



The heat scheme of the chill mold temperature equalization, what is especially important at automation of the chill machines working is offered.

А. П. МЕЛЬНИКОВ, М. А. САДОХА, Н. Е. БОНДАРИК, Б. А. КРАЕВ, Б. В. КУРАКЕВИЧ,
НП РУП «Институт БелИИИЛит»

УДК 621.74

ТЕПЛОВЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ПОСТОЯННУЮ ФОРМУ

Введение. Один из основных способов производства отливок из алюминиевых сплавов — метод литья в кокиль. Особенно значительный удельный вес литья в кокиль в области производства крупногабаритных ответственных отливок. Главным технологическим инструментом данного метода производства отливок является кокиль — металлическая форма, изготавливаемая, как правило, из чугуна (около 70% всех кокилей), различных марок сталей (около 25% кокилей) и других металлических материалов (5% кокилей).

Среди основных проблем кокильного литья следует отметить следующие: качество отливок и его стабильность; работоспособность и срок службы кокиля.

Качество отливок при литье в кокиль определяется несколькими параметрами:

- литниковой системой;
- температурой заливаемого расплава;
- температурой кокиля;
- кокильной краской (влияние на качество в данной работе не исследовали).

Исследования для случая производства крупногабаритных ответственных отливок проводили с использованием алюминиевого сплава следующего состава: Si — 8–10,5%; Mn — 0,2–0,5; Mg — 0,17–0,3%; остальное — Al; примеси — не более 1,4%.

В ходе экспериментальных и исследовательских работ было установлено, что при изготовлении крупногабаритных алюминиевых отливок наиболее приемлемой является литниковая система с ниж-

ним подводом расплава в полость формы (в отдельных случаях может быть применена система с комбинированным подвод металла, сочетающая в себе нижний подвод с боковым). Отливка при этом должна быть расположена таким образом, чтобы ее максимальный габарит располагался горизонтально. Причем наиболее массивные узлы отливки должны располагаться сверху.

В результате многочисленных экспериментов было установлено, что для производства крупногабаритных отливок при литье в кокиль наиболее приемлем расчет литниковой системы по методике Г.М. Дубицкого [1]. Оптимальное время заполнения отливки (τ_{opt}) в данном случае можно определить по формуле:

$$\tau_{\text{opt}} = S_1 \sqrt[3]{\delta G}, \quad (1)$$

где G — масса жидкого металла в форме, приходящегося на одну отливку; δ — преобладающая толщина стенки отливки, рассчитанная по формуле:

$$\delta = 2\omega / \chi, \quad (2)$$

где ω — площадь поперечного сечения стенки отливки, мм²; χ — периметр поперечного сечения стенки отливки, мм; S_1 — коэффициент продолжительности заливки, зависящий от температуры жидкого металла, рода сплава, места его подвода, материала формы.

Значения коэффициента S_1 по рекомендации Г.М. Дубицкого для случая производства крупногабаритных алюминиевых отливок приведены в таблице.

Значение коэффициента S_1

Метод изготовления отливок	Масса жидкого металла в форме, приходящегося на одну отливку (G), кг	
	5-10	Более 10
Литье в кокиль	2,50	2,62
Литье в песчаную форму	2,30	2,40

При обработке режимов литья крупногабаритных алюминиевых отливок было установлено, что для случая, когда $G > 10$ кг и горизонтального расположения максимального габарита отливки, наиболее оптимальным является $S_1 = 2,42 - 2,45$. Это обусловлено прежде всего тепловым режимом кокиля и возможностью обеспечить наилучшее заполнение всех частей отливки, включая удаленные элементы и тонкие стенки.

Расчет площади наиболее узкого сечения литниковой системы проводили по формуле:

$$\omega_{\min} = \frac{G_{\max}}{\rho \mu \tau_{\text{opt}} \sqrt{2gH_p}}, \quad (3)$$

где G_{\max} — масса заливаемого в форму металла, кг; ρ — плотность жидкого сплава, кг/см³ (в нашем случае принимаем 0,0025); μ — коэффициент расхода литниковой системы (в нашем случае принимаем $\mu = 0,75 \pm 0,10$); τ_{opt} — оптимальное время заполнения отливки определяли по формуле (1); g — ускорение свободного падения, 981 см/с²; H_p — действующий напор, см.

Размеры остальных сечений литниковой системы рассчитывали следующим образом. Для случая изготовления крупногабаритного алюминиевого литья принимаем, что наименьшим сечением (ω_{\min}) является стояк, а литниковая система должна быть расширяющейся, т.е. все последующие за стояком сечения литниковой системы являются большими по площади. Эксперимен-

тально было установлено, что для случая крупногабаритного алюминиевого литья:

$$\omega_{\min} : \omega_k : \omega_p = 1 : 2 : 4. \quad (4)$$

Тепловые режимы литья. Все экспериментальные работы проводили на кокиле, схема которого показана на рис. 1. В результате экспериментов установлено, что оптимальное качество отливок при прочих равных условиях может быть получено при температуре заливаемого расплава 690–710°С. Одним из важнейших условий обеспечения качества отливок является тепловой режим формы (кокиля). При выбранной литниковой системе и схеме заполнения отливки с учетом габаритов, массы отливки и преобладающей толщины стенок было установлено, что температура кокиля перед заливкой в него жидкого металла должна составлять 250–320°С. При этом предварительный нагрев кокиля может быть осуществлен различными способами: газовыми переносными горелками, электрическими нагревателями, нагревом оснастки в печи. В случае производства крупногабаритного алюминиевого литья наиболее рациональным является нагрев электрическими нагревателями. В данном случае удается обеспечить равномерный прогрев всех элементов кокиля без локального перегрева, коробления. Процесс нагрева легко регулируется. Отсутствует такое негативное явление, как выпадение конденсата на рабочей поверхности кокиля и нарушение целостности слоя краски, что часто происходит при газовом нагреве.

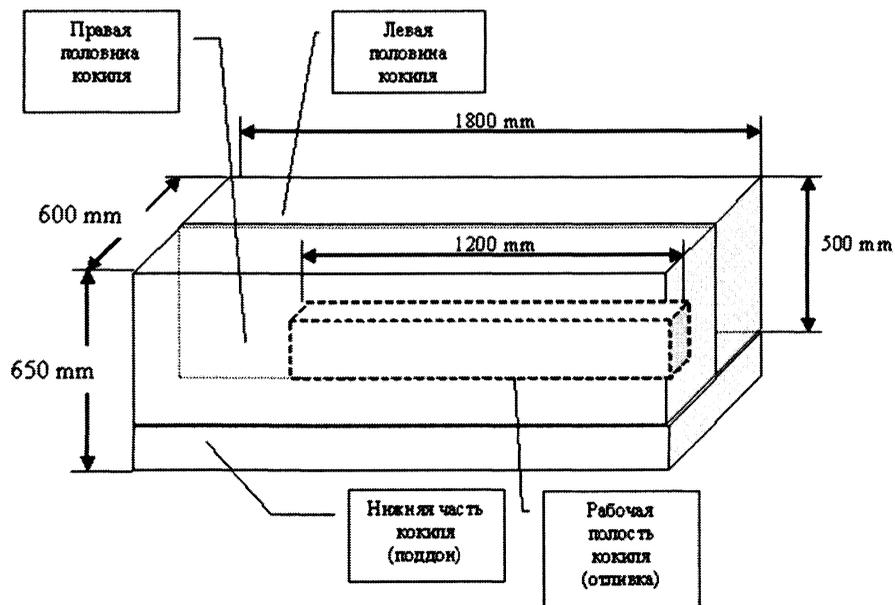


Рис. 1. Схема экспериментального кокиля

Нагрев оснастки осуществляли следующим образом. В раскрытую полость кокиля устанавливали нагревательные элементы и обеспечивали плотное касание их с кокилем, наружные поверхности кокиля укрывали теплоизолирующим материалом, предотвращающим утечки тепла. После включения нагревателей проводили постоянный

контроль температуры в различных зонах кокиля и регулировали равномерность прогрева кокиля путем изменения положения нагревателей и периодичности их включения-выключения.

После предварительного нагрева вид кокиля сверху показан на рис. 2, а. По разьему отмечается полное смыкание кокиля — без зазоров и дефор-

маций, с сохранением геометрии формообразующей полости кокиля.

После заливки расплава в полость кокиля кокиль приобретает вид, представленный схематически на рис. 2, б. Между половинками кокиля появляется деформационный зазор С. Механизм образования зазора следующий. После заполнения полости кокиля расплавом начинаются процессы кристаллизации отливки с выделением значительного количества теплоты. Формообразующие поверхности кокиля *E*, контактирующие непосредственно с расплавом при заливке, а в последующем — с кристаллизующейся и остывающей отливкой, поглощают значительное количество тепла. В то же время температура наружных слоев кокиля *D* практически не изменяется. Это приводит к локальным перегревам кокиля, термическому расширению отдельных зон кокиля и соответственно к значительным термическим напряжениям, которые визуальнo проявляются в виде деформации кокиля. Особенно это заметно на торцовых частях кокиля (деформационный зазор *C*).

Степень деформации и способность материала к восстановлению исходной формы зависит от теплопроводности материала кокиля, структуры материала и его физико-механических свойств. На рис. 3 показана зависимость величины зазора *C* между торцовыми частями полуформ кокиля, замеренного через 10 с после извлечения отливки из кокиля, от количества заливок и материала кокиля (ряд 1 — специальный чугун следующего состава: 3,4–3,6% С; 2,0–2,5% Si; 0,6–0,7% Mn; 0,3–0,4% P; <0,1% S; 0,1% Ni; 0,4% Cr; ряд 2 — серый чугун следующего состава: 3,3–3,5% С; 2,0–2,5% Si; 0,6–0,7% Mn; 0,3–0,5% P; <0,1% S; 0,4% Cr; ряд 3 — специальная сталь следующего состава: 4% С; 5% Cr; 1% Mo; 1% V; 1% Si).

Как видно из рисунка, наибольшие термические деформации имеет кокиль, изготовленный из специальной стали, наименьшие — из специального чугуна. Так, было установлено, что на кокиле, изготовленном из специального легированного чугуна, в процессе изготовления отливок на торцовых частях кокиля появляется зазор *C* величиной до 8 мм. Причем зазор увеличивается от заливки к заливке с тенденцией к насыщению примерно на 7-й заливке. Это свидетельствует о наступлении теплового равновесия, а, следовательно, и равновесия термических напряжений. Отметим, что кривые, представлен-

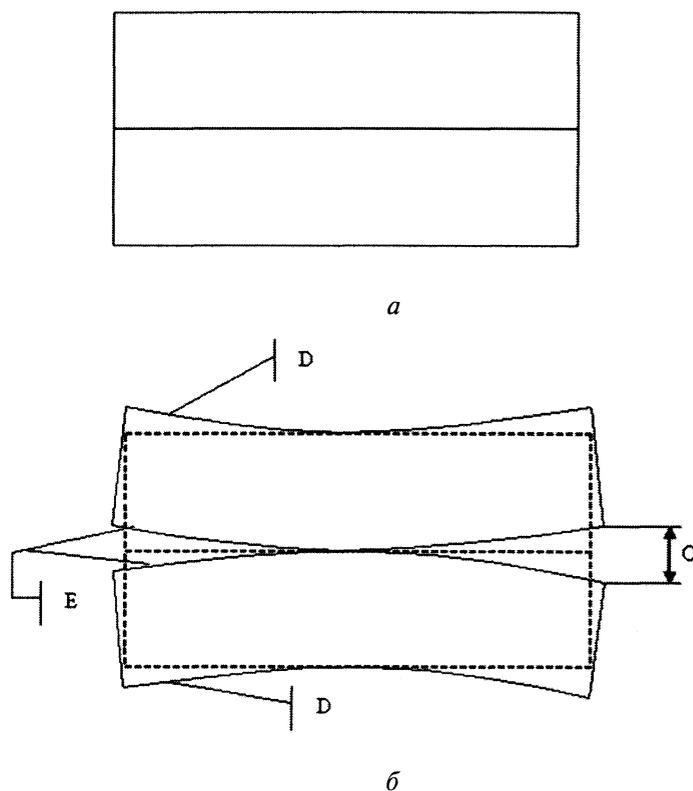


Рис. 2. Вид кокиля сверху: *a* — после предварительного нагрева до заливки; *б* — после заливки

ные на рис. 3, являются какой-то средней линией термических деформаций кокиля. Реальное же изменение зазора между полуформами в процессе литья носит не такой линейный характер, как показано на рисунке.

На рис. 4 приведено изменение зазора между полуформами в процессе цикла заливки. Сразу после заливки происходит первоначальный всплеск деформации, обусловленный резким тепловым

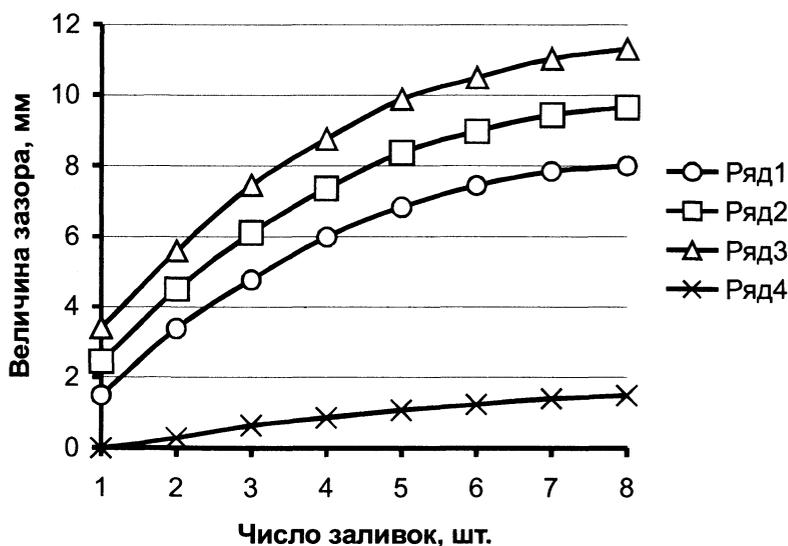


Рис. 3. Зависимость величины зазора *C* между торцовыми частями полуформ кокиля, замеренного через 10 с после извлечения отливки из кокиля, от количества заливок (ряд 1 — специальный чугун; ряд 2 — серый чугун; ряд 3 — специальная сталь; ряд 4 — специальный чугун с использованием теплового схемы компенсации термических напряжений)

потоком на формообразующие поверхности кокиля и большим перепадом температур в различных областях кокиля. Через некоторое время наблюдается определенное выравнивание температур, что сопровождается даже уменьшением деформаций. Данное явление повторяется при каждом цикле заливки. Единственная разница между циклами – значение деформации, вокруг которого происходят изменения.

Рассмотренные выше деформационные процессы, вызванные термическими факторами, характеризуются определенной амплитудой (рис. 4), которая косвенно свидетельствует о величине термических напряжений, возникающих в кокиле. Термические напряжения, возникающие в материале кокиля, являются одним из основных факторов стойкости кокиля против образования трещин, нарушения его размерной и геометрической точности.

Известно, что в условиях циклического нагружения материал способен выдержать определенное число циклов нагружения. Затем наступает разрушение материала, которое начинается с образования сетки мелких трещин, развивающихся в дальнейшем и переходящих в глубокие трещины. Данное явление наблюдается и в работе кокиля.

Следует отметить, что в начальный период эксплуатации кокиль еще сохраняет способность возвращения в исходное состояние после выравнивания температур. В дальнейшем в силу образования и роста трещин деформации кокиля становятся необратимыми и постоянно увеличивающимися.

Установлено, что чем выше амплитуда деформации, а, следовательно, и амплитуда изменения напряжений, тем быстрее протекают процессы зарождения и развития трещин. Поэтому одним из способов продления срока службы кокиля является уменьшение амплитуды термических деформаций в процессе изготовления отливок.

Среди известных и наиболее часто используемых способов борьбы с деформационными явлениями в кокилях следует отметить следующие: увеличение толщины полуформ кокиля, расчленение кокиля на несколько составных частей, стягивание торцов кокиля винтовыми стяжками.

Увеличение толщины полуформ кокиля приводит к сокращению величины деформаций, однако вызывает существенное повышение внутренних напряжений и амплитуды их колебаний в материале кокиля в ходе литья, что способствует более быстрому образованию и последующему росту трещин со стороны формообразующих поверхностей кокиля. Расчленение кокиля на части уменьшает проблему термической деформации, но

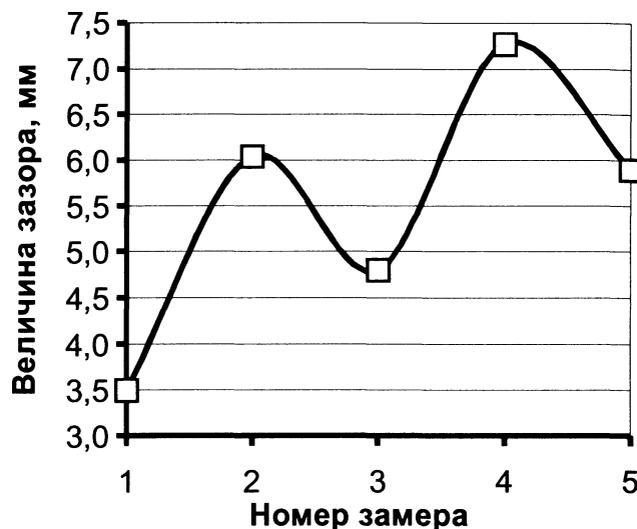


Рис. 4. Изменение зазора C в процессе заливки и кристаллизации (материал кокиля – специальный чугун без компенсации термических напряжений): замер 1 – до заливки (соответствует заливке 2 на рис. 3); замер 2 – после заливки и по истечении 50% времени кристаллизации; замер 3 – соответствует заливке 3 на рис. 3; замер 4 – после последующей заливки и по истечении 50% времени кристаллизации; замер 5 – соответствует заливке 4 на рис. 3

при этом появляется проблема заливок по стыкам частей. Воздействие винтовых стяжек торцов кокиля по своему действию и последствиям аналогично увеличению толщины полуформ кокиля.

В результате исследований, проведенных в НП РУП «Институт БелНИИлит», было установлено, что эффективной является тепловая схема компенсации термических напряжений в кокиле в процессе изготовления отливок. Тепловая схема основана на выравнивании температуры кокиля путем локального подогрева поверхностей D (см. рис. 2, б) до температур, значения которых переменны и зависят от стадии изготовления отливки (заливка, кристаллизация, пустой кокиль), определяются эмпирически и служат основой для автоматизации управления системой.

На кокиле из специального чугуна с применением указанной схемы компенсации термических напряжений были получены следующие результаты: максимальный зазор между торцовыми частями полуформ C не превысил 1,5 мм (см. рис. 3, ряд 4), а амплитуда колебаний зазора при этом составила не более 0,5 мм. Это свидетельствует о значительном уменьшении внутренних термических напряжений, что положительно отражается на сроке службы кокиля (установлено, что срок службы при прочих равных условиях возрастает в 2 раза), точности размеров и геометрии отливок.

Литература

1. Дубицкий Г.М. Литниковые системы. М.; Свердловск: Машгиз, 1962.