

УДК 621.74.043.2:669.715:531.2

**Ф. М. Котлярский, Г. П. Борисов, Л. К. Шеневидько, Т. Г. Цир**  
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

### ЛИТЬЕ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ НАМОРАЖИВАНИЕМ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ

*Изложены результаты освоения безотходной технологии получения полых изделий, в частности выплавляемых стержней, из алюминиевых сплавов путем совмещения литья под низким давлением и намораживания. Показаны конструктивные особенности литейной машины и формы, технологическая схема процесса, оптимальные параметры литья, возможные виды брака и методы их устранения. Доказана возможность получения отливок с заданной, в том числе переменной, толщиной стенки до 20 мм без затвердевшего литникового остатка, что позволяет использовать их по назначению без какой-либо механической обработки.*

*Викладено результати впровадження безвідходної технології одержання порожнистих виробів, наприклад стрижнів, які виплавляються із алюмінієвих сплавів шляхом суміщення лиття під низьким тиском і наморожування. Показані конструктивні особливості ливарної машини і форми, технологічна схема процесу, оптимальні параметри лиття, можливі види браку та методи їх усунення. Показана можливість одержання виливків з заданою, в тому числі перемінною, товщиною стінки до 20 мм без затверділого ливарного залишка, що дозволяє використовувати їх за призначенням без всякої механічної обробки.*

*There is shown the results of wasteless method mastering for hollow articles obtaining (in particular smelting cores) from aluminium alloys using combination of low pressure casting and frosting. There are shown the structural features of caster and mold, process flow chart, optimal dimension of casting, possible kinds of spoilage and methods of its rejection. The possibility of obtain the castings with determined wall thickness (including the variable one) up to 20 mm without hardened excess metal is proved, and it allows to use these casting without any machining.*

**Ключевые слова:** полые изделия, безотходная технология, намораживание, стержни, алюминиевые сплавы, низкое давление.

Институтом проблем литья АН УССР (сейчас Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины) совместно с Новосибирским институтом прикладной физики разработана технология получения из алюминиевых сплавов полых выплавляемых стержней для оформления полостей в стальных корпусах специзделий [1]. Это совмещенный метод литья под низким давлением и намораживанием, для реализации которого использовали специальные машины, одна из которых показана на рис. 1. Машина состоит из заливочного агрегата 1 с жидким металлом, металлопровода 2, водоохлаждаемой литейной формы 3 и пробки 4 для управления сливом жидкого остатка (рис. 2).

Выплавляемые стержни на описанной машине получают следующим образом: в герметичную емкость заливочного агрегата 1 подается сжатый воздух, при этом расплав поднимается по металлопроводу 2 и заполняет форму 3, производится выдержка для намораживания корки 5 (рис. 1), по истечению которой избыточное давление в агрегате заливки снимается, а пробка 4 извлекается из отливки с помощью привода вертикального перемещения. При этом в верхней части отливки образуется отверстие, через которое ее

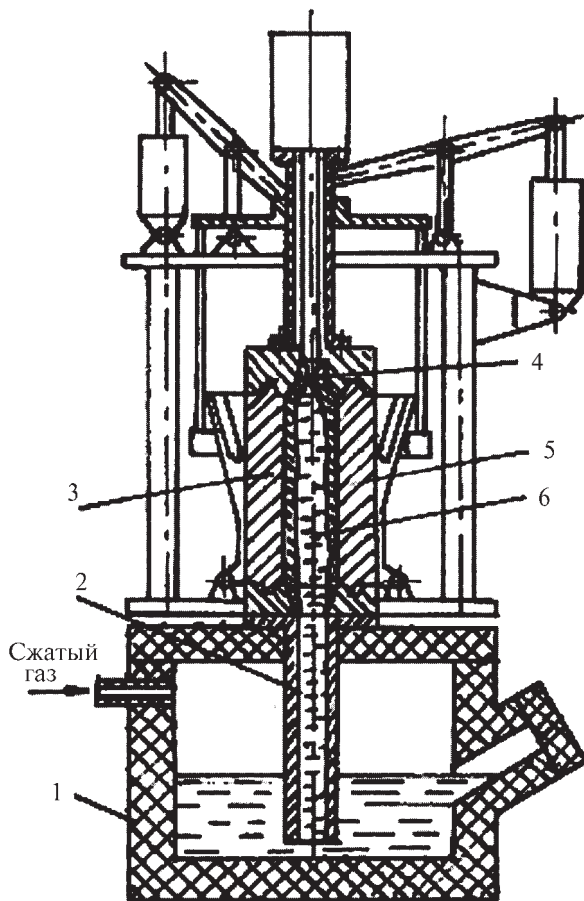


Рис. 1. Схема литейной установки

лопроводе (в нижней части металлопровода устанавливали специальные графитовые втулки), а скорость слива — диаметром лимитирующего отверстия в металлопроводе и величиной зазора между конической пробкой и отливкой.

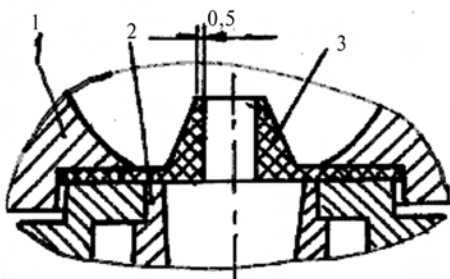


Рис. 3. Узел стыковки формы с металлопроводом: 1 - форма; 2 - металлопровод; 3 - фланец

1,5-2,0 мм от внутренней поверхности формы. Показания термопары фиксируются электронным потенциометром, то есть момент начала отклонения стрелки потенциометра практически совпадает с моментом окончания заполнения формы.

В таблице приведены усредненные значения технологических параметров литья стержней из сплава АК12 в зависимости от заданной толщины стенки отливки.

Экспериментальным путем установлено, что превышение указанных в таблице скоростей заполнения формы может привести к поражению поверхности отливки рассеянными

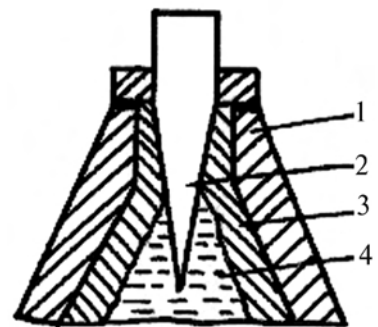


Рис. 2. Устройство слива жидкого металла: 1 - литейная форма; 2 - пробка; 3 - корка замороженного металла; 4 - жидкий остаток

внутренняя полость сообщается с атмосферой. В результате под действием силы тяжести происходит слив жидкого остатка в тигель заливочного агрегата. После некоторой выдержки отливка извлекается из формы.

Толщина замороженной корки по высоте отливки регулируется в основном изменением скоростей заполнения формы расплавом и сливом жидкого остатка. Скорость заполнения формы, в свою очередь, определяется скоростью нарастания давления в герметичной емкости заливочного агрегата и диаметром лимитирующего отверстия в металло-

проводе. Для получения отливок без литникового остатка между охлаждаемой формой 1 (рис. 3) и обогреваемым металлопроводом 2 установлен тонкостенный фланец 3 с выступом в сторону формы. Высота выступа равна толщине основания выплавляемого стержня (рис. 4). Вследствие прогрева фланца до температуры, близкой к температуре жидкого металла, намораживания на нем не происходит.

Момент окончания заполнения формы контролируется с помощью термопары, установленной в верхней части формы на расстоянии

открытыми раковинами под действием гидравлического удара, возникающего из-за резкой остановки потока расплава в момент окончания заполнения формы [2]. Наиболее предрасположены к этому дефекту верхняя (рис. 5, а) и нижняя (рис. 5, б) части отливки, которые к моменту окончания заливки оказываются наименее прочными: верхняя часть еще не успела полностью затвердеть, а на нижней снимается перегрев истекающего из металлопровода расплава.

Кинетика намораживания твердой корки изучалась на сплавах системы Al-Si со следующим содержанием кремния (%): 0; 4; 8; 11,5. Эксперименты проводились на цилиндрических образцах диаметром 56, высотой 150 и 400 мм. Температура расплава на 100 °С выше температуры ликвидуса. Форма чугунная неокрашенная. Намороженная корка после извлечения из формы взвешивалась. Полученные результаты представлены на рис. 6.

В результате математической обработки экспериментальных данных получены следующие эмпирические зависимости:

$$\text{для чистого алюминия } M = 155 \sqrt{\tau};$$

$$\text{для сплавов: Al+4 \% Si } M=260 \sqrt{\tau-1,5};$$

$$\text{Al+8 \% Si } M=200 \sqrt{\tau-1,5};$$

$$\text{Al+11,5 \% Si } M=98 \sqrt{\tau},$$

где  $M$  – масса намороженной корки;  $\tau$  – время намораживания, с.

Зная массу корки  $M$ , можно легко определить ее среднюю толщину

$$d = R(1 - \sqrt{1 - M/M_0}),$$

где  $R$  – радиус рабочей полости формы;  $M_0$  – масса сплошного цилиндрического образца, полученного без слива жидкого остатка.

**Технологические параметры литья выплавляемых стержней из сплава АК12**

Толщина стенки отливки стержня, мм			Температура заливки, °С	Скорость заполнения формы, 10 <sup>-2</sup> м/с	Время выдержки на кристаллизацию, с
верх*	середина	низ**			
6	6	6	740	6-8	10
8	8	8	740	6-8	16
6	9	13	740	4-5	8
12	15	20	660	2-3	7

\* 110-120 мм от верхнего торца;

\*\* 55-65 мм от нижнего торца

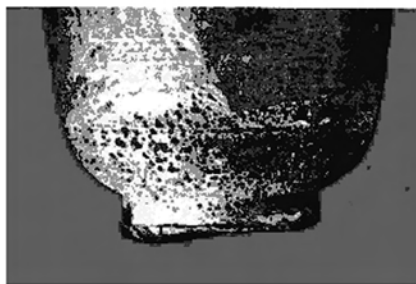


Рис. 4. Стержень

Рост твердой фазы по массе, а следовательно, и по объему, во всех рассмотренных случаях подчиняется закону квадратного корня. Различия в подкоренных выражениях объясняются тем, что для чистого алюминия и сплава эвтектического состава процесс намораживания твердой корки начинается практически с момента поступления расплава в форму, а при заливке доэвтектических сплавов, кристаллизующихся в интервале температур, вначале (в течение ~ 1,5 с) протекает стадия образования в пристеночном



*a*



*б*

Рис. 5. Поражение верхней (*a*) и нижней (*б*) частей отливки гидравлическим ударом

образцах из сплавов с 4 и 8 % кремния образуется сплошной кристаллический каркас по всему сечению, и слив становится невозможным, хотя общая продолжительность затвердевания около 60 с.

Чем больше интервал между температурами солидуса и нулевой текучести, тем выше эффективный коэффициент намораживания (число перед квадратным корнем).

При использовании доэвтектических сплавов трудно получить намороженную корку равномерной толщины, особенно при большой высоте – 500 мм и более. Уже к моменту окончания заполнения формы в средней по высоте части отливки создается существенное утолщение.

В отливках из чистого алюминия наблюдаются резкие колебания толщины намороженной корочки в поперечном сечении. При строго цилиндрической наружной поверхности отливки сечение внутренней полости после слива имеет форму многоугольника (чаще 3–5 углов).

Наиболее равномерная толщина корки как в продольном, так и в поперечном сечениях отливки достигается при использовании эвтектического сплава АК12. Сплавы такого типа больше подходят и с точки зрения технологии литья. Поскольку у них наименьший коэффициент намораживания, случайные нарушения времени выдержки после заполнения формы расплавом приводят к меньшим отклонениям от заданных размеров толщины стенки. Кроме того, благодаря узкому интервалу кристаллизации резко снижается вероятность зарастания металлопровода при длительной выдержке, необходимой для получения толстостенных изделий, что привело бы к невозможности слива и нарушению нормального режима работы.

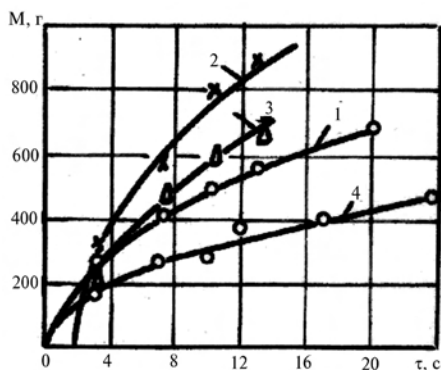


Рис. 6. Кинетика намораживания твердой корки в зависимости от состава сплава: 1 - Al; 2 - Al+4 % Si; 3 - Al+8 % Si; 4 - Al+11,5 % Si

слое жидко-твердой массы, которая при сливе удаляется вместе с расплавом.

Некоторое отставание роста твердой корки у эвтектического сплава по сравнению с чистым алюминием объясняется тем, что кремний повышает теплоту кристаллизации.

В доэвтектических сплавах после образования твердой корки сливается не весь жидкий остаток. Часть его задерживается в двухфазной твердо-жидкой зоне. А поскольку ширина двухфазной зоны по ходу затвердевания возрастает, объем удерживаемого ею расплава также увеличивается. Поэтому темп намораживания корки у доэвтектических сплавов значительно выше, чем у чистого алюминия и сплава эвтектического состава. Примерно через 16 с после заливки в

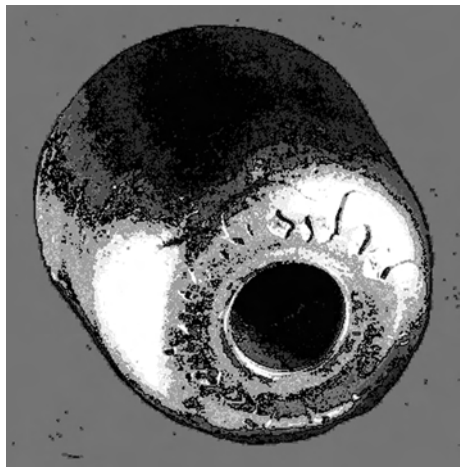


Рис. 7. Вид нижнего торца отливки с наплывами

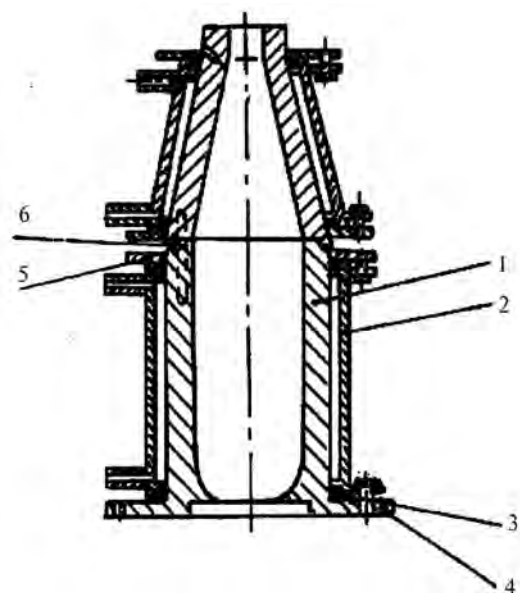


Рис. 8. Конструкция водоохлаждаемой металлической формы: 1 - рабочая стенка формы; 2 - кожух водяного охлаждения, 3 - резиновый уплотнитель; 4 - фланец; 5 - скользящий фланец, 6 - линия разъема формы

механических свойств, качества поверхности, повышении точности размеров. Выплавленные стержни снижают тепловую нагрузку на форму и тем самым повышают ее стойкость.



### Список литературы

1. Караник Ю. А., Конохов Ю. Г., Рахилькин В. Ш. Изготовление стальных корпусов // Литейщик России. - 2007. - № 8. - С. 36-40.
2. Котлярский Ф. М. Гидроудар в форме при литье под низким давлением // Литейн. пр-во. - 1988. - № 6. - С. 17-18.

Поступила 28.10.2008

Протяженные отливки в процессе их намораживания из-за продольной усадки отходят от фланца 3 (см. рис. 3), а в возникший зазор выдавливается жидкий металл с образованием наплывов (рис. 7). Чтобы избежать этого, необходимо уменьшить конический уклон выступа фланца.

Особого внимания заслуживает конструкция водоохлаждаемой металлической формы (рис. 8). Поскольку рабочая стенка 1 в процессе заливки и намораживания отливки разогревается до значительной температуры, а оформляющий водяное охлаждение кожух 2 остается холодным, последний в случае жесткого сварного соединения подвергается растяжению с образованием трещин. Этот недостаток был устранен путем замены сварного соединения резиновыми уплотнителями 3, прижимаемыми в нижней части к фланцу формы 4, а в верхней – к скользящему по форме фланцу 5.

В целом метод литья намораживанием под низким давлением обеспечивает высокое качество поверхности отливок, отсутствие газоусадочной пористости, позволяет получать выплавляемые стержни точных размеров и без литникового остатка, полностью механизировать процесс литья. Производительность установки с одноместной стальной формой составляет 60 отливок в час. При использовании многоместных форм производительность соответственно возрастает.

Использование металлических выплавляемых стержней при литье в металлические формы взамен стержней из других материалов открывает большие возможности в управлении процессом формирования отливки, повышении качества отливок (в частности, стальных корпусов специзделий [1]), их механических свойств, качества поверхности, повышении точности размеров.