



УДК 621.74

Поступила 11.03.2014

М. А. САДОХА, А. П. МЕЛЬНИКОВ, ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ИЗ ЦВЕТНЫХ И ЧЕРНЫХ СПЛАВОВ

Процесс получения литой детали в общем случае может быть представлен как ряд технологических переделов (металлургический, литейный, финишный), подразделяющихся на отдельные операции, выполнение каждой из которых связано с определенными затратами, прежде всего затратами энергии, материалов, труда и др. Для оценки резервов повышения эффективности процесса получения литой детали подробно рассмотрены все переделы и отдельные операции в их рамках с точки зрения энергопотребления как наиболее затратной статьи при производстве отливок.

Предложены варианты снижения расходов при производстве отливок. Рассмотрены различные технологии и оборудование для получения отливок.

Process of the cast part production can be generally presented as a number of technological limitations (metallurgical, foundry, finishing), subdivided into separate operations, carrying out of which is connected with certain expenses, first of all expenses of energy, materials, labor, etc.

For assessment of reserves of increase of the cast part production process efficiency all limitations and separate operations in their framework are considered in detail from the point of view of power consumption, as the most expensive item at castings production.

Известно, что производство отливок является энергоемким и материалоемким процессом. Установлено [1], что в среднем при производстве отливок в Швеции структура затрат энергии выглядит следующим образом (табл. 1):

Таблица 1

Технологическая операция	Доля в общем расходе энергии, %	
	отливки из стали и чугуна	легкие сплавы
Плавка, выдержка, разливка расплава	40	44
Формовка, изготовление стержней	20	19
Вспомогательные операции	40	37
ИТОГО	100	100

По данным [2], структура распределения потребления энергии при производстве отливок в Индии приведена в табл. 2.

Таблица 2

Технологическая операция	Доля в общем расходе энергии, %
Плавка, выдержка, разливка расплава	63
Формовка, изготовление стержней	9
Вспомогательные операции	28
ИТОГО	100

Имеется некоторое различие структур распределения потребления энергии из обоих источников, которые на самом деле не противоречат друг другу. Результаты исследования энергопотребления литейного производства Швеции [1] свидетельствуют о том, что для получения расплава и его выдержки используются преимущественно энергоэффективные плавильные средства (современные печи, технологии плавки, футеровочные и теплоизоляционные материалы). Значительное влияние на распределение энергопотребления оказывает и степень механизации и автоматизации других операций получения отливки (формовка, изготовление стержней, обеспечение норм экологии – вентиляция, газоочистка и др.). Чем выше механизация, тем затраты энергии на данные операции будут больше. В связи с этим данные по энергопотреблению литейного производства Индии [2] свидетельствуют о том, что имеет место использование менее энергоэффективных плавильных средств и применение во многих случаях ручного труда при формовке и производстве стержней и относительно небольшие затраты на вспомогательные операции.

Исходя из анализа представленных данных (табл. 1, 2), и учитывая, что уровень развития литейного производства в различных странах мира

отличается, можно говорить, что усредненно затраты энергии на плавку и выдержку расплава составляют 40–65% от количества всех затрат энергии на получение отливок, затраты на формовку и изготовление стержней – 10–20, расходы на вспомогательные операции – 30–40%.

Очевидно, что в любом случае наиболее значимые затраты энергии приходятся на плавку металла и выдержку расплава. Подробнее рассмотрим резервы экономии энергии в данных технологических операциях.

Анализ технологических операций плавки и выдержки расплава показывает, что резервы экономии энергии происходят за счет применения экономичных плавильных агрегатов (например, печей средней частоты при индукционной плавке и т. п.); применения энергоэкономичных агрегатов для выдержки расплава (например, для алюминиевых сплавов – применение печей с погружными нагревателями и т. п.); сокращения времени хранения расплава перед заливкой в форму (подбор оптимальных по производительности и емкости плавильных агрегатов и печей выдержки); пересмотра конструкции деталей и отливок с целью снижения их массы; применения технологий литья и мероприятий, обеспечивающих снижение массы литниковой системы; снижения брака отливок, что потребует меньшего количества жидкого расплава для получения конкретного количества отливок.

В результате анализа технических возможностей современных плавильных печей, агрегатов для хранения расплава и, учитывая возможные организационные мероприятия при литье, переход на «холодные» способы изготовления стержней, снижение удельного веса литниковой системы и т. п., расчетным путем получены данные (табл. 3), показывающие возможности влияния различных операций на снижение потребления энергии при производстве отливок.

Из данных таблицы можно сделать следующие выводы.

Во-первых, каждое из мероприятий по снижению расхода энергии позволяет существенно снизить потребление энергии вплоть до 63% от базового варианта технологии.

Во-вторых, по мере использования дополнительных мероприятий по экономии энергии существенно меняется общая структура потребления энергии: при сокращении доли операций «Плавка и выдержка расплава» и «Формовка и изготовление стержней» несколько увеличивается доля «Вспомогательные операции». Именно это различие прослеживается и при анализе расхода энергии на производство отливок в Швеции и Индии (табл. 1, 2). Это подтверждает, что в Швеции энергосберегающие мероприятия используются в большем объеме, чем в Индии.

Одним из вариантов сокращения энергопотребления при производстве отливок является применение технологий, обеспечивающих получение отливок с минимальной по размеру и массе литниковой системой. Рассмотрим данный фактор подробнее на примере производства отливок из алюминиевых сплавов методом литья в кокиль (гравитационная заливка).

При традиционном гравитационном литье в кокиль алюминиевых сплавов масса литниковой системы составляет 50–100% от чистой массы отливки. Таким образом, для получения одной отливки массой 1 кг необходимо расплавить, обработать и хранить до заливки от 1,5 до 2,0 кг расплава.

Значительно сократить массу литниковой системы возможно при использовании метода самозаполнения [3] (рис. 1).

Суть метода самозаполнения заключается в том, что расплав предварительно заливается в чашу, являющуюся частью кокиля (формы), после чего кокиль из горизонтального положения поворачивается в вертикальное, как показано стрелкой, и расплав медленно поступает в верхнюю часть кокиля и далее по кокилю – на верхнюю часть формирующейся отливки.

Т а б л и ц а 3

Технологическая операция	Вариант затрат энергии				
	усредненный базовый вариант затрат энергии	вариант 1 с учетом расчетного снижения затрат энергии на плавку	вариант 2 с учетом расчетного снижения затрат на формовку и изготовление стержней	вариант 3 с учетом расчетного снижения брака отливок	вариант 4 с учетом расчетного снижения массы литниковой системы
Номер варианта	1	2	3	4	5
Плавка и выдержка расплава, %	50	40	45	45	43
Формовка и изготовление стержней, %	20	24	15	15	14
Вспомогательные операции, %	30	36	41	41	43
Всего затрат энергии, %	100	100	100	100	100
Относительные затраты энергии, %	100	83	74	72	63



Рис. 1. Схема метода самозаполнения при верхней заливке расплава в кокиль

По мере заполнения нижней части кокиля и дальнейшего его поворота начинают заполняться лежащие выше слои отливки. Тем самым, обеспечивается направленность питания и кристаллизации отливки. Причем за счет скорости поворота можно найти оптимальное соотношение между скоростью кристаллизации и скоростью заполнения кокиля, обеспечить хорошее питание кристаллизующейся отливки. По этой причине значительно уменьшается требуемый объем прибылей, которые необходимы теперь только для питания верхних частей отливки.

В связи с этим за счет регулирования скорости поворота кокиля можно обеспечить для каждой зоны отливки заполнение при строго определенном напоре, т. е. создать идеальные условия для заполнения. В отличие от стационарного кокиля, где невозможно управлять напором, а можно лишь тормозить поток расплава различного рода элемен-

тами литниковой системы, при использовании метода самозаполнения протяженность (высота) отливки не имеет принципиального значения, так как высота отливки не определяет величину напора, при котором происходит поступление расплава в форму.

Таким образом, можно говорить о возможности получения методом самозаполнения отливок значительной протяженности, которые в стационарном кокиле, если и можно получить, то только со значительными усложнениями литниковой системы.

Фактически при литье методом самозаполнения отливку можно представить как последовательный ряд соединенных в единое целое отдельных мини-отливок, каждая из которых заполняется при оптимальном напоре после заполнения предыдущей (лежащей ниже). Главным при литье методом самозаполнения является подбор такого режима поворота кокиля, который позволит добиться полного соединения мини-отливок в одну большую отливку.

Следует отметить, что даже при заливке протяженных отливок расплав в полость кокиля начинает поступать при невысоких скоростях, обеспечивается ламинарность потокам расплава. Это обусловлено тем, что первые порции металла поступают в кокиль (в дальнюю его часть) при малом угле поворота кокиля. В данном случае напор H , который при литье в стационарные формы является величиной постоянной и определяется преимущественно высотой отливки, является переменной величиной и представляет собой функцию угла поворота кокиля φ :

$$H = f(\varphi). \quad (1)$$

В свою очередь угол поворота кокиля φ является также переменной величиной и представляет собой функцию времени t :



а



б

Рис. 2. Кокильная машина мод. 49102 для производства алюминиевых отливок методом самозаполнения (а) и пример полученных на ней отливок «Основание» (б)

$$\varphi = f(t). \quad (2)$$

Из этого следует, что фактически напор H является функцией времени t :

$$H = f(t). \quad (3)$$

Таким образом, согласно формулам (1)–(3), при samozаполнении возможно управление напором путем поворота кокиля с управляемой скоростью по режиму, который определяется особенностями геометрии отливки. В технологическом плане появляется дополнительно еще управляемый фактор процесса литья, значительно расширяющий возможности воздействия на режим заполнения кокиля расплавом и кристаллизации отливки.

Появляется возможность автоматизировать предварительно отработанный режим заполнения

кокиля расплавом, полностью исключив человеческий фактор из процесса, и заметно стабилизировать качество литья.

Метод samozаполнения позволяет значительно уменьшить литниковую систему (до 2–4 раз) при получении протяженных отливок по сравнению с литьем в стационарные кокиля. Чем протяженнее и габаритнее отливка, тем меньше удельная масса литниковой системы в расчете на единицу массы отливки за счет направленности кристаллизации.

Благодаря указанным преимуществам метод литья samozаполнением находит все более широкое применение в промышленности.

На рис. 2 показаны машина для производства отливок методом samozаполнения и пример полученных отливок.

Литература

1. Rohdin P., Moshfe gh B. Linköping Institute of Technology, Sweden. A study of Variable Air Volume (VAV) systems in foundries // Proceedings of Clima 2007. Well Being Indoors.
2. Energy efficiency in India, why and how// Foundry Trade Journal International. October 2010. Vol. 184. N 3678. P. 234–237.
3. Садох а М. А., Мельник о в А. П., Кра ев Б. А. и др. Метод samozаполнения при производстве алюминиевых отливок// Литье и металлургия. 2004. № 2. С. 153–155.