

## ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ ФОРМЫ НА ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВКИ

А.И. Куценко И.Ф. Селянин, Р.М. Хамитов, С.В. Морин

В течение последнего времени интерес к изучению методов активного воздействия на процесс кристаллизации металлов, а именно за счет применения вибрации, усилился.

Целью данной работы является исследование влияния режима вибрационного воздействия на тепловые процессы при затвердевании отливки в форме.

В работе использован метод термического анализа для снятия термических кривых охлаждения в различных частях отливки. Исследования выполнялись на серых доэвтектических чугунах и на сплавах системы алюминий-кремний (8-9 %Si) на цилиндрических отливках диаметром 30 и 20 мм высотой 300 мм при литье в песчаные и металлические формы. Импульс колебаний передавался в вертикальном осевом направлении с частотами 10, 20, 25, 50 и 100 Гц и амплитудой от 0,1 до 1,2 мм.

Эксперименты показали, что под действием различных режимов вибрационного воздействия на затвердевающий расплав теплофизические условия затвердевания меняются в различной степени.

Отливки, подвергаемые вибрации, имеют большую скорость охлаждения, процесс перехода сплава из жидкого состояния в твердое происходит на 12-25% быстрее, чем при затвердевании отливок, не подвергнутых вибрации.

При исследовании влияния режима вибрационного воздействия на расплав, основными параметрами которого являются показатели амплитуды и частоты, установлено, что изменение этих параметров оказывает влияние на темп кристаллизации расплава. При заливке чугуном образца диаметром 30 мм в песчаную форму (минимальная скорость охлаждения), максимальный темп кристаллизации получен при частоте 25 Гц и амплитуде 0,5 мм, а при заливке образца диаметром 20 мм в металлическую форму (максимальная скорость охлаждения), максимальные значения получены при частоте в 50 Гц и амплитуде в 0,2 мм.

Аналогичные исследования на сплаве алюминий-кремний позволили установить иные оптимальные параметры: для песчаной формы максимальный темп кристаллизации наблюдали при частоте 50 Гц и амплитуде

0,5 мм, для металлической формы – 100 Гц и 0,1 мм соответственно.

Таким образом, при увеличении скорости охлаждения и снижения плотности сплава, максимальный темп кристаллизации смещается в сторону высоких частот и более низких амплитуд вибрации. Аналогичные результаты получены другими исследователями экспериментально [1] и теоретически [2].

Исследования продвижения фронта затвердевания на основе данных термического анализа в горизонтальной и вертикальной плоскостях показали, что его скорость, в зависимости от параметров вибрации, возрастает в вертикальной плоскости на 12-23%, в горизонтальной плоскости на 5-8%. Это существенно изменяет тепловой режим работы верхних частей отливки. Под действием вибрации наблюдаются изменение хода кривых затвердевания. Увеличивается скорость нарастания твердой корочки в первые моменты времени. В последние моменты времени ход кривых приближается к кривым, полученным на необработанных вибрацией сплавах.

На кривых затвердевания наблюдаются точки перегиба. Они связаны с наложением тепловых процессов у поверхности отливки и в ее центре. Эвтектическое превращение начинается в наружных слоях отливки еще до того, как кристаллизация первичных фаз заканчивается в центре.

Качественная оценка влияния режима вибрации на характер продвижения фронта кристаллизации в горизонтальном направлении при заливке чугуна в песчано-глинистую форму приведена на рисунке 1.

Анализ термических кривых охлаждения, полученных в горизонтальном сечении отливки диаметром 30 мм в песчаной форме при различных режимах вибрации, производился для нескольких временных этапов и позволил установить следующие закономерности.

В начальный момент времени после заливки расплава в форму (11-24 сек для Al-Si сплава и 26-43 сек для чугуна) под действием вибрации разность температур между центральной частью отливки и периферийной зоной снижается на 8-19% по сравнению с не подвергнутыми вибрации отливками.

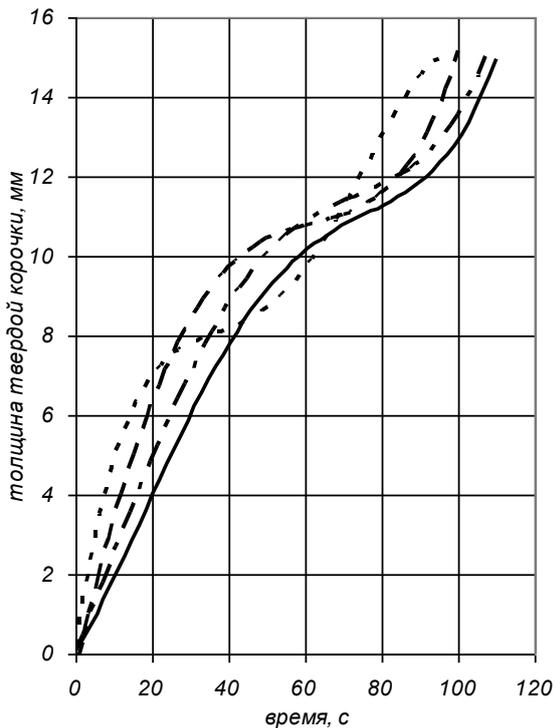


Рисунок 1 – Влияние режима вибрации на процесс затвердевания чугунной отливки  $\varnothing 30$  мм в песчаной форме в горизонтальном направлении (— — — частота 20 Гц, амплитуда 0,75 мм; - - - частота 25 Гц, амплитуда 0,5 мм; — - — частота 100 Гц, амплитуда 1 мм; — без вибрации)

Центральная часть отливки охлаждается медленней, что связано с более интенсивным выделением скрытой теплоты кристаллизации в периферийных слоях отливки. Наблюдается снижение времени стояния температуры при достижении расплавом температуры ликвидус для периферийной зоны отливки на 24-37%, для центральной части отливки на 18-27%. С увеличением амплитуды вибрации перепад температуры по сечению отливки снижается, а время стояния температуры в районе ликвидус увеличивается.

В период затвердевания центральной части отливки в интервале температур ликвидус-солидус, периферийные слои отливок, подвергнутых вибрации, охлаждаются с большей скоростью, а разность температур по сечению для отливок, подвергнутых вибрации на 24-32% больше, чем у отливок, затвердевающих в обычных условиях.

В дальнейшем подвергнутые вибрационной обработке отливки, охлаждаются в форме до  $100^{\circ}\text{C}$  на 14-19% быстрее.

На удалении 20 мм от границы раздела «металл-форма», под действием вибрации рост температуры песчаной формы начинается через 16-21 сек для Al-Si сплава и 9-13 сек для чугуна с момента заливки расплава в форму. При обычных условиях это время составило 31 сек и 19 сек соответственно. В целом под действием вибрации форма прогревается на  $17-26^{\circ}\text{C}$  выше для Al-Si сплава и на  $31-44^{\circ}\text{C}$  для чугуна по сравнению с обычным режимом.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют об увеличении интенсивности теплоотдачи с поверхности отливки в форму. Теплопередача в стенках песчаной формы в начальный период возрастает за счет более плотного контакта.

При литье с вибрацией в металлическую форму так же наблюдается увеличение темпа кристаллизации расплава, но он выражен не так явно, как при литье в песчаную форму.

Экспериментальные исследования для металлических форм показали, что за счет вибрации перепад температур в горизонтальной плоскости отливки в начальный период снижается на 4-6%, в период затвердевания увеличивается на 7-12%. В отличие от песчаной формы, определяющим параметром выравнивания температуры по сечению отливки является частота вибрации. С ее ростом перепад температуры по сечению отливки снижается. Под действием вибрации время охлаждения отливки в форме до температуры  $100^{\circ}\text{C}$  сокращается на 4-8%.

В процессе экспериментов установлено, что под действием определенных режимов вибрации, расплавы начинают кристаллизоваться при меньших переохлаждениях ( $\Delta T_{\text{ПЕР}}$ ). На рисунке 2 представлены экспериментальные данные о влиянии скорости вибрации на величину переохлаждения при кристаллизации первичных фаз чугуна, полученного в различных плавильных агрегатах.

Для используемого в экспериментах типа-размера отливок, получаемых в песчаных формах, при скоростях вибрации от 0,05 до 0,12 м/с, наблюдается снижение величины переохлаждения. При дальнейшем росте скорости вибрации величина переохлаждения, как для алюминиевого сплава, так и для чугуна увеличивается относительно необработанных вибрацией расплавов.

## ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ ФОРМЫ НА ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВКИ

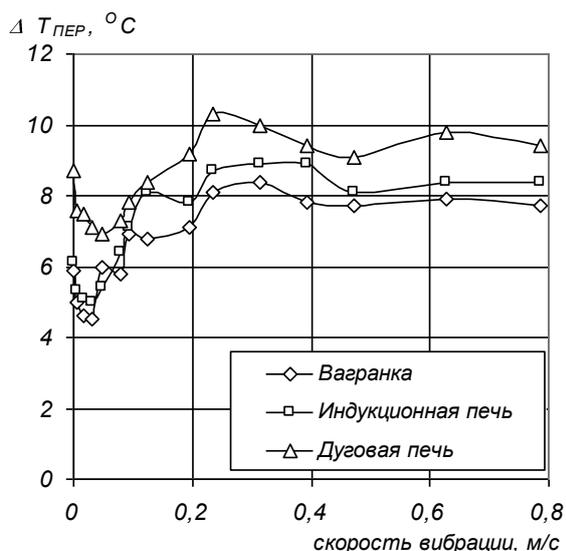


Рисунок 2 – Влияние режимов вибрации на величину переохладения при кристаллизации первичных фаз в чугунах (заливка в песчаную форму,  $\frac{1}{2}$  радиуса отливки)

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что изменения режима вибрационного воздействия на расплав приводят к изменению тепловых процессов, как по сечению отливки, так и в системе «отливка-форма».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванцов А.А. О механизме влияния упругих колебаний на алюминиево-кремниевые сплавы / А.А. Иванцов, Г.Г. Крушенко // Литейное производство. – 2003. – № 2. – С. 2 - 4.
2. Найдек В.Л. О механизме воздействия вибрации на кристаллизацию и структурообразование сплавов / В.Л. Найдек, А.С. Эльдарханов, А.С. Нурадинов, Е.Д. Таранов // Литейное производство – 2003. – № 9. – С. 13 - 15.

*Сибирский государственный индустриальный университет*