

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

К. А. МАЛЫШЕВ, В. Д. САДОВСКИЙ и Б. Г. САЗОНОВ

**РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ АУСТЕНИТА, ОБУСЛОВЛЕННАЯ  
ВНУТРЕННИМ НАКЛЕПОМ**

(Представлено академиком И. П. Бардиным 3 XI 1950)

Согласно принципу Кюри — Гиббса — Вульфа, внешняя форма растущего кристалла должна отвечать минимуму поверхностной энергии (<sup>1</sup>). При фазовых превращениях в анизотропной среде не только форма, но и ориентировка кристалликов новой возникающей фазы зависят от векториальных свойств среды. Кристаллическая решетка новой фазы ориентируется по отношению к решетке материнской фазы таким образом, что сходные по расположению атомов плоскости оказываются параллельными (<sup>2</sup>).

Иллюстрацией принципа ориентационного соответствия при фазовых превращениях служит закономерная ориентировка продуктов превращения аустенита при охлаждении стали: мартенсита, феррита и цементита относительно исходной кристаллической решетки аустенита (<sup>3, 4</sup>). В результате ориентированности превращения  $\alpha \rightarrow \gamma$ , каждое монокристальное зерно аустенита превращается при охлаждении в кристаллографически упорядоченный комплекс кристалликов  $\alpha$ -фазы, обусловливая тем самым появление внутризеренной текстуры. При металлографических исследованиях внутризеренную текстуру  $\alpha$ -фазы легко наблюдать в изломах перегретой, крупнозернистой стали по селективному блеску, характерному для кристаллографически упорядоченных областей, соответствующих исходным крупным зернам аустенита. В практике такой вид излома носит название «нафталинистого».

Принцип ориентационного соответствия по своей физической природе является универсальным и, очевидно, приложим не только к фазовым превращениям при охлаждении, но в равной мере и при нагреве стали.

Доказательством этого может служить полное воспроизведение внутризеренной текстуры при повторных перекристаллизациях стали, установленное в прежних работах одного из авторов (<sup>5, 6</sup>) и подтвержденное рентгенографическими исследованиями В. И. Архарова и Н. А. Питаде (<sup>7</sup>).

Образцы хромо-марганцовистой стали марки ХГ (C — 1,44; Mn — 0,62; Cr — 1,29; Si — 0,22) предварительно закаливались от 1200° в масле и охлаждались в жидким азоте для получения крупной внутризеренной текстуры и затем подвергались вторичному нагреву (пропусканием тока) до различных температур со скоростью 100° в сек. с последующим охлаждением в воде.

Рассмотрение изломов и осциллограмм нагрева, приведенных на рис. 1 и 2, в сопоставлении с высокой твердостью и температурными остановками на осциллограммах, не оставляет сомнения в том, что фазовое превращение  $\alpha \rightarrow \gamma$  при вторичном нагреве совершается при 745°,

между тем внутризеренная текстура, соответствующая прежнему крупному зерну аустенита, полученному при закалке от  $1200^\circ$ , полностью воспроизводится при вторичной закалке не только от  $745^\circ$ , но даже от

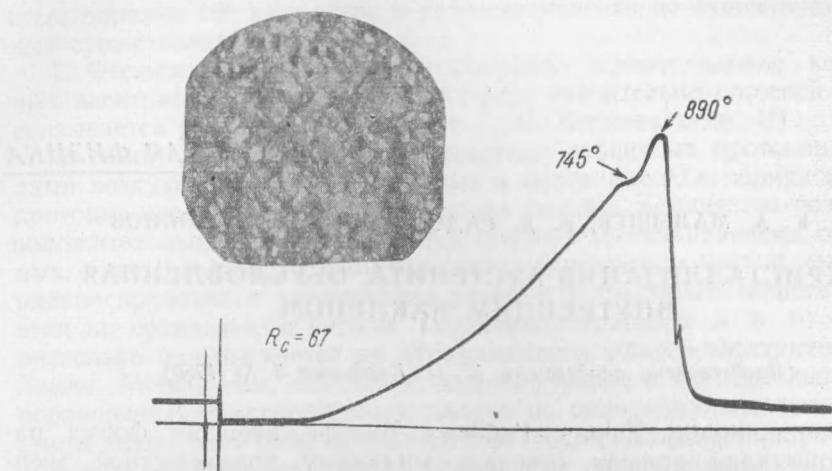


Рис. 1. Осциллограмма процесса нагрева и вид излома образца после закалки от  $890^\circ$

$890^\circ$  (рис. 1). Это подтверждает сделанное ранее заключение об ориентированности превращения  $\alpha \rightarrow \gamma$  при нагреве. Сравнение изломов, приведенных на рис. 1 и 2, показывает, что устранение первичной крупной

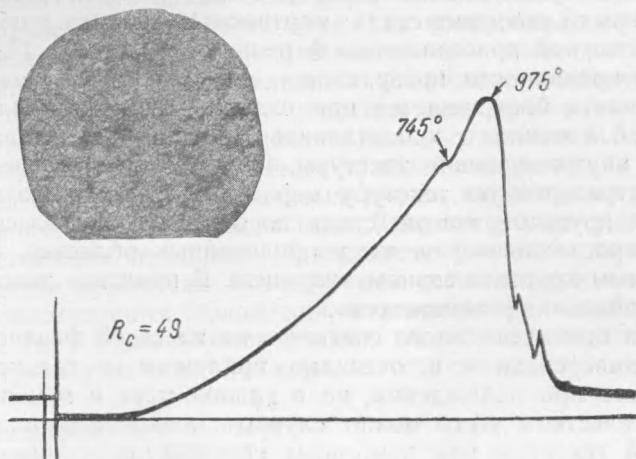


Рис. 2. То же для образца, закаленного от  $975^\circ$

внутризеренной структуры происходит только при закалке от  $975^\circ$ , т. е. на  $230^\circ$  выше температуры превращения  $\alpha \rightarrow \gamma$ , при этом излом теряет свой крупнозернистый характер и переходит в мелкокристаллический. Ликвидация старой внутризеренной структуры и переход к кристаллическому излому, не обнаруживающему более какой-либо кристаллографической связи с прежними крупными зернами, обусловлены рекристаллизацией мелких зерен аустенита, образовавшихся в результате фазового превращения  $\alpha \rightarrow \gamma$ .

Причиной этой рекристаллизации является внутренний наклеп, приобретаемый новыми зернами аустенита при нагреве через критическую

точку  $A_{c1}$ , в связи с объемными изменениями, сопровождающими перекристаллизацию из  $\alpha$  в  $\gamma$ . При нагреве до более высоких температур, новые рекристаллизованные зерна растут в результате обычной собирательной рекристаллизации, что отражается в постепенном укрупнении кристаллического излома закаленных образцов.

Таким образом фазовое превращение  $\alpha \rightarrow \gamma$  происходит ориентированным путем, поэтому перекристаллизации и образования новых зерен аустенита еще недостаточно для устранения прежней внутризеренной текстуры: кристаллографические связи нового зерна аустенита со старой текстурой ликвидируются только в результате процесса рекристаллизации наклепанных аустенитных зерен, которая не совпадает с моментом фазового превращения и, при данных условиях нагрева ( $100^\circ$  в сек.), заканчивается при температуре более чем на  $200^\circ$  выше. Необходимо отметить, что возможность внутреннего «самонаклева» аустенита, обусловленного объемными изменениями при переходе  $\alpha \rightarrow \gamma$ , была указана очень давно А. А. Бочваром<sup>(8)</sup>.

Микроскопическая картина механизма фазовых превращений, наблюдаемая при быстром нагреве закаленной стали той же марки ХГ (дополнительно легированной никелем) с исходной структурой, состоящей из мартенсита и аустенита, представляется в следующем виде.

В области температур, лежащих не слишком высоко над критической точкой, где фазовое превращение  $\alpha \rightarrow \gamma$  уже завершилось, но рекристаллизация новых зерен аустенита еще не прошла, даже тщательное микроскопическое исследование не позволяет обнаружить новых зерен аустенита на месте мартенситных игл, что связано, очевидно, с очень малыми размерами возникающих зерен и близостью их ориентировки к ориентировке окружающего их аустенита.

При более высоких температурах нагрева в отдельных участках бывших мартенситных игл появляются небольшие зерна аустенита, хорошо выявляемые травлением и отчетливо видимые под микроскопом, из чего следует заключить, что в этих местах уже прошла рекристаллизация, в результате которой рекристаллизованные зерна утратили ориентационную связь с исходными иглами мартенсита и окружающим аустенитом (рис. 3):

В других участках бывших мартенситных игл, претерпевших меньший наклеп при фазовом превращении  $\alpha \rightarrow \gamma$ , рекристаллизованных зерен не наблюдается и эти участки заполнены, очевидно, еще перекристаллизованными мелкими зернами аустенита, сохраняющими ориентировку, близкую к окружающему их аустениту (рис. 3). На следующем этапе повышения температуры нагрева рекристаллизованные зерна аустенита распространяются за пределы бывших мартенситных игл и рекристаллизация продолжается дальше, за счет поедания этими зернами окружающего остаточного аустенита, решетка которого, повидимому, слегка деформирована при первой закалке (рис. 4) (см. вклейку на стр. 40).

Процесс рекристаллизации аустенита заканчивается смыканием границ рекристаллизованных зерен, далее следует собирательная рекристаллизация, сопровождающаяся ростом зерна в соответствии с повышением температуры нагрева.

### Заключение

Оrientационное соответствие при фазовых превращениях в кристаллических телах полностью проявляется в механизме превращений при нагреве стали, так же как и в превращениях при охлаждении.

Процесс перекристаллизации при нагреве стали представляет сложное явление, включающее фазовое превращение, рекристаллизацию и рост зерна.

Образующийся при нагреве выше критических точек аустенит претерпевает внутренний наклеп, обусловленный сопровождающими его образование объемными изменениями.

Этот внутренний наклеп приводит к рекристаллизации аустенита, за которой следует обычный рост зерна (собирательная рекристаллизация).

Институт физики металлов  
Уральского филиала Академии наук СССР

Поступило  
2 XI 1950

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Я. С. Уманский, Б. Н. Финкельштейн и М. Е. Блантер, Физические основы металловедения, Металлургиздат, 1949. <sup>2</sup> С. Т. Конобеевский, Изв. АН СССР, сер. химич., № 5, 1209 (1937). <sup>3</sup> Г. Курдюмов, Вестн. металлопромышленности, 9, 20 (1932). <sup>4</sup> Metals Technology, 4 (1937). <sup>5</sup> К. А. Малышев, Тр. 2-й Всесоюзн. конференции по термообработке, Л., 1941. <sup>6</sup> К. А. Малышев, Тр. Ин-та физ. металл. УФАН, в. 12 (1949). <sup>7</sup> В. И. Архаров и Н. А. Питадзе, там же, в. 8 (1946). <sup>8</sup> А. А. Бочвар, Основы термической обработки сплавов, Цветметиздат, 1932, стр. 79—80.