

Лекция 3

Тема Лекции:

Кристаллизация металлов. Методы исследования металлов.

к.ф.-м.н., PhD, ассоциированный профессор
Тулегенова Аида Тулегенкызы

Цель лекции:

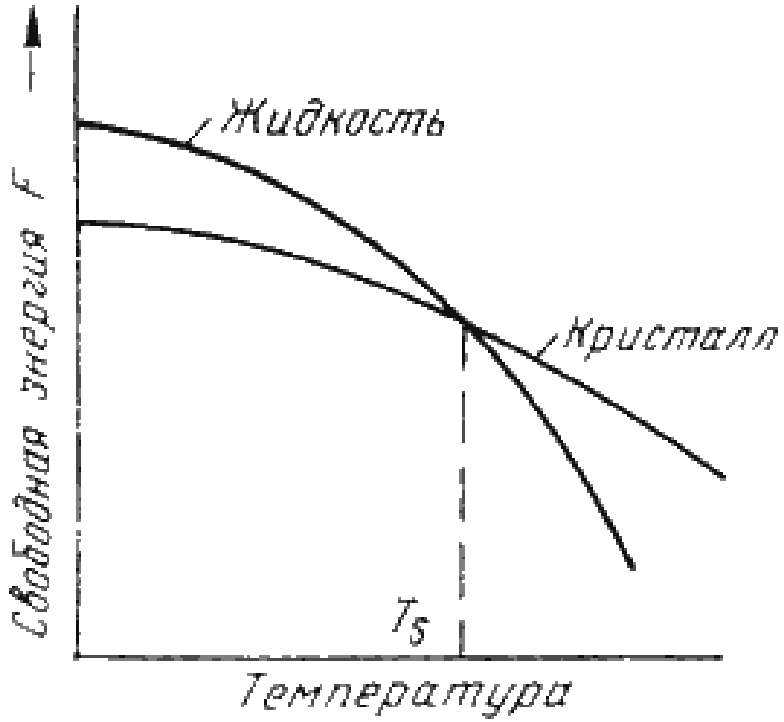
Ознакомление с процессом кристаллизации металлов, стадиями зарождения и роста кристаллов, влиянием условий охлаждения на структуру, а также с основными методами физико-химического исследования структуры и свойств металлических материалов.

Основные вопросы:

1. Механизм и закономерности кристаллизации металлов.
2. Условия получения мелкозернистой структуры
3. Строение металлического слитка
4. Определение химического состава.
5. Изучение структуры.
6. Физические методы исследования

Любое вещество может находиться *в трех агрегатных состояниях*: твердом, жидком, газообразном. Возможен переход из одного состояния в другое, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний. Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рис



В соответствии с этой схемой выше температуры T_S вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже T_S – в твердом. При температуре равной T_S жидкая и твердая фаза обладают одинаковой энергией, металл в обоих состояниях находится в равновесии, поэтому две фазы могут существовать одновременно бесконечно долго.

***Температура T_S – равновесная или теоретическая температура кристаллизации*.**

Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно при охлаждении жидкости ниже температуры T_S.

Температура, при которой практически начинается кристаллизация называется фактической температурой кристаллизации.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется переохлаждением, которое характеризуется степенью переохлаждения ΔT :

$$\Delta T = T_{жидк} - T_{кр}.$$

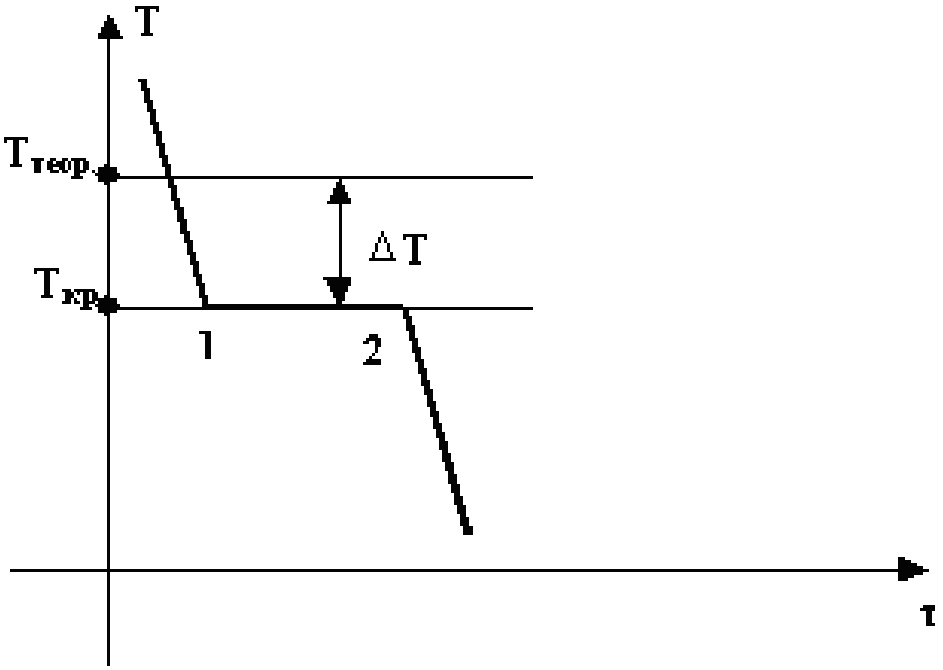
Степень переохлаждения зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждени).

Кристаллизация – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура.

Кривая охлаждения чистого металла представлена на рис



$T_{теор}$ **теоретическая температура кристаллизации**

$T_{кр}$ **фактическая температура кристаллизации**

Механизм и закономерности кристаллизации металлов

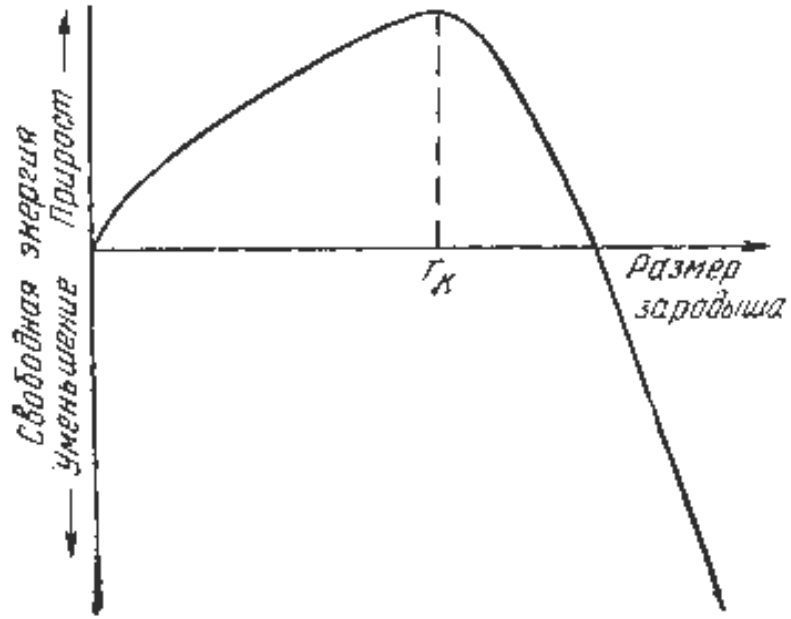
При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – *центры кристаллизации* или *зародыши*. Для начала их роста необходимо уменьшение свободной энергии металла, в противном случае зародыш растворяется.

Минимальный размер способного к росту зародыша называется *критическим размером*, а зародыш – устойчивым

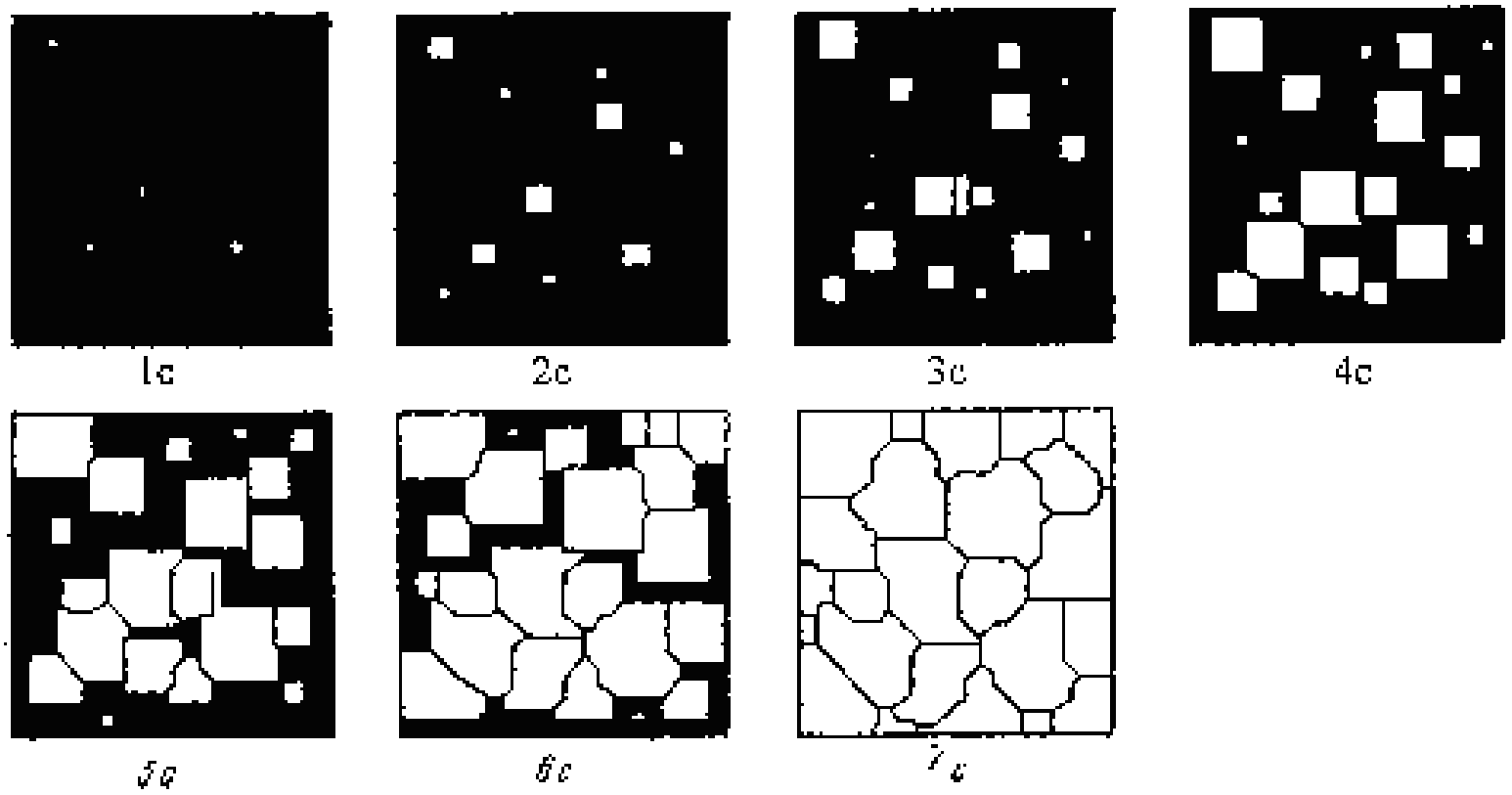
Переход из жидкого состояния в кристаллическое требует затраты энергии на образование поверхности раздела жидкость – кристалл.

Процесс кристаллизации будет осуществляться, когда выигрыш от перехода в твердое состояние больше потери энергии на образование поверхности раздела.

Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы представлена на рис



Механизм кристаллизации



Центры кристаллизации образуются в *исходной фазе* независимо друг от друга в случайных местах. Сначала кристаллы имеют *правильную форму*, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами *форма нарушается*.

Выводы лекции:

Механизм кристаллизации: Переход металла из жидкого состояния в твёрдое происходит при переохлаждении и состоит из двух этапов — образования центров кристаллизации и роста кристаллов (дендритов).

Управление зернистостью: Увеличение скорости охлаждения и введение модификаторов повышают число центров кристаллизации, формируя мелкозернистую структуру с высокими механическими свойствами.

Строение слитка: Неоднородность охлаждения формирует в металлическом слитке три характерные зоны — мелкозернистую корковую, зону столбчатых кристаллов и центральную зону равноосных зёрен.

Методы анализа и контроля: Комплексная оценка качества металлов базируется на химическом и спектральном анализе состава, макро- и микроскопии структуры, а также физических методах (рентгеноструктурном, термическом и ультразвуковом контроле).

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Что представляет собой процесс кристаллизации металлов?
2. Из каких стадий состоит кристаллизация?
3. Как влияет скорость охлаждения на размер зёрен?
4. Какие дефекты возникают при неравномерной кристаллизации?
5. Какие методы применяются для изучения структуры металлов?

Список литературных источников:

1. Улицкий А. Р. Физика материалов. — М.: Физматлит, 2021.
2. Новиков И. И. Материаловедение. — М.: Металлургия, 2019.
3. Callister W. D., Rethwisch D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. — Wiley, 2022.
4. Ashby M., Jones D. Engineering Materials 1–2. — Elsevier, 2021.
5. Лившиц Б.Г., Краношин В.С., Липеций Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980, -320 с