

деляют на *естественное*, происходящее при нормальной температуре, и *искусственное*, требующее нагрева до определенной температуры. Ориентировочно температура старения $T_{ст}$ на максимальную прочность и твердость составляет

$$T_{ст} \approx (0,5...0,6)T_{пл}$$

где $T_{пл}$ — температура плавления.

Естественное старение развивается в сплавах с низкой $T_{пл}$, например алюминиевых. В большинстве сплавов других металлов возможно в основном искусственное старение.

Деформационное старение развивается после холодной деформации при последующей выдержке при нормальной температуре и особенно при нагреве до относительно невысоких температур (например, для технического железа до 470 К). Деформационное старение возможно как в слабо пересыщенных, так и равновесных сплавах типа твердых растворов внедрения, в которых не происходит закалочное старение (например, в железе с содержанием углерода менее 0,006% и азота менее 0,01%). Механизм деформационного старения отличен от закалочного. Деформационное старение связано не с выделением какой-либо фазы, а с сегрегацией растворенного элемента на дислокациях, образовавшихся в процессе деформации. На них образуются облака Коттрелла. При последующей пластической деформации для движения дислокаций необходимо вырывание их из облаков Коттрелла. Последнее требует повышения усилий для деформирования, что и служит причиной упрочнения сплава.

Старение, вызванное предварительной пластической деформацией, называется *статическим* деформационным старением. Старение, развивающееся в процессе пластической деформации, называется *динамическим*. Условие динамического старения — определенное соотношение между скоростями деформации и диффузионным перемещением растворенных атомов. В данном случае происходит блокировка растворенными атомами дислокаций, движение которых при деформировании по каким-либо причинам замедляется, а вырывание дислокаций из облаков Коттрелла при ускорении их движения служит причиной упрочнения. Указанное выше соотношение устанавливается при определенных температурах, например для низкоуглеродистой стали в диапазоне 520...670 К. Частичное охрупчивание стали при этих температурах называется *«синеломкостью»*.

Когда распад твердого раствора завершается, в том числе и при старении, и состав исходного твердого раствора приближается к равновесному, структура сплава остается нестабильной. Это обусловлено тем, что фазовые выделения из-за разных локальных условий роста имеют различные размеры и форму, не соответствующие минимуму свободной энергии. Поэтому выделения склонны к *коагуляции* (укрупнению) и *сфероидизации* (превращению неравновесных пластинчатых и игольчатых выделений в равновесную форму, близкую к сферической).