

УДК 536.424.1+536.4.032

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. В. БУРДИН, академик АН УССР В. Н. ГРИДНЕВ, В. Н. МИНАКОВ,
В. И. ТРЕФИЛОВ

К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗОВАНИИ АУСТЕНИТА НИЖЕ A_1 (723°C) ПРИ УСКОРЕННОМ НАГРЕВЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Проблема образования аустенита неоднократно привлекала внимание металловедов. Особый интерес был проявлен к изучению процессов аустенитообразования при высоких скоростях нагрева, с которыми приходится встречаться при различных видах электротермической обработки, интенсивных нагревах в газовых средах, при сварке стали, при высокоскоростном деформировании и т. д. Исследования процессов аустенитообразования при ускоренных нагревах оказались достаточно сложными, и многие вопросы кинетики и механизма процесса еще остаются не ясны.

В настоящей работе с использованием усовершенствованного метода скоростного рентгенографирования (^{1, 2}) с регистрацией положения максимума интерференционных линий (211) α - и (311) γ -фаз при нагреве и охлаждении в интервале скоростей $\sim 100^\circ$ в 1 мин. исследовались процессы образования аустенита в чистом железе и углеродистых сталях в отожженном, деформированном и закаленном исходных состояниях.

Карбоильное железо вакуумной плавки содержало $4 \cdot 10^{-3}\%$ С и Mn; Cr, Si, Ni меньше 0,01%. Сталь 30 имела 0,30% С, 0,26% Mn, $\sim 0,01\%$ Cr и 0,06% Si; сталь У8 — 0,85% С, 0,17% Mn и 0,1% Ni. Прокатка образцов осуществлялась при комнатной температуре.

На рис. 1 представлены дилатограммы нагрева сталей в различных исходных состояниях. Обработка результатов рентгенографирования представлена на рис. 2. Экспериментальные данные показывают, что температура появления линии (311) γ -фазы при нагреве углеродистых сталей и чистого железа, независимо от исходного состояния, в пределах точности эксперимента совпадает с началом сжатия на дилатометрической кривой. Исчезновение линии (211) α -фазы удовлетворительно совпадает с окончанием сжатия при нагреве.

При нагреве чистого железа, сталей 30 и У8 в отожженном состоянии температура начала образования аустенита практически совпадает со стабильной диаграммой Fe — Fe₃C (рис. 1а, 2а).

При нагреве деформированных сталей температурные интервалы превращения значительно смещаются ниже A_1 (рис. 1б, 2б).

Так, при нагреве со скоростью 100° в 1 мин. деформированных прокаткой ($\epsilon \approx 90\%$) сталей 30 и У8 первые линии γ -фазы фиксируются при 635° и 655° соответственно; поэтому, учитывая данные работ (^{3, 4}), можно утверждать, что содержание углерода в первых фиксируемых порциях γ -фазы в стали 30 0,55–0,6%, а в стали У8 — 0,8%.

Аналогичное снижение температуры образования аустенита ниже A_1 наблюдалось также при ускоренном нагреве ($\sim 100^\circ$ в 1 мин.) закаленных сталей 30 и У8 (рис. 1в, 2в). Первые порции аустенита фиксировались соответственно при 630 и 690° с содержанием углерода $\sim 0,65$ – $0,7\%$ в стали 30 и $\sim 0,8\%$ в стали У8*.

* Впервые образование метастабильного аустенита в межкритическом интервале температур при нагреве сталей с неравновесными структурами отмечалось В. Н. Гридневым в 1946 г. (¹⁶), а факт понижения начала образования аустенита ниже A_1 — С. С. Дьяченко в 1971 г. (¹⁷).

В работе (5) при медленном нагреве $\sim 1^\circ$ в 1 мин. закаленных углеродистых сталей не было обнаружено смещения интервала развития превращения ниже A_1 . Авторы (5) отмечали, что превращение развивается в соответствии с диаграммой состояния железоцементит. В наших работах (6-8) при скоростях нагрева 100° в 1 сек. и выше закаленных сталей, хотя и отмечалось понижение температуры образования первых порций аусте-

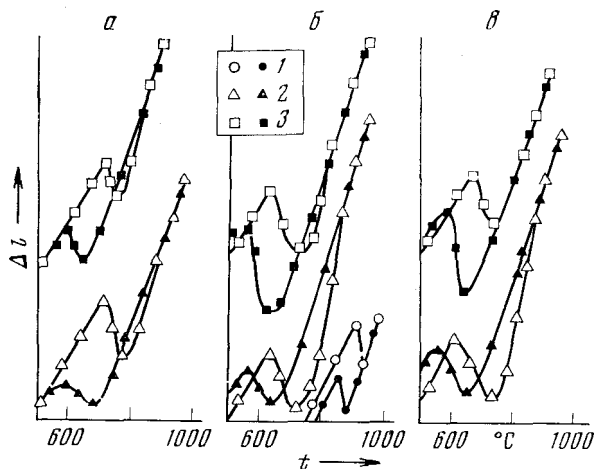


Рис. 1. Дилатометрические кривые нагрева и охлаждения сталей со скоростью 100° в 1 мин. Исходное состояние: *a* — отожженное; *б* — деформированное, $\varepsilon \approx 90\%$; *в* — закаленное. Светлые точки — нагрев, темные — охлаждение. 1 — чистое железо, 2 — сталь 30, 3 — сталь У8

нита по сравнению с отожженным состоянием, область развития аустениобразования находилась выше A_1 .

Понижение критической точки при быстром нагреве $\geq 70^\circ/\text{сек}$, с увеличением степени деформации отмечалось также в работах (9, 10) при нагреве углеродистых сталей и при нагреве деформированных сплавов железа с хромом и кремнием (11). Интересно отметить, что наиболее сильное понижение критической точки наблюдается при деформациях до 30–40%, однако в условиях скоростного нагрева в названных работах температура начала образования аустенита также всегда оставалась выше температуры фазового равновесия A_1 (723°).

Понижение температуры начала образования аустенита ниже A_1 равновесной диаграммы Fe — Fe₃C при нагреве закаленных и деформированных сталей может быть связано с тем, что метастабильная диаграмма, по которой развивается превращение, существенно отличается от равновесной в связи с сохранением некоторой избыточной энергии перед началом фазового превращения.

В работе (12) экспериментально показано, что, несмотря на интенсивное развитие релаксационных процессов при быстром нагреве деформированных образцов сталей, определенная доля остаточной энергии деформации сохраняется в образце вплоть до температуры начала образования аустенита.

Понижение инструментально наблюдаемой критической точки A_1 с позиций термодинамики может быть понято, если учесть результаты работ (13, 14), в которых показано, что при наличии избыточной энергии (за счет облучения, деформации или закалки) понижение точки фазового перехода изменяется в соответствии с формулой

$$\delta T_0 = T_0 \delta E / \Delta E,$$

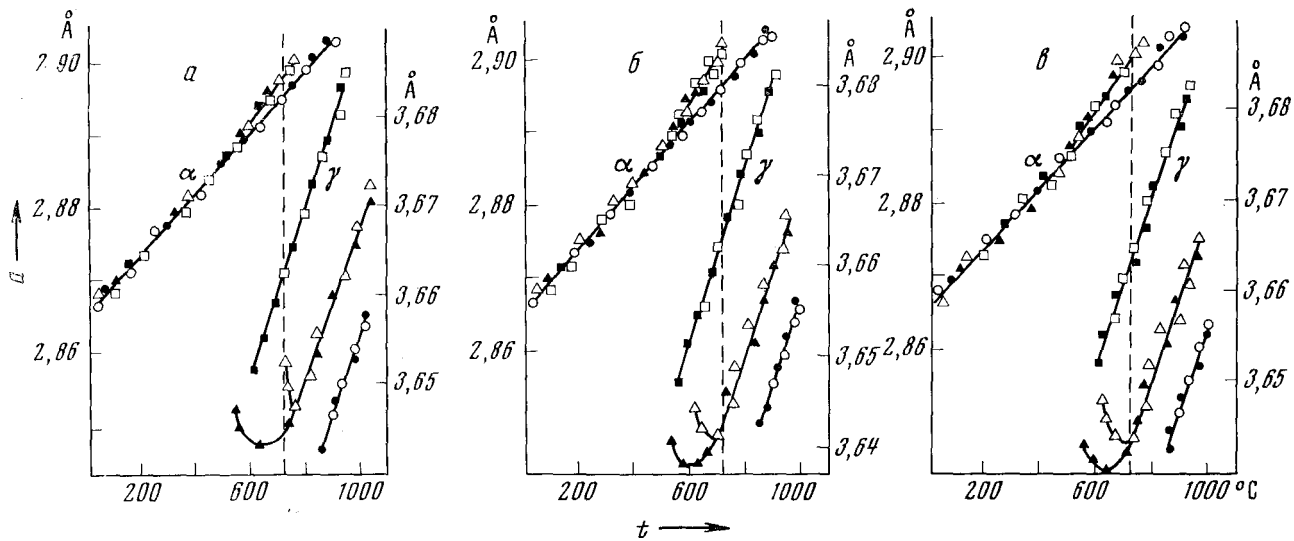


Рис. 2. Изменение параметра кристаллических решеток α - и γ -фаз при нагреве и охлаждении со скоростью 100° в 1 мин. Обозначения такие же, как на рис. 1

где δT_0 — смещение температуры термодинамического равновесия T_0 , под δE следует понимать изменение избыточной энергии неравновесной системы при фазовом превращении, ΔE — изменение внутренней энергии системы при фазовом превращении в условиях равновесия.

Для экспериментального обнаружения снижения критической точки ниже A_1 необходимы особые условия. Во-первых, необходимо сохранить запасенную энергию при нагреве до точки фазового перехода и, во-вторых, снижение A_c из-за искажений должно превышать смещение A_c в область более высоких температур из-за использования повышенных или высоких скоростей нагрева (^{6-12, 15}). Вероятно, в условиях медленного нагрева ($10-1^\circ$ в 1 мин.) процессы релаксации (для случая закаленных сталей) успевают пройти достаточно полно и, как отмечалось выше (⁵), развитие превращения происходит практически в соответствии с равновесной диаграммой Fe — Fe₃C. Зафиксировать образование аустенита ниже A_1 удается лишь в интервале скоростей нагрева $\sim 100^\circ$ в 1 мин., когда перед превращением еще сохраняются дефекты структуры (получаемые в процессе деформации или закалки), а инструментально определяемая точка превращения вследствие небольшой скорости нагрева незначительно сдвигается вверх, так что начало превращения оказывается ниже A_1 .

Институт металлофизики
Академии наук УССР
Киев

Поступило
10 VII 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Н. Гриднев, В. Н. Минаков, В. И. Трефилов, В кн. Исследование сталей и сплавов, «Наука», 1964, стр. 384. ² В. И. Трефилов, В. Н. Минаков, Авт. свид. № 175711, Бюлл. изобр., № 20 (1965). ³ В. Н. Гриднев, В. И. Трефилов, ДАН, 116, № 1, 60 (1957). ⁴ H. Esser, G. Müller, Arch. Eisenhüttenwesen, 4, 7 (1933—1934). ⁵ В. Н. Ершов, Н. Л. Осло, В сборн. Структурные и фазовые превращения при нагреве стали и сплавов, Пермь, 1969, стр. 136. ⁶ В. Н. Гриднев, В. Н. Минаков, В. И. Трефилов, ДАН, 154, № 3, 675 (1964). ⁷ В. Н. Гриднев, В. Н. Минаков, В. И. Трефилов, Укр. физ. журн., 9, № 3, 318 (1964). ⁸ В. Н. Гриднев, В. Н. Минаков, В. И. Трефилов, Вопросы физ. мет. и металловед., 18, 107 (1964). ⁹ В. Н. Гриднев, Ю. Я. Мешков, С. П. Опкадеров, В сборн. Структурные и фазовые превращения при нагреве стали и сплавов, Пермь, 1969, стр. 112. ¹⁰ В. Н. Гриднев, Ю. Я. Мешков, С. П. Опкадеров, В сборн. Механизм пластической деформации металлов, Киев, 1965, стр. 124. ¹¹ В. Н. Гриднев, В. Т. Черепин, Изв. высш. учебн. завед., Черная металлургия, 9, 169 (1963). ¹² В. Н. Гриднев, О. М. Ивасишин и др., Металлофизика, в. 36, Киев, 1971, стр. 49. ¹³ Я. Е. Гегузин, Физ. мет. и металловед., 7, № 1, 72 (1959). ¹⁴ N. Balazny, M. P. Schenk, Phys. Stat. Sol., 17, № 1, 91 (1966). ¹⁵ Ю. Я. Мешков, Вопросы физ. мет. и металловед., 18, 90 (1964). ¹⁶ В. Н. Гриднев, Фазовые и концентрационные изменения при нагреве сплавов эвтектичного типа, Докторская диссертация, Киев, 1946. ¹⁷ С. С. Дьяченко, Закономерности фазовой и структурной перекристаллизации при нагреве стали, Докторская диссертация, Днепропетровск, 1970.