

УДК 669.14.017.3:541.12.017

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

К. П. БУНИН, Б. Ф. МАРЦИНИВ, Н. И. РЕПИНА, А. И. ЯЦЕНКО

**О ПЕРИТЕКТИЧЕСКОМ ПРЕВРАЩЕНИИ В СТАЛЯХ**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 7 VI 1971)

Моделирование перитектического превращения на легкоплавких системах (<sup>1-4</sup>) недостаточно для характеристики его структурных и концентрационных особенностей в сталях. Мы получили информацию о перитектической кристаллизации путем закалочно-структурного исследования железоуглеродистых сплавов, легированных Al, Si и Cr. С учетом влияния легирования на перитектическое равновесие (<sup>5-7</sup>) выбран состав сплавов внутри перитектической области, в расширенной части ее температурного интервала (табл. 1).

Выплавленные из армко-железа с добавками легирующих и графита базовые сплавы мы переплавляли в кварцевых ампулах в печи Тамманна, закаливая пробы в интервале кристаллизации и ниже (в среднем от 1500 до 1260° С через 20°). Микроскопически анализировали первичную структуру и микрорентгеноспектральным эталонным методом (на установках МАР-1 и MS-46 «Самеса») определяли распределение легирующих элементов в ее составляющих.

Последовательность превращений при затвердевании исследованных сплавов сходна. Кристаллизация начиналась с образованием дендритов  $\delta$ -твердого раствора при охлаждении с печью от 1580—1600 до 1460—1440° С сплавов с Al и Si, до 1480—1460° С сплава с Cr. Остатки жидкости в дендритных междуветвьях переходили при закалке в аустенит (мартенсит) со следами мелких «закалочных» дендритов. Ветви  $\delta$ -дендритов в основном оставались непревращенными; но закалкой не удавалось подавить в них после затвердевания превращение  $\delta \rightarrow \gamma$  с образованием одиночных пластинчатых аустенитных участков.

Образование перитектического аустенита до закалки зафиксировано при охлаждении сплавов с Al и Si до 1420—1400° С, с Cr — до 1460° С. Оно начиналось на отдельных участках границы жидкости и  $\delta$ -фазы, наиболее интенсивно в «устьях» сближающихся дендритных ветвей. Преимущественный рост аустенита на начальных этапах перитектического превращения

Таблица 1

№ сплава	Содержание, %			Температура закалки, °С	Локальные содержания легирующих		
	С	легирующие элементы			в феррите осевых участков ветвей дендритов	в аустенитном ободке вокруг ветвей дендритов	в «закаленной жидкости» междуветвий
1	0,71	Al	3,54	1420	3,8	3,7	3,2
				1400	3,9	3,9	3,2
2	0,48	Si	5,42	1350	5,05	5,3	6,3
				1320	5,5	5,75	6,4
				1260	6,5	5,3	7,0
				1460	16,2	16,4	25,1
3	0,45	Cr	17,16	1400	13,8	14,1	23,9
				1460	13,8	14,1	23,9
				1360	15,6	15,4	27,4

вдоль границы  $\delta$  — ж приводит к образованию сплошных оболочек вокруг дендритных ветвей с изоляцией непретращенной  $\delta$ -фазы от жидкости (рис. 1). После закалки при специальном травлении видны внутренние границы раздела аустенита с непретращенными сердцевинами ветвей и внешние — с жидкостью.

По мере снижения закалочной температуры аустенитные оболочки разрастались в глубь дендритных ветвей и в междуветвия. Раньше исчерпывалась жидкость в узких каналах между дендритными ветвями высокого порядка, в междендритных зонах превращение во всех сплавах затягивалось до 1380—1360°С. Помимо роста перитектического аустенита, при «закалке» наблюдалось кристаллогеометрически упорядоченное  $\delta \rightarrow \gamma$ -превращение

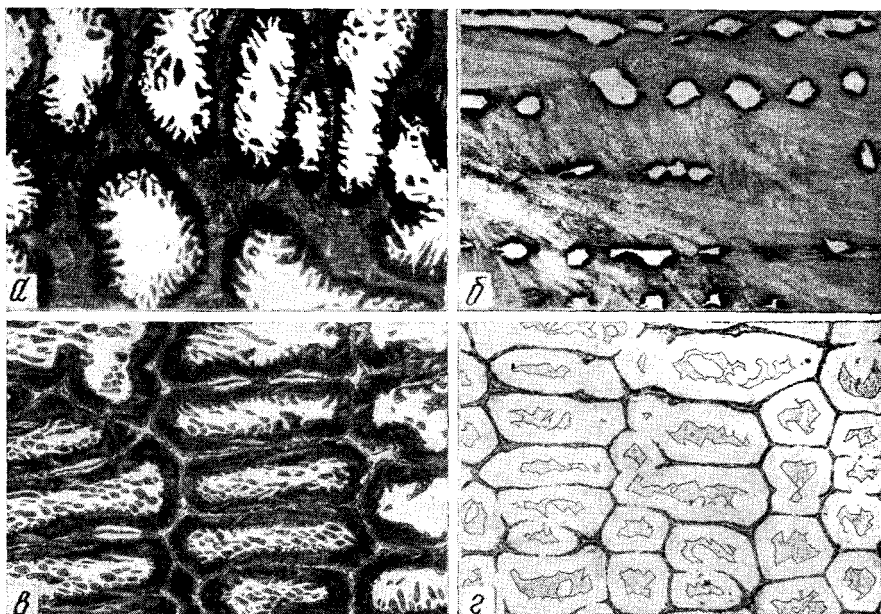


Рис. 1. Структура сплавов, закаленных в процессе непрерывного охлаждения: *a* — сплав 1 от 1400°С, *б* — сплав 1 от 1320°С, *в* — сплав 2 от 1300°С, *г* — сплав 3 от 1400°С; *a*, *б*, *в* — травлено пикратом натрия, *г* — травлено раствором 5%  $\text{FeCl}_3 + 15\% \text{HCl}$  в воде; *a*, *б* — 320  $\times$ , *в*, *г* — 200  $\times$

щение внутри дендритных ветвей, морфологически подобное аустенитизации феррита при нагреве (<sup>8</sup>).

С ликвидацией жидкости по окончании превращения  $\delta + \text{ж} \rightarrow \gamma$  пробы еще сохраняли двухфазную структуру  $\alpha + \gamma$  с изолированными ферритными участками внутри ветвей дендритов. Далее продолжалось превращение  $\delta \rightarrow \gamma$  с постепенным относительно равномерным перемещением его фронта по мере уменьшения «островков» феррита в отличие от избирательного, ориентированного роста аустенитных пластин при более высоких температурах. Включения  $\delta$ -феррита в виде четкообразных цепочек в направлении осей бывших дендритных ветвей сохранялись в аустенитизированной матрице до 1340—1300°С (рис. 1б). Скорость  $\delta \rightarrow \gamma$ -превращения в сплаве с Cr выше, а температурный интервал уже, чем в сплавах с Al и Si.

Микрорентгеноспектральный анализ исследованных сплавов обнаружил значительные различия составов  $\delta$ -феррита и жидкости. Концентрация Al в дендритах  $\delta$ -фазы выше, а Si и Cr ниже, чем в жидкости. Трансформация исходных фаз в аустенит в процессе перитектического превращения сопровождалась перераспределением не только углерода, но и легирующих элементов (табл. 1). Al и Si перераспределились сильнее, чем Cr, вероятно, из-за различий диффузивности и градиентов химического потенциала в свя-

зи с равновесными составами фаз. В условиях охлаждения, далеких от равновесия, перераспределение не было полным и перитектический аустенит на начальных стадиях превращения в значительной мере наследовал концентрационные отличия исходных фаз. С уменьшением количества непревращенного феррита концентрация легирующих элементов в нем постепенно возрастала по сравнению с аустенитом. На заключительном этапе превращения «островки» феррита значительно обогащались Si, Al и, в несколько меньшей степени, Cr. После полной аустенитизации это привело к возникновению «двойной» ликвации Si и Cr соответственно двум концентрационным максимумам в осях бывших дендритных ветвей и в междуветвях. Для Al сохранялась обратная внутрикристаллическая ликвация с понижением его концентрации от осей дендритных ветвей к периферии.

Институт черной металлургии  
Днепропетровск

Поступило  
17 V 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> D. R. Uhlmann, G. A. Chadwick, *Acta Metallurgica*, № 9, 835 (1961).  
<sup>2</sup> J. A. Sartell, D. J. Mack, *J. Inst. Met.*, 93, № 1, 19 (1964). <sup>3</sup> Я. В. Гречный, В. Н. Ипатова, *ДАН*, 185, № 5, 1079 (1969). <sup>4</sup> Я. В. Гречный, В. Н. Ипатова, *ДАН*, 185, № 6, 1320 (1969). <sup>5</sup> K. Löhberg, A. Ueberschauer, *Giessereiforschung*, № 4, 171 (1969). <sup>6</sup> W. Patterson, G. Hülsenbeck, H. A. S. Madi, *Giessereiforschung*, № 2, 49 (1968). <sup>7</sup> K. Bungardt, E. Kunze, E. Horn, *Arch. Eisenhüttenwesen*, № 3, 193 (1958). <sup>8</sup> К. П. Бунин, А. И. Яценко, В сборн. *Научн. тр. Инст. черн. металлургии*, в. 13, М., 1960.