

УДК: 669

РАСЧЁТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНОГО РОСТА ПЕРЛИТА В ЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ

Асс. Кононенко Ю.И., д.т.н. Ольшанецкий В.Е.

При охлаждении аустенита эвтектоидной стали с концентрацией углерода 0,8% ниже линии PSK диаграммы Fe-Fe₃C происходит образование феррито-цементитной смеси, т.е. перлита, который, в зависимости от температуры образования, имеет различную дисперсность. Известно, что новые образующиеся фазы имеют состав, отличный от состава исходного аустенита, содержащего 0,8% углерода (феррит при 727⁰C содержит 0,02%С, однако с понижением температуры растворимость углерода в нем снижается, химический же состав цементита остается практически неизменным (6,67%С)). Т.е. при эвтектоидном распаде аустенита диффузионное перераспределение атомов углерода должно сочетаться с переходом атомов железа из одной полиморфной модификации (аустенит) в другую (феррит), а также с образованием химического соединения (цементит). Первый процесс связан с некоторым перемещением соответствующих атомов на расстояния, большие межатомных, второй же сводится к перестройке решетки растворителя (т.е. железа) на границе раздела фаз аустенит/цементит и формированию новых химических связей [1].

В некоторых работах, например [1,2], была осуществлена попытка рассчитать скорость роста перлита при разных степенях переохлаждения эвтектоидной стали.

Так, согласно представлениям Зинера и ХиллERTA [2], скорость роста перлитной колонии можно оценить по формуле

$$v \approx \frac{D}{a} \cdot \frac{S^2}{S^\alpha S^{cem}} \cdot \frac{c_0^{\gamma\alpha} - c_0^{cem}}{c_{cem} - c_\alpha} \cdot \frac{1}{S} \cdot \left(1 - \frac{S_c}{S}\right), \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии, равный $D = 0,04 \cdot (1 + c_0^{\gamma\alpha} + c_0^{cem}) \cdot \ell \cdot \frac{31350}{RT}$, $c_0^{\gamma\alpha}$ и c_0^{cem} – соответственно равновесные концентрации углерода в аустените у поверхности раздела фаз аустенит/феррит и аустенит/цементит: $c_0^{\gamma\alpha} = 0,8 + 0,013(1000 - T)$, $c_0^{cem} = 0,8 - 0,002(1000 - T)$; 31350 кал – энергия активации перераспределения углерода в аустените перед фронтом роста перлитной колонии; R – универсальная газовая постоянная; T – кельвиновская температура изотермического распада аустенита на феррито-цементитную смесь; c_{cem} и c_α – соответственно содержание углерода в цементите (6,67%) и феррите (0,02%) при 727⁰C; a – коэффициент, равный 0,72; S – межпластинчатое расстояние в перлите, которое, согласно Зинеру [3], рассчитывается как $S \approx \frac{18}{1000 - T} \cdot 10^{-4}$ см; S_c – некоторая функция, зависящая от параметров границы (величин углов сопряжения и значений поверхностной энергии). При максимальной скорости роста при каждой температуре превращения $S_c = \frac{1}{2}S$; S^α и S^{cem} – толщины пластинок феррита и цементита в перлите (при этом, $S^\alpha = \frac{7}{8}S$, $S^{cem} = \frac{1}{8}S$).

Б.Я. Любов повторил расчеты Зинера и Хиллерта, используя несколько другой подход к оценке распределения атомов углерода вдоль фронта продольного роста перлитной колонии. Им была предложена следующая формула для расчета скорости роста перлита [1]:

$$v \approx \frac{4\pi D}{S} \cdot \left(\frac{c_0^{\gamma\alpha} - c_0^{\gamma cem}}{c_{cem} - c_\alpha} \right), \quad (2)$$

где параметры D , $c_0^{\gamma\alpha}$, $c_0^{\gamma cem}$, c_{cem} , c_α и S имеют тот же физический смысл, что и в (1), и рассчитываются по таким же формулам.

Нами получена новая оригинальная формула для расчета скорости роста перлитной колонии, основанная на теоретической работе [4]

$$v = \frac{1}{3} \cdot m \cdot \left(P - \frac{2\gamma_{acem}}{S} \right), \quad (3)$$

где m – микроскопическая подвижность фронта роста перлитной колонии, оцененная нами, следуя Тарнбаллу [5], как $m = 3 \cdot \frac{aV}{R} \cdot \frac{k}{h} \cdot \ell \cdot \frac{\Delta F}{RT}$. Тут a – пара-

метр решётки α -Fe, взятый как $3 \cdot 10^{-8}$ см, V – атомный объем моля железа, равный $7,19 \text{ см}^3$, k – постоянная Больцмана, h – постоянная Планка, ΔF – энергия активации, оцененная с учетом влияния углерода и особенностей строения межфазных границ (принималась как 24500 кал); P – движущая сила процесса, связанная с перекристаллизацией аустенита в фазовую смесь и меняющаяся с температурой, [6]; γ_{acem} – удельная свободная энергия межфазной границы раздела феррит/цементит, которая с учетом определенной кристаллогеометрической связи этих фаз составляет приблизительно $2,38 \cdot 10^{-7} \text{ кал/см}^2$ [7].

Экспериментальные значения скорости роста перлитной колонии взяты из работы [8].

В таблице приведены данные по оценке скорости роста перлита, полученные экспериментальным путем [8], а также по формуле Зинера (с уточнением Хиллерта) [2], Любова [1], и предложенной авторами данной работы (3). Соответствующие графики зависимости скоростей роста перлитной колонии от температуры переохлаждения приведены на рисунке.

Таблица
Скорости роста перлитной колонии, полученные экспериментальным или расчетным путем при разных переохлаждениях

Температура пре- вращения, °С	Скорость роста перлитной колонии $v_{\text{роста}} \times 10^4$, см/с			
	эксперимен- тальная	по расчету		
		(Зинер и Хиллерт)	(Любов)	(методика авторов)
700 (973К)	0,30	0,61	0,65	4,40
650 (923К)	2,25	2,47	3,20	7,65
600 (873К)	6,15	2,92	4,00	6,56
550 (823 К)	7,50	2,16	2,45	4,05
450 (723 К)	0,50	0,46	0,70	0,83
400 (673 К)	0,30	0,14	0,15	0,28

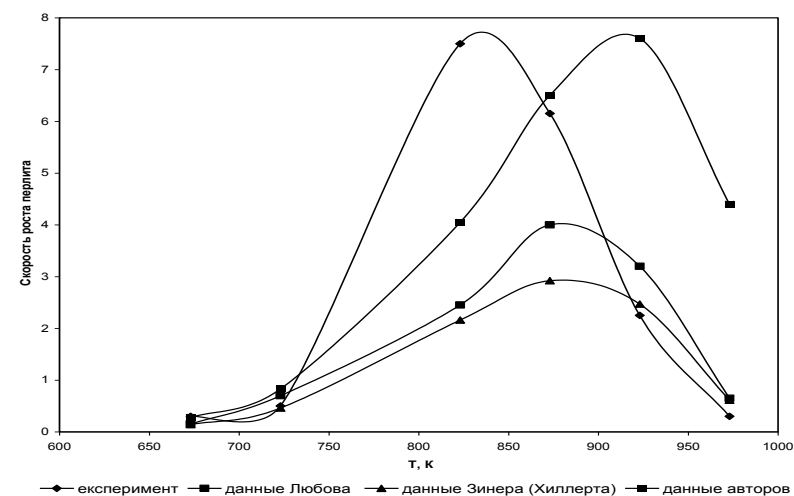


Рис. Экспериментальные и расчетные скорости роста перлита в эвтектоидной стали

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что предложенная нами методика расчета скорости роста перлитной колонии по (формула (3)), учитывающая особенности морфологии фронта роста колониальной структуры и особенно постоянство движущей силы во всех фигуративных точках указанного фронта, позволяет максимально приблизиться к экспериментальным оценкам этого кинетического параметра.

Литература

1. Любов Б.Я. Кинетическая теория фазовых превращений. – М.: Металлургия. – 1969, 264с.
2. M. Hillert. The Role of Interfacial Energy during Solid State Phase Transformations. *Jerncont. Ann.* 141 (1957):11, p.757.
3. Zener C. *Metals technology*, 1946, Jan., II статья.
4. Ольшанецкий В.Е. Об ориентированном росте однофазных и двухфазных структур колониального типа // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні* – 2002, №1. – С.14-22.
5. Бурке Дж.Е., Тарнбалл Д. Рекристаллизация и рост зерен // *Успехи физики металлов*. – М.: Металлургиздат. 1956. – Вып.1. – С.368-465.
6. W.S. Hagel, G.M. Pound a. R.F. Mehl, *Acta Metallurgica*. v.4, 1956, №1, p. 37.
7. Салли И.В. Физические основы формирования структуры сплавов. – М.: Металлургиздат, 1963, 219с.
8. Миркин И.Л. Труды Московского института стали, сб.XVIII, 1941, стр.5.