процесса кристаллизации увеличивается.

Таким образом, процесс кристаллизации металлов определяется термодинамическими закономерностями, в основе которых лежит изменение энергии Гиббса. Условием равновесия между жидкой и твердой фазами является равенство их свободных энергий, однако при этой температуре кристаллизация не протекает, поскольку отсутствует движущая сила процесса.Для начала и развития кристаллизации необходимо переохлаждение расплава ниже теоретической температуры кристаллизации. С увеличением степени переохлаждения разность энергий Гиббса становится отрицательной и возрастает по абсолютной величине, что повышает вероятность и интенсивность кристаллизации. Следовательно, степень переохлаждения играет ключевую роль в формировании структуры металлов, влияя на скорость зарождения и роста кристаллов. Управление этим параметром позволяет целенаправленно регулировать структуру и свойства металлических материалов.

Библиографический список

1. Албу, А. Ф., & Зубов, В. И. (2007). Математическое моделирование и исследование процесса кристаллизации металла в литейном деле. *Журнал вычислительной математики и математической физики*, *47*(5), 882-902.

2. Сдобняков, Н. Ю., Репчак, С. В., Самсонов, В. М., Базулев, А. Н., Кульпин, Д. А., & Соколов, Д. Н. (2011). О взаимосвязи размерных зависимостей температур плавления и кристаллизации наночастиц металлов. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, (5), 109-112.

3. Марукович, Е. И., & Стеценко, В. Ю. (2020). Термодинамические основы кристаллизации металлов. *Литьё и металлургия*, (2), 8-11.