

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ЧАСТОТЫ ВИБРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОТЛИВОК

А.И. Куценко, И.Ф. Селянин, О.Г. Приходько, С.В. Князев (г. Новокузнецк, Россия)

В настоящее время пульсирующий характер кристаллизации признается многими исследователями [1-3]. Применяя методику термического анализа [4], экспериментально установлен периодический закон перекристаллизации и эвтектидного превращения [5]. Эти эксперименты явно показывают, что тепловые флуктуации возникают на фронте кристаллизации и обусловлены пульсирующим характером протекания фазового перехода первого рода.

Эксперименты по идентификации периодичности кристаллизации проводились на валках со следующими размерами: диаметр бочки – 1160 мм; длина бочки – 1200 мм; диаметр нижней шейки – 573 мм; длина нижней шейки – 1110 мм; диаметр верхней шейки – 555 мм; длина верхней шейки – 2140 мм. Химический состав исследуемого металла: 2,6-2,8% С; 0,6-0,8% Si; 0,4-0,5% Mn; 0,02-0,6% P; 0,01-0,02% S; 0,65-0,75% Cr; до 1,00% Ni.

Для измерения температуры металла в форме применялись вольфрам-рениевые термопары, работающие по принципу закрытого спая. Термопары устанавливались в форму валка в следующие точки: нижняя шейка валка, бочка валка, верхняя шейка валка. Глубина установки спая термопары в полость формы валка составляла 20-80 мм.

Наши эксперименты показали, что на фронте кристаллизации наблюдаются значительные тепловые флуктуации при эвтектическом превращении величиной $\Delta T_{\phi} = 20-30^{\circ}\text{C}$.

Экспериментально определенные значения частоты тепловых флуктуаций (f) в нижнем слое валка составили $f = 0,011-0,014$ Гц, в бочке валка – $f = 0,008-0,009$ Гц, в верхней шейке валка – $f = 0,006-0,007$ Гц. Данные частоты соответствуют полному циклу периода кристаллизации $\tau_{\text{ц}} = 60-120$ с.

Из ранних работ русских металлургов [6] известно, что для получения благоприятной макро- и микроструктуры слитка необходимо периодически через 1-2 минуты наносить удары кувалдой по стенке изложницы, в которой кристаллизуется слиток.

Металлургический слиток под прокатку имеет в среднем те же геометрические размеры, что и валок, исследуемый нами. Масса слитка так же составляет 20-25 т.

Следует отметить большую точность эмпирических знаний металлургов, которые, не зная природу периодичности кристаллиза-

ции, достаточно точно определили период ее цикличности 60-120 с, и частоту ($f = 0,017-0,0085$ Гц). Как видно, частоты лежат в том диапазоне, который определен нами экспериментально с применением современной измерительной аппаратуры.

Физическая природа влияния ударного встряхивания на конечную структуру слитка заключается в том, что за один период продвижения фронта затвердевания основания дендритов подплавляются за счет накопления легкоплавкой примеси в этой области. Вибрационное давление от ударного встряхивания оказывается достаточным для обламывания фронтальных дендритов и насыщения центральной части слитка новыми центрами кристаллизации.

Так как, по закону квадратного корня время затвердевания отливки пропорционально квадрату приведенного размера, то можно предположить, что и время цикла кристаллизации отливки $\tau_{\text{ц}}$ будет пропорционально R^2 . То есть, можно записать

$$\frac{\tau_{\text{ц}}}{\tau_{\text{ц}}^0} = \left(\frac{R_{\text{ц}}}{R} \right)^2, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{ц}}$ – время одного цикла кристаллизации для бочки валка с приведенным размером $R_{\text{ц}} = 0,29$ м; $\tau_{\text{ц}}^0 = 120$ с.

Частота вибрации будет эффективна, если будет совпадать с частотой тепловых флуктуаций, либо будет ей кратна. Таким образом, резонансная частота вибрации может быть определена из обобщенного уравнения

$$f = m \cdot \frac{1}{\tau_{\text{ц}}^0} = m \cdot \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 / \tau_{\text{ц}}^0, \quad (2)$$

где $m = 1, 2, 3, \dots$; R_0 и $\tau_{\text{ц}}^0$ – приведенный размер и время одного цикла кристаллизации для крупногабаритной отливки (по данным наших экспериментов $R_0 = 0,29$ м; $\tau_{\text{ц}}^0 = 120$ с).

Для отливки с приведенным размером $R = 7,5$ мм – резонансная частота 12,5 Гц и кратные ей частоты: 25; 37,5; 50 ... Гц. Но не каждая из резонансных частот будет являться эффективной. Для определения оптимальной резонансной частоты вибрации была проведена серия экспериментов в лабораторных условиях на цилиндрических отливках из алюминиевого сплава с приведенным размером 7,5 мм (диаметр 30 мм) и 8,25 мм (диаметр 33 мм), затвердевающих в песчаной

форме. Частоту вибрации меняли ступенчато: 8,7; 27,7; 41; 50 Гц. Была выдвинута гипотеза о том, что отливка с большим приведенным размером должна иметь меньшую величину резонансной частоты.

На рисунке 1 приведены результаты исследований влияния частоты вибрации в вертикальной плоскости с амплитудой 0,9...1,1 мм на плотность отливки.

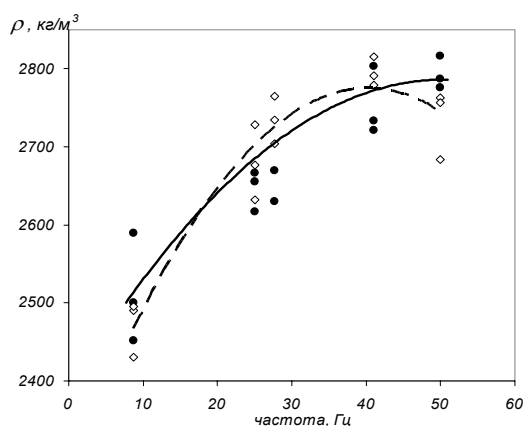


Рисунок 1 — Влияние частоты вибрации на плотность отливок из алюминиевого сплава (—, • — приведенный размер 7,5 мм; ---, ◇ — приведенный размер 8,25 мм)

Экспериментально установлено, что для отливок с приведенным размером 7,5 мм максимальная плотность металла обеспечивается при частоте вибрации около 50 Гц, что соответствует численным расчетам частоты в соответствии с формулой (2). Для отливок с приведенным размером в 8,25 мм максимальная плотность обеспечивается частотами в 37-39 Гц, расчетное значение оптимальной частоты составляет 41 Гц.

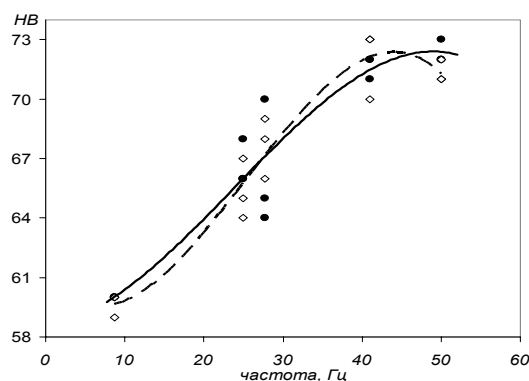


Рисунок 2 — Влияние частоты вибрации на твердость отливок из алюминиевого сплава (—, • — приведенный размер 7,5 мм; ---, ◇ — приведенный размер 8,25 мм)

На рисунке 2 представлены результаты влияния частоты вибрации на твердость отливок. Полученные в результате эксперимен-

тов оптимальные значения также отличаются от расчетных на небольшую величину и составляют 48...49 и 42...44 Гц для отливок с приведенными размерами 7,5 и 8,25 мм соответственно.

Экспериментальные данные подтверждают ранее выдвинутую гипотезу и предложенную модель о том, что с увеличением приведенного размера отливки оптимальный режим виброобработки расплава соответствует более низкой частоте.

Таким образом, применяемая частота вибрации $f=50$ Гц для получения качественных отливок является резонансной, так как практически совпадает с циклической частотой периодической кристаллизации отливок с приведенным размером $R=7,5$ мм.

Вибрация расплава в процессе его затвердевания с частотой 8,7 Гц приводит к уменьшению величины зерна на 1-3% относительно необработанного вибрацией расплава, для частот 25-27,7 Гц размер зерна уменьшается на 5-7%. При частотах вибрации в 41-50 Гц зафиксировано максимальное уменьшение зерна на 20-25%.

Следует отметить, что реальные отливки представляют собой сочетание элементов различной конфигурации и толщины. Вибрационная обработка, проводимая при кристаллизации этих отливок, эффективно воздействует только на те части отливок, для которых используемая частота вибрации совпадает с циклической частотой периодической кристаллизации отливок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеев Г.И. Механика сплавов при кристаллизации слитков и отливок. — М.: Металлургия, 1977. — 160 с.
2. Cole G.S., Winegard W.C. — J. Institute of metals, 1965. — №1. — p.29-40.
3. Кристаллизация из расплавов // Под ред. К. Хайна. — М.: Металлургия. — 1987. — 320 с.
4. Куценко А.И., Селянин И.Ф., Хамитов Р.С., Морин С.В. Измерительный комплекс для контроля параметров производства литых изделий // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производства: Сб. науч. тр. — Вып. 4. — Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2002.
5. Куценко А.И., Морин С.В. Тепловые флуктуации при затвердевании крупногабаритных валков // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производства: Сб. науч. тр. — Вып. 5. — Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003.
6. Чернов Д.К. Наука о металлах // Под ред. Н.Т. Гудазова. — М.-Л., Металлургиздат, 1950. — 563 с.