

ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСПЛАВ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ – ОДИН ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА ОТЛИВОК

Приведены результаты аналитических исследований эффективности использования давления при различных технологических схемах литья, предусматривающих использование данного параметра в качестве управляющего процессами формирования отливки. Представлена технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме и результаты ее применения при производстве отливок, заливаемых в кокиль.

Приведені результати аналітичних досліджень ефективності використання тиску при різних технологічних схемах лиття, що передбачають використання даного параметру в якості керуючого процесами формування виливка. Представлена технологія газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі та результати її використання при виробництві виливків, що заливаються в кокиль.

Results of analytical researches of efficiency of the use of pressure at the different methods of foundry, foreseeing the use of this parameter for the processes control of forming of cast. Technology of gaz-dynamic influence is represented on fusion in a cast form and results of its application at production of casts inundated in metal form.

Введение. Развитие новой техники и технологии на современном этапе сопровождается все возрастающими требованиями к уровню и стабильности механических свойств, отсутствию дефектов литого металла. При этом, основные технологические процессы гравитационной заливки и формирования отливок находятся на пределе своих возможностей с точки зрения дальнейшего повышения качества литья. Одним из путей решения данной проблемы является использование методов дополнительного физического воздействия и, в первую очередь, давления на процессы формирования качественного литого изделия на этапе перехода металла из жидкого в твердое состояние. Данный факт подтверждается созданием и промышленным освоением целого ряда технологий литья с применением давления (литье под давлением, литье под низким давлением, с противодавлением, литье с кристаллизацией под поршневым давлением, литье выжиманием и др.). Все эти способы, помимо общего параметра, управляющего процессами формирования отливки – давления, имеют свои, прежде всего, технологические особенности и степень сложности осуществления процесса, достоинства и недостатки. Поэтому разработка достаточно универсальных эффективных процессов внешних физических воздействий на затвердевающий металл является актуальной задачей, которая неизменно привлекает внимание технологов и исследователей. Одним из таких процессов, позволяю-

щих снизить непроизводительные потери металла и повысить его качество, является газодинамическое воздействие на расплав в литейной форме.

Анализ состояния вопроса. Способы приложения давления к металлу затвердевающей отливки можно разделить на три основные группы [1]. К первой относятся способы литья под всесторонним газовым давлением (ЛВГД): автоклавное литье, применение газостатов. Ко второй группе относятся те способы литья, в которых газовое или поршневое (пуансонное) давление передается посредством находящегося в тигле или камере сжатия расплава жидкому металлу внутри отливки и далее – к фронту затвердевания: литье под низким давлением, с противодействием, вакуумным всасыванием и т.п. Третью группу составляют способы литья под воздействием поршневого давления, которое передается жидкому металлу внутри отливки путем смятия наружной затвердевшей корочки поверхностью прессирующего поршня (пуансона).

Литье под всесторонним газовым давлением традиционно осуществляется в автоклавах. Данный способ получил свое развитие от первоначального варианта использования только для этапа затвердевания отливки [2], до осуществления процесса, начиная со стадии подготовки металла к заливке, последующего заполнения полости формы и затвердевания отливки [3]. Обычно, избыточное давление газа в автоклаве находится на уровне 0,4 – 0,6 МПа. Существует также вариант технологии ЛВГД с использованием автоклава, конструкция которого предусматривает наличие гидравлического пресса, с помощью которого возможно увеличение давления в камере до 25 МПа [4], однако, данный тип конструкций предусматривает значительные ограничения по массе и габаритам отливки.

В процессе формирования отливок при ЛВГД существенными являются изменения теплофизических характеристик используемого газа [5] и материала формы [6], непосредственно влияющие на интенсификацию теплообмена между отливкой и формой, как при плотном контакте, так и в зазоре [7]. Авторы [1, 8, 9] отмечают, что основной параметр, влияющий на продолжительность затвердевания и последующего охлаждения отливки при ЛВГД – величина давления: чем она больше, тем меньше продолжительность и выше скорость затвердевания.

В отличие от большинства известных способов литья, основанных на заливке дозированного количества жидкого металла непосредственно в рабочую полость формы или в промежуточное заливочное устройство (например, камеру прессования машины литья под давлением), при литье под низким давлением (ЛНД) жидкий металл, находящийся в тигле, металлопроводе и рабочей полости формы, в течение всего процесса формирования отливки составляет замкнутую систему. Технологическая схема ЛНД предусматривает возможность интенсификации теплообменных процессов между отливкой и формой за счет более плотного контакта под действием давления жидкого сплава внутри отливки, в том числе, за счет увеличения плотности сжимаемых расплавом в микронеровностях поверхности формы

газовых включений. По данным [1] в пределах используемого при ЛНД перепада давлений (0,017 – 0,15 МПа) продолжительность затвердевания отливок по сравнению с кокильным литьем сокращается на 15 – 40 %. Однако, конечный результат действия перепада давлений на продолжительность затвердевания отливки зависит от положения сплава на диаграмме состояния [1]. Например, под действием одной и той же величины перепада давлений продолжительность эвтектической кристаллизации сплавов системы Al-Si сокращается в 1,5 – 2 раза интенсивней, чем в период затвердевания сплавов в интервале температур [1].

ЛНД оказывает существенное влияние на структуру, физико-механические и эксплуатационные свойства отливок. Так, по данным [10] в отливках из заэвтектического сплава ВКЖЛС-2 воздействие низкого давления вызывает эффект модифицирования первичного кремния, размеры кристаллов которого под давлением 0,05 МПа уменьшаются в ~ 1,5 раза, а при давлении 0,075 МПа – в 2 раза. Плотность металла отливки толщиной 10 – 50 мм повышается на 1,3 %, твердость – на 8 %, а прочность на разрыв – более чем на 20 %. В зависимости от степени эвтектичности чугуна, температуры заливки и избыточного давления прочностные свойства стандартных цилиндрических образцов \varnothing 30 мм, полученных в сухих формах из песчано-жидкостекольной смеси, в среднем увеличиваются на 10 – 35 %, твердость – на 1,0 – 2,2 %. Положительное действие избыточного давления отмечается также при получении отливок из стали и медных сплавов [10].

Реализация механического давления на расплав в литейной форме (матрице) осуществляется поршневым, пуансонным, пуансонно-поршневым прессованием [1, 8] и передается непосредственно металлу формирующейся в матрице заготовки без использования литников или камер прессования. В процессе литья под поршневым давлением порядка 100 – 200 МПа достигается значительная интенсификация процесса затвердевания отливки. Продолжительность затвердевания отливок из широкой гаммы сплавов сокращается от 1,5 до 3 – 4 раз [1, 8, 11, 12]. При этом, увеличение времени выдержки расплава в матрице до начала прессования приводит к значительному перепаду давлений по высоте заготовки из-за необходимости увеличения усилия для деформации нарастающего на стенках матрицы слоя затвердевшего металла. В работе [13] показано, что каждому значению относительной толщины затвердевшей корки металла соответствует критическое давление прессования $p_{кр}$, ниже которого в отливке остается объем расплава, затвердевающий при отсутствии давления. Так, в стальной отливке радиусом $R = 45$ мм критическое давление при достижении толщины корки $\delta_{те} = 0,8 R$ составляет 50 МПа, а при $\delta_{те} \approx R$ давление $p_{кр} > 100$ МПа без учета дополнительных потерь усилия прессования на преодоление сил трения в контактной зоне отливки со стенками матрицы [1]. По данным [14] эти потери достигают 20-40% приложенного к поршню исходного давления. Для того, чтобы весь объем металла отливки затвердел под действи-

ем заданного избыточного давления $p_{изб}$, прикладываемое к поршню усилие $p_{исх}$ должно выбираться с учетом компенсации потерь давления на преодоление сопротивления деформируемой корки $p_{кр}$ и потерь на трение в контактной зоне $p_{тр}$ [1]:

$$p_{исх} \geq p_{изб} + p_{кр} + p_{тр} \quad (1)$$

Данная особенность процесса приводит к тому, что способ литья с кристаллизацией под поршневым давлением обладает наиболее низким коэффициентом полезного использования давления $K_{эф}$ [1] по сравнению с литьем под регулируемым перепадом давлений или автоклавным литьем (табл. 1). Данный коэффициент представляет отношение безразмерных величин сокращения продолжительности затвердевания отливки под действием приложенного давления к приросту последнего:

$$K_{эф} = \frac{(t_0 - t_p) p_{исх}}{t_0 (p_{раб} - p_{исх})}, \text{ МПа}, \quad (2)$$

где t_0 и t_p – продолжительность затвердевания отливки (с) под воздействием исходного $p_{исх}$ и повышенного рабочего $p_{раб}$ давления (МПа).

Таблица 1

Эффективность воздействия давления на затвердевание отливок в зависимости от способа приложения [1]

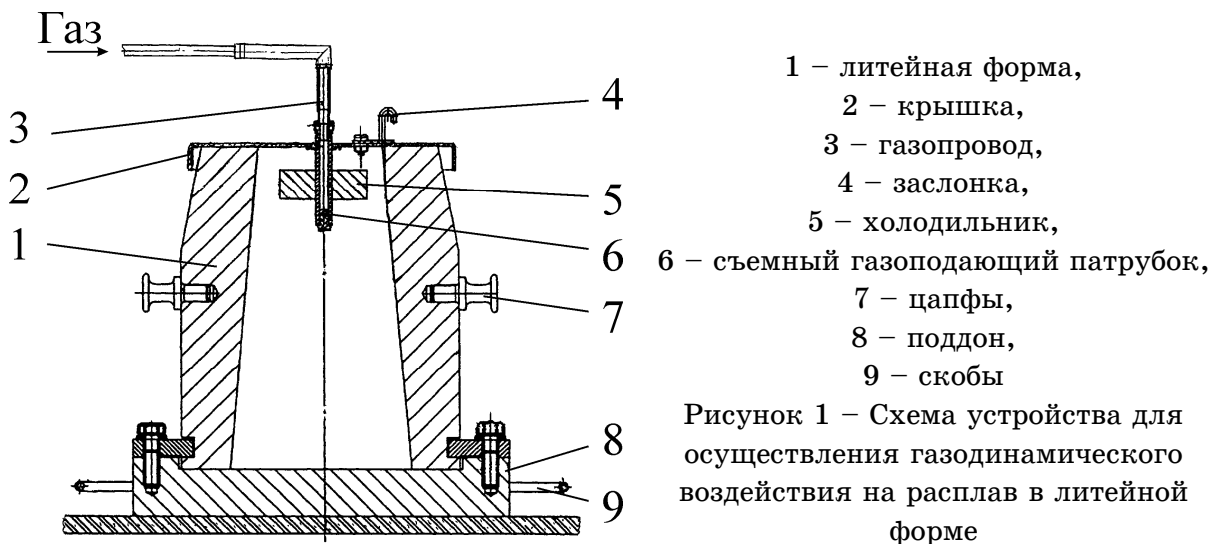
Давление	Металл, сплав	Диаметр отливки, мм	$\frac{t_0 - t_p}{t_0}$	$\frac{P_{раб} - p_0}{p_0}$	Кэф
Поршневое	Al+ 11,9% Si	50	0,722	351,5	$2 \cdot 10^{-3}$
	AK12	80	0,625	200,0	$3,1 \cdot 10^{-3}$
	Zn	30	0,852	100,0	$8,5 \cdot 10^{-3}$
	Zn	30	0,782	500	$1,5 \cdot 10^{-3}$
	Zn	30	0,478	25,0	$1,9 \cdot 10^{-2}$
	ЛЦ40Мц3А	50	0,440	100,0	$4,4 \cdot 10^{-3}$
	ЛЦ40Мц3А	50	0,520	200,0	$2,6 \cdot 10^{-3}$
	Al	50	0,650	100,0	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Al	50	0,700	200,0	$3,5 \cdot 10^{-3}$	
Автоклавное	AK9ч	20	0,680	24,0	$2,5 \cdot 10^{-2}$
	AK9ч	20	0,250	8,0	$3,1 \cdot 10^{-2}$
	AK9ч	20	0,140	5,0	$2,8 \cdot 10^{-2}$
	AK8М3ч	60	0,450	6,5	$6,9 \cdot 10^{-2}$
	AK12	60	0,400	4,5	$6,8 \cdot 10^{-2}$
ЛНД	ВКЖЛС	30	0,320	0,15	2,1
	ВКЖЛС	30	0,190	0,08	2,3
	AK12	—	4,000	0,025	1,6·10

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что относительное сокращение времени затвердевания отливок для всех рассматриваемых способов литья при показателях рабочего давления 0,08 – 350 МПа изменяется незначительно по сравнению с изменением коэффициента $K_{эф}$, значения которого находятся в широком диапазоне. Наибольшие значения указанного коэффициента соответствуют способу ЛНД. В условиях действия поршнево-

го или автоклавного давления, существенная его часть расходуется на преодоление сопротивления образующихся на стенках формы и поверхности прибыли корочек затвердевшего металла. Следовательно, воздействие давления оказывается наиболее эффективным, когда оно в течение всего процесса передается непосредственно жидкой фазе внутри затвердевающей отливки. Кроме того, эффективность способа зависит от степени сложности конструкции и особенностей эксплуатации оборудования, необходимого для осуществления технологического процесса, использования вспомогательных материалов, дополнительного персонала и т.п. Этим условиям отвечает разработанная на кафедре литейного производства Национальной металлургической академии Украины технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме [15, 16], предусматривающая затвердевание отливки под регулируемым газовым давлением после герметизации металла в рабочей полости литейной формы.

Целью настоящей работы является разработка технологии газодинамического воздействия на затвердевающий расплав в литейной форме, а также ее представление, в том числе, с точки зрения эффективности и перспективности использования способа наряду с уже известными технологиями данного направления.

Основной материал. Способ осуществления газодинамического воздействия на расплав в литейной форме [15] реализуется с помощью соответствующего устройства [16]. Схема одного из вариантов конструкции представлена на рисунке 1.



Устройство для получения отливок состоит из литейной формы 1, крышки 2, которая расположена на ее поверхности, газопровода 3, соединенного с внешним источником подачи газа (на схеме не показана). Крышка имеет заслонку 4, используемую для визуального наблюдения за рабочей полостью формы. В состав конструкции также входит холодильник 5, закрепленный на съемном газоподающем патрубке 6.

Основные технологические операции осуществляются следующим образом. Литейную форму 1 с помощью подъемно-транспортного оборудования устанавливают и крепят на поддоне 8, который, в свою очередь, перемещается и устанавливается на заливочной площадке подъемно-транспортным оборудованием с помощью скоб 9. Отдельно производят соединение газопровода 3 с газоподающим патрубком 6. Затем на газоподающем патрубке с помощью фиксаторов или сваркой закрепляют холодильник. После этого в рабочую полость литейной формы заливают металл. При этом газопровод, как и всю систему подачи газа, соединяют с атмосферой при помощи специально установленного вентиля (на схеме не показано). Затем вручную или при помощи грузоподъемного оборудования на поверхность металла в форме опускают холодильник и погружают его в расплав, преимущественно, до тех пор, пока он не окажется полностью облитым расплавом. В таком положении производится выдержка в течение промежуточного времени, необходимого для прохождения процесса герметизации системы отливки – устройство для ввода газа. Затем устанавливают крышку 2, перекрывают внешнюю систему подачи газа, которая связана с атмосферой и подают сжатый газ через газопроницаемую пробку, которой перекрыт газоподающий патрубок 6.

Таким образом, на жидкий и затвердевающий металл отливки от внешнего источника подается регулируемое газовое давление до момента полного затвердевания отливки. Процесс происходит при герметизации отливки за счет образования на ее внешней поверхности слоя затвердевшего металла такой толщины, которая позволяет осуществлять газодинамическое воздействие без опасности разрушения герметизирующей корки под воздействием создаваемого внутри отливки газового давления. При этом, давление в течение всего процесса затвердевания передается непосредственно жидкой фазе внутри отливки. После затвердевания отливки подачу сжатого газа прекращают и систему соединяют с атмосферой, чем выравнивают давление в отливке с атмосферным. Затем отсоединяют газоподающий патрубок 6 от газопровода 3, а остывшую до температуры выбивки отливку извлекают из литейной формы и отправляют на осуществление дальнейших технологических операций обработки.

Данная технология была опробована в промышленных условиях при производстве отливок из углеродистой стали, стали X12Ф1 и алюминиевых сплавов, заливаемых в кокиль. Так, одно из промышленных испытаний работы установки для осуществления газодинамического воздействия на расплав, конструкция которой аналогична представленной на рис. 1., было проведено в условиях литейного цеха ОАО «Днепропетровский агрегатный завод».

После приготовления расплава массой 172 кг (сталь 35Л), осуществляли заливку непосредственно из печи ИСТ-016 в окрашенный и подогретый до температуры 400°C стальной вытряхной кокиль со средней толщиной стенки 100 мм, высотой рабочей полости 550 мм и средним диаметром

240 мм. Температура выпуска – 1620 °С. Источником газа был баллонный резервуар с аргоном под давлением 15 МПа. Для подачи газа от резервуара использовали трубопровод, состоящий из металлической трубы и гибкого рукава высокого давления (ГОСТ 10704-73). Для контроля за давлением в системе предусмотрен манометр. Также система оснащена вентилями подачи газа и соединения с атмосферой, регулируемым предохранительным клапаном и редуктором. Исходящее из редуктора баллона давление газа было установлено на уровне 5 МПа.

После заливки формы погружали герметизирующий холодильник под уровень расплава (рис. 2).

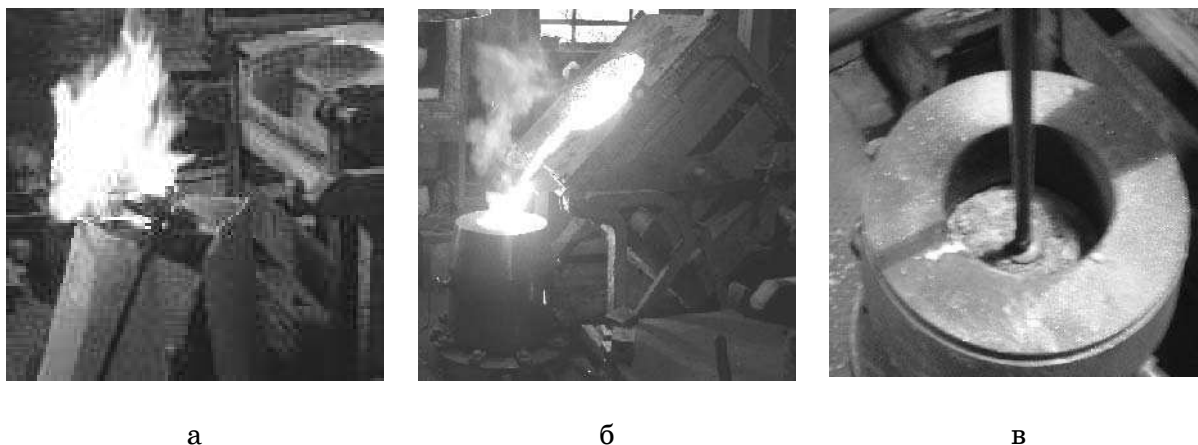


Рисунок 2 – Этапы осуществления технологического процесса: а – прогрев экспериментального кокиля и герметизирующего холодильника, б – заливка формы, в – герметизация системы отливка – устройство для ввода газа

К моменту начала работы установки вентиль, сообщающий систему с атмосферой, остается открытым, во избежание прорыва формирующегося слоя затвердевшего металла, герметизирующего отливку. Затем проводили выдержку в течение времени, необходимого для герметизации системы (в данном случае ~ 1 мин.), после чего перекрывали вентиль, сообщающий систему подачи газа с атмосферой, и открывали вентиль подачи аргона из баллона, одновременно отслеживая по манометру скорость увеличения давления в системе.

Необходимо отметить, что преимуществом процесса газодинамического воздействия на расплав с использованием внешнего источника газа, в отличие от технологических схем, предусматривающих фиксированное количество газообразующего вещества в качестве источника создаваемого внутри отливки давления, в том числе является возможность осуществления процесса даже в случае разгерметизации системы в процессе работы вследствие прорыва газом герметизирующей корки металла. Это преимущество наглядно проявилось при проведении описываемых промышленных испытаний разработанной технологии. Так, в одном из экспериментов, на 25-й секунде от начала подачи газа в отливку при давлении 2,5 МПа произошел прорыв герметизирующего слоя металла на боковой поверхности отливки.

В этот момент скорость нарастания давления в системе составляла 0,4 МПа/с. После чего немедленно был открыт вентиль, сообщающий систему с атмосферой, и произошло частичное «залечивание» участка прорыва газа. Затем вентиль, сообщающий систему с атмосферой, был закрыт и открыт вентиль подачи газа от внешнего источника. В течение последующих 10 минут проводилось наращивание давления в системе до 4 МПа с разной скоростью, и при этом давлении производилась выдержка в течение 5 мин. Общее время выдержки системы под давлением незначительно превышало время затвердевания данной отливки. По окончании выдержки открыли вентиль, соединяющий систему с атмосферой, выровняли давление в системе с атмосферным, отсоединили газопровод и после охлаждения отливки извлекли ее из литейной формы.

Исследования свойств металла проводили в сравнении с металлом той же марки, полученным по традиционной технологии. С этой целью провели разрезку соответствующих заготовок для проведения металлографических исследований, химического анализа, определения механических свойств литого металла, выявления неоднородности распределения серы и др. [17]. Проведенные исследования показали, что газодинамическое воздействие оказывает позитивное влияние на структуру и свойства стали. Микроструктура металла отливки сравнительной плавки (традиционная технология литья в кокиль) соответствует, в основном, 5-му баллу по шкале микроструктур углеродистых сталей, а металл экспериментальной плавки – 4-му баллу. Макроструктура металла экспериментальной плавки отличается плотным дендритным строением, практически лишенным газоусадочных и ликвационных дефектов в отличие от литого металла, полученного по традиционной технологии, который имел большое количество газовых пор. Под воздействием давления образовалась концентрированная усадочная раковина, а усадочная пористость отсутствовала, что дает возможность использования прибылей меньшего объема.

Улучшаются механические свойства литого металла (рис. 3, 4): временное сопротивление разрыву увеличивается в срединной части на ~ 9%, в осевой зоне – на ~ 17 %; относительное удлинение увеличивается с 11,6% до 13% в наружных слоях отливки, с 10% до 15% в срединной части и с 8,5% до 13% в осевой зоне. Кроме того, увеличилась средняя твердость литого металла экспериментальной плавки в сравнении с металлом, полученным по традиционной технологии, с 205 НВ до 238 НВ.

Известно, что для сплавов с широким интервалом кристаллизации характерна наиболее широкая зона затвердевания. Это влечет к появлению дефектов литого металла (прежде всего, пористости), а также к необходимости применения специальных технологических мероприятий, направленных на снижение соответствующих негативных последствий. К такого рода мероприятиям можно отнести технологический процесс газодинамического воздействия на расплав в литейной форме, который позволяет создавать ус-

ловия и осуществлять нарастающее газовое давление в объеме отливки вплоть до полного ее затвердевания.



Рисунок 3 – Влияние газодинамического воздействия на временное сопротивление металла отливки из углеродистой стали, заливаемой в кокиль

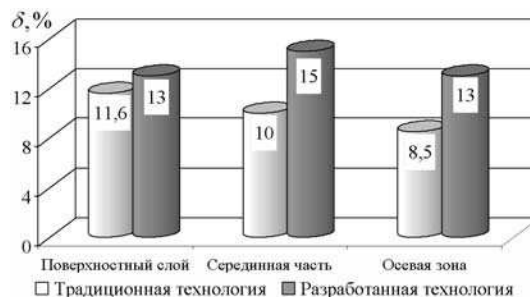


Рисунок 4 – Влияние газодинамического воздействия на относительное удлинение металла отливки из углеродистой стали, заливаемой в кокиль

Под воздействием давления создаются условия для уплотнения металла в двухфазной зоне, что на микроуровне проявляется также в частичном обламывании ветвей растущих дендритов, их перемещении (микроремешивание жидко-твердого сплава) и недопущении локализации значительных объемов жидкости, приводящей, в последствии, к образованию пористости в отливке.

Это подтверждается результатами промышленных испытаний разработанной технологии при получении отливок из стали X12Ф1 массой 163 кг в той же форме, что и описанные выше отливки из углеродистой стали. При газодинамическом воздействии образовалась концентрированная усадочная раковина, при этом количество пористости в отливке уменьшилось в несколько раз.

При производстве отливок деталей «Опорный наконечник стойки конвейера» массой 2,2 кг на ЗАО «Горизонт» (г. Днепропетровск), изготавливаемых из сплава SC51A (по ASTM США, отечественный аналог – сплав АК5М (ДСТУ 2839 – 94)) и заливаемых в кокиль, в порядок операций технологического цикла были включены следующие этапы: введение в рабочую полость формы устройства для подачи газа оригинальной конструкции, выдержка отливки с устройством в течение заданного промежутка времени, подача газа (аргона) с начальными показателями давления 0,15 – 0,2 МПа, последующее наращивание давления до 1 – 1,1 МПа и выдержка под давлением до полного затвердевания отливки. В результате внедрения указанной технологии количество брака отливок по рыхлотам и газовым раковинам сократилось на 28 %.

Выводы

1. Проведенный анализ литературных источников по теме работы показал, что воздействие давления на процессы формирования отливки оказывается наиболее эффективным, когда оно в течение всего времени затвердевания передается непосредственно жидкой фазе внутри отливки, и

далее – к фронту затвердевания, при этом, ключевую роль играет способ приложения давления, а не его абсолютная величина.

2. Одним из преимуществ разработанной технологии газодинамического воздействия на затвердевающий металл является то, что в отличие от технологии литья под низким давлением, литья под всесторонним газовым давлением и др., не предусматривается наличие специального оборудования, усложнение конструкции литниковой системы и, практически, нет ограничений по массе и габаритам литой заготовки.

3. Осуществление процесса газодинамического воздействия на расплав с использованием внешнего источника газа возможно даже в случае разгерметизации системы в процессе работы вследствие прорыва газом герметизирующей корки металла, в отличие от технологических схем, предусматривающих фиксированное количество газообразующего вещества в качестве источника создаваемого внутри отливки давления.

4. В результате экспериментальных исследований и промышленных испытаний разработанной технологии при изготовлении отливок из углеродистой стали, стали Х12Ф1 и алюминиевых сплавов, заливаемых в кокиль, установлено позитивное влияние газодинамического воздействия на механические свойства литого металла и зафиксировано снижение количества дефектов газоусадочного происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Г.П. Давление в управлении литейными процессами. – Киев.: изд. Наук. думка, 1988. – 272 с.
2. Бочвар А.А., Спасский А.Г. Опыт освоения литья с кристаллизацией под всесторонним давлением // Авиапромышленность. – 1936. – 7, № 6. – С. 12-18.
3. Белоусов Н.Н., Кашевник Л.Я. Формирование структуры и свойств отливок из медных сплавов под всесторонним газовым давлением // Новое в литье под низким давлением. – Киев, 1971. – С. 21-28.
4. Влияние всестороннего газового давления на структуру и свойства отливок из сплава АЛ9М / П.И. Вершинин, Н.Н. Белоусов, В.П. Машковцев и др. // Литейное производство. - 1985. - № 9. - С. 11 – 12.
5. Вейник А.И. Расчет отливки. – М.: Машиностроение, 1964. – 403с.
6. Белоусов Н.Н., Вейник А.И., Гольдман И.А. Влияние давления газа на термофизические свойства песчано-глинистых форм // Приложение теплофизики в литейном производстве. – Минск: Выш. шк., 1966. – С. 157-161.
7. Кузнецов В.П., Магницкий О.Н. Затвердевание титановых сплавов в условиях всестороннего газового давления // Тепловые процессы в отливках и формах. – М: Наука, 1972. – С. 156-161.
8. Батышев А.И. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением. М.: Металлургия, 1977. – 151 с.
9. Борисов Г.П., Семенченко А.И. Перспективы использования высоких и сверхвысоких давлений при производстве отливок ответственного назначения // Литейные свойства сплавов. – Киев, 1972. – С. 36-41.

10. Специальные способы литья: Справочник /В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.; Под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.
11. Новрузов Г.Д., Касумзаде Н.Г. Влияние давления на кинетику затвердевания чугуна // Литейные свойства сплавов. – Киев, 1972. – С. 210-212.
12. Изменение температуры сплавов, закристаллизованных под давлением / Т.Н. Липчин, М.А. Томсинская, П.А. Быков и др. // Сб. науч. тр. Перм. политехн. ин-та. – 1973. - № 131. – С. 85-90.
13. Асташов А.Ф., Этогорова Н.В., Ломтев В.В. Изменение давления при поршневом прессовании отливок // Литейное производство. – 1976. - №3. – С. 31.
14. Марков В.В. О влиянии трения между отливкой и формой на потери усилий при жидкой штамповке // Литейное производство. – 1981. - №4. – С. 19.
15. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) В22D 18/00 Спосіб отримання виливків/ Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28858 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21.
16. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) В22D 18/00 Пристрій для отримання виливків/ Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28859 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21.
17. Селівьорстов В.Ю. Дослідження газодинамічного впливу на властивості литої вуглецевої сталі // Теория и практика металлургии. – 2007. - № 4-5. – С. 22-25.