

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НА СТРУКТУРУ И СКОРОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ЧАСТИЦ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5Ф3

Ульшин С.В., Ульшин В.И., Подрезов Ю.Н.

*Институт проблем материаловедения, Киев, Украина*  
[ulshin\\_vi@ipms.kiev.ua](mailto:ulshin_vi@ipms.kiev.ua)

Скорость охлаждения порошковых частиц является одним из главных факторов, определяющих структуру и фазовый состав инструментальных сталей. В работах [1, 2] для сталей Р18, Р6М5К5, ВХ4А, Х18Н15 и ЭИ437Б в интервале температур 50 – 200 °С выше температуры ликвидуса скорость охлаждения порошковых частиц рассчитывали по дендритному параметру, т.е. по расстоянию между дендритными осями второго порядка.

Быстрорежущие стали (БС), полученные с ТВО, при перегреве на 350 – 400 °С выше температуры ликвидуса, отличаются от обычного расплава без ТВО структурным состоянием расплава перед распылением. Высокий перегрев расплавов в сочетании с высокой скоростью охлаждения при распылении, прежде всего, меняет характер кристаллизации и приводит к изменению микроструктуры от дендритно-ячеистой морфологии (у обычных порошков) до ячеистой (зернистой) и улучшает их технологические характеристики, повышается: дисперсность, насыпная плотность, прессуемость, спекаемость [3-4]. Расчет скорости охлаждения по дендритному параметру не применим и его надо проводить по другой методике.

Для расчета скорости охлаждения частиц полученных с ТВО расплавов быстрорежущей стали (БС) Р6М5Ф3 использовали выражение:

$$V = \frac{\Delta T}{\tau}; \Delta T = T_H - T_L \quad (1)$$

где:  $V$  – скорость охлаждения частиц,  $T_H$  – температура нагрева металла в печи,  $T_L$  – температура ликвидуса,  $\tau$  – время.

Для определения параметра  $\tau$  использовали выражение передачи теплового потока в критериальной форме [3]:

$$\Theta = f(Fo; Bi; x/R) \quad (2)$$

где:  $\Theta$  – безразмерный температурный фактор,  $Fo$  – критерий Фурье,  $Bi$  – критерий Био,  $x/R$  – размерный фактор. При этом:

$$Fo = \frac{\alpha \tau}{R^2}; Bi = \frac{aR}{\lambda}; \Theta = \frac{(T_M - T_L)}{(T_H - T_L)} \quad (3)$$

где:  $\alpha$  – температуропроводность,  $R$  – радиус частицы,  $a$  – теплопередача,  $\lambda$  – теплопроводность,  $T_M$  – температура металла в металлоприемнике перед распылением.

При интенсивном перемешивании расплава в процессе распыления, когда  $\lambda \rightarrow \infty$ , тогда  $Bi \rightarrow 0$ . Если  $Bi \ll 1$ , то им можно пренебречь [5]. Параметром  $x/R$  из-за малых размеров частиц также можно пренебречь. Тогда выражение (2) примет вид:

$$\Theta = f(Fo) = \frac{\alpha \tau}{R^2} \quad (4)$$

откуда:

$$\tau = \frac{\Theta R^2}{\alpha} \quad (5)$$

Таблица. Скорости охлаждения и структуры частиц: экспериментальные для быстрорежущих сталей Р18 и Р6М5К5 [1, 2] и расчетные для БС Р6М5Ф3 без ТВО и с ТВО расплава, (структуры по данным [3, 4]).

Частицы, мкм	Средняя скорость охлаждения °С/с и структуры частиц		
	Экспериментальная (структуры) [1, 2],	Расчетная, (структуры [3, 4])	
		Без ТВО	С ТВО
-56	$1 \cdot 10^5$ (ячеистая)	$2,3 \cdot 10^5$ (ячеистая)	$3,26 \cdot 10^5$ (ячеистая)
-100 + 80	$7 \cdot 10^4$ (дендритная)	$9,4 \cdot 10^4$ (дендритная)	$1,3 \cdot 10^5$ (ячеистая)
-315 + 250	$2 \cdot 10^4$ (дендритная)	$1,05 \cdot 10^4$ (дендритная)	$1,42 \cdot 10^4$ (ячеистая)
-630 + 315	$9 \cdot 10^3$ (дендритная)	$2,6 \cdot 10^3$ (дендритная)	$3,5 \cdot 10^3$ (ячеистая)

Из таблицы видим, что при изменении среднего диаметра частиц от 630 до 56 мкм скорость охлаждения возрастает от  $10^3$  до  $10^5$  град/сек. Дендритная структура распыленного порошка без ТВО с уменьшением размера частиц становится еще более дисперсной, переходя в самом мелком порошке в ячеистую. При этом расчетная скорость охлаждения частиц без ТВО расплава достаточно удовлетворительно коррелирует с экспериментальной.

С применением перегрева расплава при ТВО частицы порошка во всем гранулометрическом составе -630 +56 мкм имеют ячеистую структуру [3, 4]. Процесс образования центров кристаллизации ячеистой структуры определяется флуктуацией концентрации атомов жидкости, лимитирующим звеном которого является диффузия атомов жидкости в твердую фазу. Лимитирующим звеном теплопередачи (см. выражение (4)) является коэффициент температуропроводности или скорость распространения тепла -  $\alpha$ . Скорость перемещения атомов в металлах в твердом состоянии равна  $\sim D = 5 \cdot 10^{-5}$  [см<sup>2</sup>/с], а скорость распространения тепла -  $\alpha = 5 \cdot 10^{-2}$  [см<sup>2</sup>/с], [5]. Откуда видно, что скорость распространения тепла  $\sim$  в 1000 раз быстрее перемещения атомов. Теплота отводится настолько быстро, что превращение жидкой капли в твердую частицу происходит при больших переохлаждениях. При полном подавлении эвтектической реакции образовавшийся твердый раствор с ячеистой структурой по химическому составу соответствует жидкости. В то время как расчетная скорость охлаждения частиц с ТВО расплава всего лишь на  $\sim 27 - 30$  % выше, чем без ТВО.

Таким образом очевидно, что при ТВО расплава основной вклад в переход структуры частиц от дендритной к ячеистой вносит влияние легирования и гомогенизация его строения [3, 4].

#### Список литературы

1. Петров А. К., Смирнова Е. Н., Кондратова И. Я., Очеретова Л. В. Влияние размера частиц на свойства распыленных порошков из быстрорежущей стали и заготовок из них // Порошковая металлургия, 1976, № 5, С. 18—23.
2. Петров А. К., Мирошниченко И. С., Парабина В. В. и др. Исследование кристаллизации металлических порошков, полученных путем распыления жидкой фазы // Порошковая металлургия, 1973, № 1. С. 16—20.
3. Влияние термовременной обработки расплава на структуру и свойства порошка быстрорежущей стали Р6М5Ф3. / Сорокин Ю.В., Дацкевич О.В., Лукьянчук В.В. и др. // Порошковые быстрорежущие стали: Сб. научн. тр. - Киев: ИПМ АН УССР. -1990.- С. 81-87.
4. Позняк Л. А., Сорокин Ю. В., Ершов Г. С. Термовременная обработка расплавов при получении распыленного порошка быстрорежущих сталей // Порошковая металлургия. — 1993. № 11/12. С. 100—106.
5. Лыков А.В. Теплообмен. Справочник. М.: Энергия, 1972, 560с.