

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Б. Г. САЗОНОВ

**ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРЕВА НА ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЮ
СТАЛИ**

(Представлено академиком И. П. Бардиным 12 X 1953)

Как установлено в работах, проведенных за последнее время в Институте физики металлов Уральского филиала АН СССР (1-4), перекристаллизация стали при нагреве представляет сложное явление, включающее фазовое превращение и рекристаллизацию аустенита, обусловленную фазовым наклепом.

Новая схема перекристаллизации стали при нагреве основывается на учете двух особенностей фазовых превращений в твердых кристаллических телах: 1) ориентационного и размерного соответствия превращающихся фаз и 2) возникновения внутренних напряжений, связанных с объемным эффектом при образовании новой фазы.

Вследствие ориентированности превращения $\gamma \rightarrow \alpha$ при закалке стали * каждое зерно аустенита превращается в кристаллографически упорядоченный комплекс кристалликов α -фазы, обуславливая появление в изломе и на макрошлифе стали площадок селективного блеска, соответствующих исходным зернам аустенита, — так называемой первичной внутризеренной текстуры (5). При последующем нагреве стали превращение $\alpha \rightarrow \gamma$ осуществляется также закономерно ориентированно: кристаллографически упорядоченный комплекс α -кристалликов в объеме исходного аустенитного зерна превращается в критическом интервале температур в комплекс ориентированных γ -кристалликов в том же объеме, обуславливая появление так называемой вторичной внутризеренной текстуры.

В вышеупомянутых работах показано, что исчезновение внутризеренной текстуры при нагреве и переход к мелкокристаллическому излому стали происходит благодаря рекристаллизации аустенита, обусловленной фазовым наклепом при температуре, значительно превышающей фазовый переход.

Наблюдения за степенью проявления вторичной внутризеренной текстуры, характеризующей степень выраженности ориентационных связей превращающихся фаз при нагреве стали, показали, что она существенно зависит от скорости нагрева. На рис. 1 (на вклейке к стр. 795) представлены изломы конструкционной стали марки 40ХС следующего состава в %: С 0,41; Мп 0,35; Si 1,44; Cr 1,41; Ni 0,03; S 0,01; P 0,017.

* Распад аустенита происходит кристаллографически упорядоченно не только при больших переохлаждениях (мартенситное превращение), но и при малых — видманштеттова структура; при средних же переохлаждениях ориентационные связи, очевидно, слабо проявляются, признаком чего является такая структурная форма распада аустенита, как сфероидальный троостит.

Предварительно образцы этой стали размером $10 \times 10 \times 60$ мм были нагреты на 1300° и закалены в масле. Затем две партии образцов нагревались в интервале температур $700\text{--}1200^\circ$ со скоростью $\sim 3^\circ/\text{мин}$ и $\sim 200^\circ/\text{мин}$ и закалялись в воде. Излом образцов производился при температуре жидкого азота.

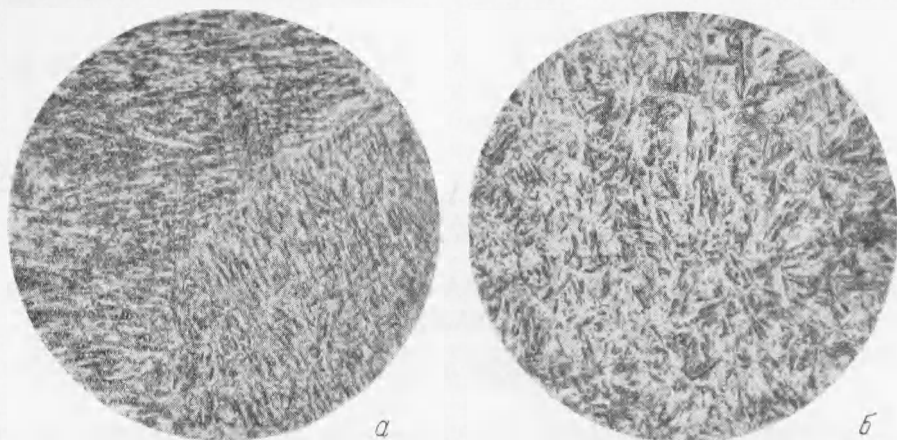


Рис. 2. Микроструктура образцов, представленных на рис. 1; $\times 380$

На рис. 1 *a* представлен излом от 1-й партии образцов, нагревавшихся медленно с печью ($\sim 3^\circ/\text{мин}$), а на рис. 1 *б* — излом от 2-й партии образцов, нагревавшихся быстро, путем посадки образца в разогретую печь ($\sim 200^\circ/\text{мин}$); оба образца нагревались до одной и той же температуры 920° , т. е. выше критической точки A_{c3} .

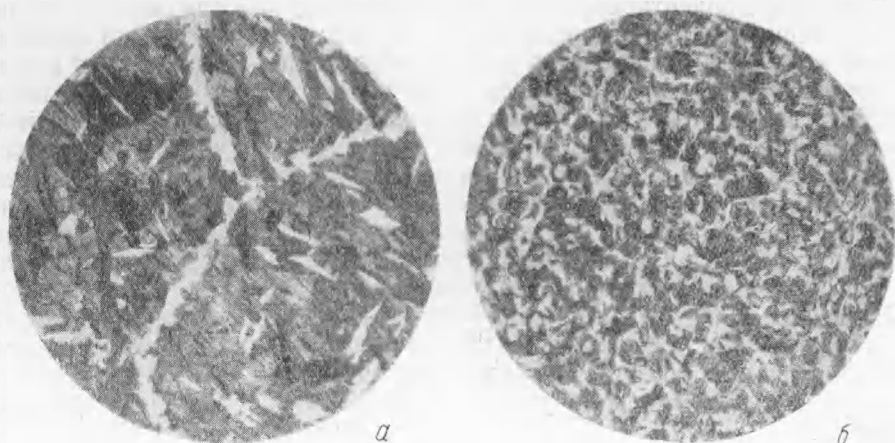


Рис. 3. Микроструктура образцов стали 40ХС, предварительно закаленной от 1300° в масле. *a* — медленный нагрев ($3^\circ/\text{мин}$) до 920° и охлаждение с печью; *б* — быстрый нагрев ($200^\circ/\text{мин}$) до 920° с выдержкой 15 мин. и охлаждение с печью; $\times 130$

Ясно видно, что в случае медленного нагрева получилась резко выраженная вторичная внутризеренная текстура. Фазовый переход по изменению вида изломов первой партии образцов почти не заметен. В случае же быстрого нагрева вторичная внутризеренная текстура проявляется очень слабо. Фазовый переход в этом случае по изменению вида изломов стали ясно проявляется.

Микроструктура 1-го образца (см. рис. 2 а) также ясно иллюстрирует наличие внутризеренной текстуры: мартенситные иглы имеют общую направленность в объемах, соответствующих крупным аустенитным зернам предварительного перегрева. Хаотическое расположение мелких игл мартенсита на микроструктуре 2-го образца (рис. 2 б), напротив, иллюстрирует отсутствие текстуры.

На рис. 3 а и 3 б представлены микроструктуры образцов стали 40ХС, нагретых так же, как на рис. 2, но охлажденных с печью. Ясно видно, что в случае медленного нагрева (рис. 3 а) ферритная сетка очерчивает крупные участки, внутри которых выделившийся феррит текстурирован. В случае быстрого нагрева ферритной сеткой выявляются мелкие аустенитные зерна, вероятно, не связанные ориентационно с исходным состоянием (рис. 3 б). Таким образом, очень медленный нагрев стали благоприятствует закономерно ориентированному — кристаллографически упорядоченному превращению; несколько повышенные скорости нагрева приводят к нарушению ориентационных связей превращающихся фаз — к дезориентированному неупорядоченному образованию аустенита.

Интересно, что переход к весьма большим скоростям нагрева (порядка $100^\circ/\text{сек}$ и выше) приводит снова к образованию ярко выраженной вторичной внутризеренной текстуры. На рис. 4 (на вклейке к стр. 795) представлен излом образца стали 40ХС, нагретого со скоростью $300^\circ/\text{сек}$ на 950° пропусканием электрического тока и закаленного в воде (излом производился при температуре жидкого азота). На изломе видна резко выраженная вторичная внутризеренная текстура. Излом стали при фазовом превращении в этом случае совершенно не изменяется. Это указывает на то, что при большой скорости нагрева фазовое превращение также происходит кристаллографически упорядоченно. Весьма вероятно, что в этом случае превращение осуществляется бездиффузионным механизмом, которому, как известно из работ Г. В. Курдюмова, присуще весьма совершенное ориентационное соответствие превращающихся фаз.

Таким образом, при малой скорости нагрева и при весьма большой скорости нагрева образование аустенита в данной стали происходит закономерно ориентированно; при средних же скоростях нагрева аустенит образуется преимущественно дезориентированно по отношению к исходному состоянию. При закономерно ориентированном образовании аустенита кристаллический излом стали претерпевает основное изменение не при фазовом превращении, а в процессе рекристаллизации аустенита, обусловленной фазовым наклепом, — при температурах нагрева, значительно превышающих критическую точку A_{c3} . При дезориентированном образовании аустенита кристаллический излом стали основное изменение претерпевает при фазовом превращении.

Естественно, что в производственных условиях при термообработке крупных стальных изделий, нагреваемых медленно, нередко можно столкнуться со случаем закономерно ориентированного фазового превращения, вследствие чего оно не приводит к действительной перекристаллизации стали*. В лабораторных же условиях, когда небольшие образцы нагреваются сравнительно быстро путем посадки их в разогретую печь, фазовое превращение сопровождается перекристаллизацией стали.

Конкретные значения скорости нагрева для той или иной стали, при которых закономерно ориентированное образование аустенита уступает место дезориентированному и, наоборот, определяется, очевидно, их химическим составом, а вероятно, также исходной структурой.

В заключение следует отметить большую аналогию в зависимостях ориентационных связей превращающихся фаз при нагреве и при охлаждении стали, соответственно, от скорости нагрева и охлаждения.

* Перекристаллизация стали здесь понимается в металлографическом смысле как исправление микроструктуры и вида излома стали.

Автор выражает признательность проф. В. Д. Садовскому за ценные советы при проведении данной работы.

Институт физики металлов
Уральского филиала
Академии наук СССР

Поступило
12 X 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. А. Малышев, В. Д. Садовский, Б. Г. Сазонов, ДАН, 76, № 1 (1951).
² В. Д. Садовский, К. А. Малышев, Б. Г. Сазонов, Сборн. Промышленное применение токов высокой частоты, 1952. ³ В. И. Архаров, Ю. Д. Козманов, ДАН, 69, № 1 (1949). ⁴ В. Д. Садовский, К. А. Малышев, Б. Г. Сазонов, Изв. АН СССР, ОТН, № 1, 68 (1953). ⁵ В. И. Архаров, Кристаллография закалки стали, 1951, стр. 135.