

Ф. М. Котлярский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОРМОЙ

Обобщены исследованные в ФТИМС НАНУ факторы силового, теплового и газового взаимодействий отливок из алюминиевых сплавов с металлической формой.

Ключевые слова: *алюминиевые сплавы, металлическая форма, предусадочное расширение, гидравлический удар, регулируемый теплообмен, образование зазора.*

Узагальнено досліджені у ФТИМС НАНУ фактори силової, теплової та газової взаємодій виливків з алюмінієвих сплавів з металевою формою.

Ключові слова: *алюмінієві сплави, металева форма, передусадочне розміщення, гідравлічний удар, регульований теплообмін, утворення зазора.*

Factors of power, thermal and gas interaction of founding from aluminium alloys with a metallic form, that was investigated in PTIMA NASU, are generalized in this article.

Keywords: *aluminium alloys, metallic form, preshrinking location, hydraulic blow, anaged heat exchange, formation of gap.*

В литературных источниках [1-3] широко освещается вопрос образования горячих и холодных трещин в результате сопротивления формы (особенно металлической) свободной усадке затвердевающей и охлаждающейся отливки. В то же время в ФТИМС НАН Украины исследован ряд других менее изученных факторов взаимодействия отливки с кокилем (тепловых, силовых, газовых), оказывающих существенное влияние на формирование и качество отливок из алюминиевых сплавов. Однако результаты этих исследований опубликованы в разрозненных статьях на протяжении нескольких десятилетий, поэтому целью настоящей статьи является их обобщение в последовательности оказываемого влияния.

Уже в процессе заполнения формы расплавом появляются несколько факторов, определяющих скорость последующего затвердевания и качество поверхности отливки. Во-первых, с использованием новой методики определения интенсивности контактного теплообмена по количеству тепла, передаваемого расплавом АК12, имитирующему кокиль телу из нержавеющей стали, было установлено [4], что уже с первых секунд контакта эта интенсивность зависит от металлостатического напора (рис. 1), качества контактирующих поверхностей (табл. 1) и газонасыщенности расплава (табл. 2). Как видно, повышение металлостатического напора от 4 до 100 мм интенсифицирует теплообмен в 1,5-2,0 раза, газонасыщение расплава и грубая обработка поверхности кокиля понижают этот показатель примерно на 10 %, а зачерпывание расплава с поверхностной окисной пленкой может стать причиной существенного снижения скорости охлаждения (до 20 %) при малом напоре.

В этих экспериментах особый интерес вызывает значительная роль металлостатического напора при шлифованной поверхности кокиля и отсутствии окисной пленки на расплаве (рис. 1). Что в этих условиях создает зазор между расплавом и кокилем? Зазор, на который можно так эффективно воздействовать в плане теплообмена с помощью очень низкого давления. Причем, этот эксперимент не единичный. В работе [5] с изменением высоты прибыли в пределах 400 мм затвердевание отливок размером 110x90x27 мм из эвтектического и заэвтектического силуминов сокращалось до 25 %. Максимальный эффект достигался при получении из спла-

Затвердевание сплавов

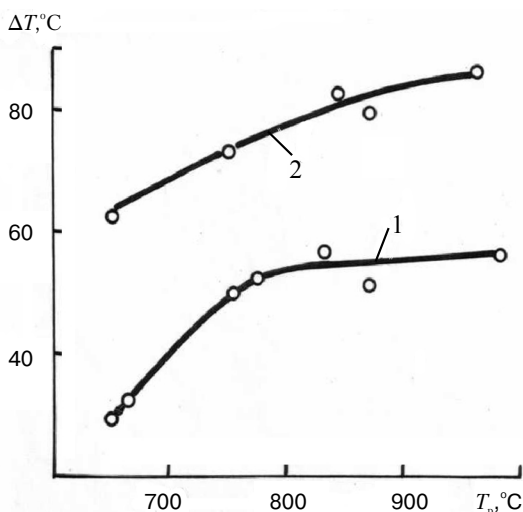


Рис. 1. Влияние температуры расплава (T_p) на приращение температуры (ΔT) погружаемого тела с шлифованной поверхностью при металлостатическом напоре 4 (1) и 100 мм (2)

ва АК12 дисков диаметром 100 мм и толщиной 19 мм в кокиле с газопроницаемыми стенками, выполненными в виде рулона стальной ленты. В процессе гравитационного заполнения формы расплавом при температуре 780 °С через такие стенки в контактной зоне создавали разрежение. Полученные результаты приведены на рис. 2. Как видно, при разрежении до остаточного давления 300 мм рт. ст. продолжительность затвердевания отливки сокращалась почти в 3 раза. Дальнейшее увеличение разрежения малоэффективно. Задержка времени создания разрежения даже в несколько секунд от начала заполнения кокиля приводит к существенному увеличению продолжительности затвердевания. Это значит, что условия теплообмена в системе отливка-форма закладываются с момента соприкосновения расплава со стенками формы.

Таблица 1. Влияние качества контактирующих поверхностей на интенсивность теплообмена расплава с металлической формой

Качество поверхности		Металлостатический напор, мм	
		4	100
формы	расплава	приращение температуры, °С	
Шлифованная	очищенная	51	73
Шлифованная	20-60 мин без очистки	40	70
Грубая обработка (Rz 80)	очищенная	49	66
То же со слоем краски 0,05-0,1 мм	очищенная	24	48

Примечание: при $H = 4$ мм $T_\phi = 34 \pm 6$ °С; при $H = 100$ мм $T_\phi = 74 \pm 14$ °С; $T_p = 760 \pm 20$ °С

Таблица 2. Влияние газонасыщенности расплава на теплообмен с формой

Температура, °С		Приращение температуры, °С	
расплава	формы	до газонасыщения	после газонасыщения
760±10	35±5	50	44,5
	55±5	48	44
	80±5	44	40

С учетом изложенного вероятной причиной возникновения зазора между расплавом и кокилем, по мнению автора, является преусадочное расширение (ПР). При понижении температуры пристеночного слоя расплава ниже ликвидуса с переходом в жидко-твердое состояние размеры этого слоя под действием ПР увели-

чиваются. А поскольку конструкция металлической формы жесткая, этот слой вынужден деформироваться, и на поверхности отливки образуются рассредоточенные впадины и гофры [6]. Поэтому речь должна идти не о зазоре, а о несплошности контакта расплава с кокилем. Естественно, с увеличением внутреннего металло-статического напора или внешнего разрежения площадь контактирующих участков возрастает с соответствующим ускорением затвердевания отливки. На этом принципе построена технология литья в кокиль с регулируемым теплообменом [7], в которой для усиления эффекта гофры (рифление) созданы искусственно на рабочей поверхности кокиля. В результате представляется возможным производить заливку с низкой интенсивностью теплообмена, что

способствует качественному заполнению формы малоперегретым расплавом, и последующее затвердевание отливки на той же поверхности с высокой интенсивностью теплообмена, достигаемой путем повышения давления со стороны прибыли или вакуумирования зоны контакта отливки с кокилем, что повысит механические свойства литого металла. Рифление рабочей поверхности кокиля можно заменить слоем теплоизоляционной краски. При толщине такого слоя 0,25 мм вакуумирование контактной зоны обеспечивает продолжительность затвердевания, характерную для неокрашенного кокиля без вакуумирования.

Есть еще один фактор, который вступает в действие на стадии заливки в условиях литья с применением металлических стержней и выявляются, обычно, случайно. Так, при литье под низким давлением силуминовых поршней двигателя СМД-4 после извлечения стержней через 30-40 с от момента заливки (время полного затвердевания 70 с) происходило локальное выдавливание наружу жидкого металла сквозь поверхность отливки, контактировавшей с нижней частью стержня, хотя при наличии водяного охлаждения стержней в сочетании с близким к эвтектическому составом сплава следовало ожидать образования плотной твердой корочки сразу после заливки. Задержка извлечения стержня до окончания затвердевания отливки также не гарантировала четкого отпечатка оформляемой им поверхности. Несмотря на кажущийся плотный контакт между сжимающейся под действием усадки корочкой отливки и расширяющимся от нагрева стержнем, на том же участке наблюдались выпоты, свидетельствующие о наличии зазора, в который в процессе затвердевания выдавливались капельки расплава. А при кокильном литье силуминовых втулок на поверхности со стороны металлического стержня встречаются крупные открытые раковины, свидетельствующие об отсутствии намораживания залитого металла на отдельных участках стержня.

В результате специально выполненных исследований [8] установили, что причиной указанных дефектов было выделение газов из материала стержня, использование стержней в неокрашенном и недостаточно подогретом (ниже 300 °С) состоянии. Под действием газового давления плоские поверхности отливки, как наименее жесткие, отходят от стержня, образуя зазор и раковины, а на более жестких цилиндрических поверхностях выделяющийся газ удаляется через отверстия, возникшие под его воздействием в наиболее слабых местах корочки. Покрытие стержней, нагретых до температуры 150 °С, слоем краски на основе мела или окиси

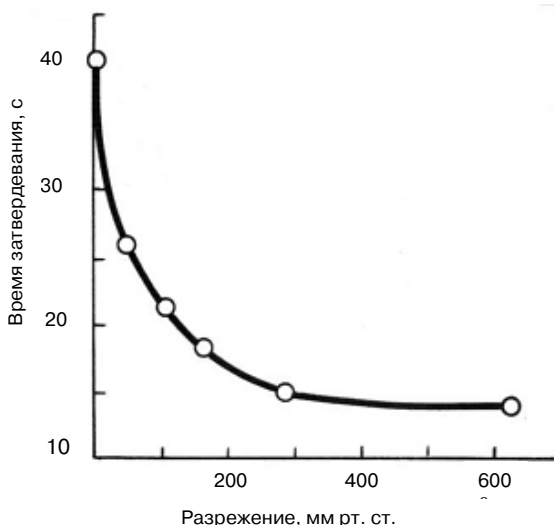


Рис. 2. Зависимость продолжительности затвердевания от величины разрежения в контактной зоне

Затвердевание сплавов

цинка толщиной 0,2 мм привело к полному устранению газовых дефектов даже при исходной температуре погружаемых стержней 25-30 °С. Газопроницаемости краски оказалось достаточно для заполнения глухих отверстий диаметром и высотой 20 мм.

В описанных экспериментах с окрашенными стержнями слой краски выступал за пределы погружения и поэтому постоянно сообщался с атмосферой. Поскольку в реальных условиях литья это условие не всегда соблюдается, были проведены также опыты, в которых окрашивалась только нижняя часть стержня высотой 40 мм, тогда как глубина погружения составляла примерно 90 мм. Полученные образцы оказались пораженными грубыми дефектами со сквозными отверстиями, вытянутыми по границе раздела окрашенного и неокрашенного участков. Таким образом, положительная роль слоя краски обеспечивается сочетанием его газопроницаемости и наличия связи с атмосферой.

Аналогичные исследования, выполненные с использованием стержней из различных материалов (чугуна, стали, латуни), показали, что наихудшие результаты дает чугун, наилучшие – сталь. Промежуточное качество образцов, замороженных на латунном стержне, по отношению к алюминиевым сплавам доказывает несущественность отмеченной в работе [9] связи между образованием в отливках газовых дефектов и выгоранием углерода из поверхностных слоев чугунных или стальных стержней.

В момент окончания заполнения кокиля расплавом возникает гидравлический удар. Вероятность значительного гидравлического удара повышается при литье под низким давлением, когда остановка расплава происходит почти мгновенно [5]. Пристеночный слой отливки, подвергаясь знакопеременному силовому воздействию гидравлического удара, совершает колебательное движение, поочередно прижимаясь к стенке формы и отходя от нее. Характерным недостатком от гидравлического удара является возникновение на поверхности отливки сотовых раковин (рис. 3, а). В окрашенном кокиле эти раковины образуются в основном при заливке исследуемых сплавов (АК7, АК12) при температуре 700-740 °С со скоростью более 20 см/с. С повышением скорости степень пораженности возрастает. Дальнейшее увеличение температуры перегрева расплава и снижение интенсивности теплообмена со стороны кокиля за счет повышения его температуры или утолщения теплоизоляционного покрытия способствуют залечиванию раковин (рис. 3, б). В неокрашенном кокиле дефекты на поверхности отливок возникали при очень больших скоростях заливки (100-150 см/с), причем в большинстве случаев они имели вид не полностью залеченных углублений.

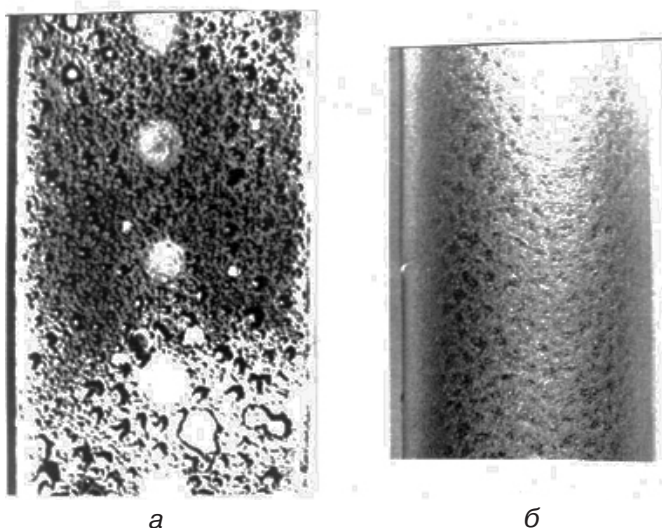


Рис. 3. Поверхность отливок после гидравлического удара

Затвердевание сплавов

Анализ полученных результатов позволил предположить следующий механизм воздействия гидравлического удара на формирование поверхности отливок. Вначале после резкой остановки потока повышается давление на величину, прямо пропорциональную скорости движения жидкости до момента ее остановки. В этот период уплотняется контакт между отливкой и формой, интенсифицируется процесс образования твердой фазы в пристеночном слое (рис. 4, а). Затем наступает период разрежения, при котором пристеночный слой отливки в виде затвердевшей корочки или твердо-жидкой массы увлекается хорошо смачивающим его расплавом и отходит от стенки формы (рис. 4, б). Из-за неравномерности процесса кристаллизации, одной из причин которой могут быть последствия предусадочного расширения, в первую очередь, деформируются и разрушаются наиболее слабые участки, в результате чего на поверхности затвердевающей отливки возникают рассеянные углубления в виде лунок. Во второй период повышения давления возможно залечивание этих углублений путем вдавливания в них жидкой фазы через образовавшиеся разрывы (рис. 4, в).

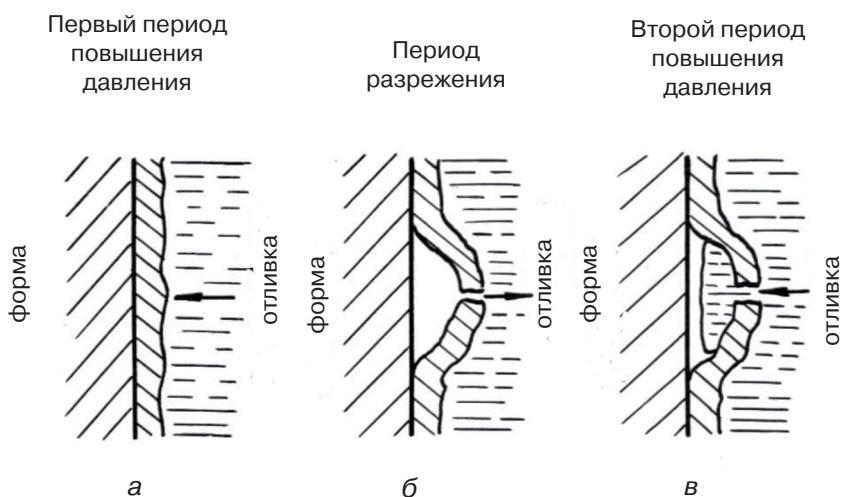


Рис. 4. Схема воздействия гидравлического удара на формирование поверхности отливок (стрелками указано направление силового воздействия расплава на поверхностный слой отливки)

Устранение отрицательного действия гидравлического удара без изменения технологических режимов литья возможно путем создания в верхней части формы глухих отверстий, снижающих темп изменения скорости при остановке потока и тем самым гасящих гидравлический удар. Экспериментальная проверка показала, что для исследуемых сплавов и отливок (полуцилиндр радиусом 25 мм и высотой 400 мм) наличие глухого отверстия диаметром 28 мм и высотой 60 мм вполне достаточно для получения качественной поверхности (даже без следов поражения) при заливке в окрашенный кокиль со скоростью выше 100 см/с.

После окончания заливки процесс затвердевания (теперь уже отливки в целом) продолжается, но неравномерно: какие-то участки начали затвердевать в начале заливки, какие-то в конце, какие-то затвердевают быстрее (ребра), какие-то медленнее (грani). Начинаются усадочные процессы, сокращающие размеры отливки и ее частей с образованием зазора. Стремлению твердой корочки отойти от стенки кокиля некоторое время препятствует гидростатическое давление жидкого металла. Существенную роль играет конфигурация отливки. Цилиндрическая форма обеспечивает большую жесткость, чем плоская, поэтому зазор в цилиндрических отливках возникает на более ранних стадиях затвердевания. В плоских отливках под

действием даже небольшого давления корка может выпучиваться и прижиматься к поверхности формы [2]. Тем не менее анализ отливок различной конфигурации из алюминиевых сплавов показывает, что окончательная величина зазора при наличии плоской поверхности обычно больше, чем в случае цилиндрической, причем плоская поверхность чаще оказывается не выпуклой, а вогнутой. Такой усадочный дефект принято называть утяжиной, образуется он после прекращения поступления расплава от питающего узла для компенсации усадки затвердевания [10]. Однако этот дефект наблюдается и в нормально питаемых отливках: высокая степень направленности затвердевания, массивная прибыль. Особенно четко это проявляется на отливках типа призмы.

В работе [11] этот вопрос исследовали на отливке в виде усеченного клина шириной 90 и высотой 110 мм, толщина нижнего основания составлял 24 мм, верхнего – 30. Кокиль (толщина стенки 20 мм) неокрашенный вытряхной с верхней прибыльной надставкой (тонкостенная труба диаметром 60 и высотой 400 мм). Температура заливки сплавов АК7, АК12 и АК17 составляет 740-750 °С, исходная температура кокиля – 25 °С. Объем впадин, образующихся на гранях клина, измеряли путем их заполнения мелкодисперсным порошком. При высоте прибыли 100 мм этот объем составил, в см³: для сплава АК7 – 2,9; АК12 – 7,4; АК17 – 4,5. С увеличением высоты прибыли до 400 мм объем впадин уменьшился, в см³: АК7 – 2,5; АК12 – 4,2; АК17 – 2,9. Максимальная стрела прогиба (суммарная с двух сторон) при высоте прибыли 100 мм в той же последовательности сплавов составила, в мм: 0,6; 1,7; 1,2.

Анализ этих данных приводит к выводу, что процесс образования впадин начинается вскоре после заливки, когда прочность твердой корочки еще недостаточна для сопротивления давлению 0,01 МПа. Ребра, затвердевающие быстрее, образуют вокруг граней сжимающую рамку, поэтому плоская твердая корочка, ограниченная извне телом кокиля, вынуждена прогибаться внутрь отливки. Такова суть рассмотренного явления в усадочном короблении затвердевающей корочки. Для устранения неравномерности охлаждения во все углы полости кокиля вставляли асбестовые пластинки. Этого оказалось достаточно для получения отливок с практически ровными поверхностями.

Если же аналогичную отливку получать в условиях недостаточного питания, то ее грани дополнительно прогнутся под действием классической утяжки и определить долю каждого из этих процессов в деформации поверхности отливки без специальных исследований не представляется возможным. Поэтому вначале суммарный прогиб клиновидной пробы приписывали одной утяжке [12], но после описанных выше исследований [11] эту пробу заменили другой цилиндрической с концентрацией утяжины на нижней плоской поверхности и лишенной коробления затвердевающей корочки [10].

Следует отметить, что между утяжкой и усадочным короблением затвердевающей корочки есть принципиальная разница в плане участия в процессе формирования отливки. Если первая участвует и в деформации поверхности, и компенсации усадки затвердевания, то второе обычно заканчивается до прекращения питания, поэтому только деформирует поверхность.

Процесс образования утяжин сам по себе вроде бы замыкается на отливке и не имеет отношения к озаглавленному в статье взаимодействию с кокилем. Тем не менее, в ряде случаев на прогнувшихся под действием утяжки поверхностях наблюдался лес «иголок», равных по высоте глубине прогиба, то есть «иголки» в процессе деформации поверхности не участвовали, а оставались в контакте со стенкой кокиля и, надо полагать, удерживались этой стенкой. Не исключено, что в результате предусадочного расширения количество и расположение «иголок» связано с выборочным контактом поверхности отливки с кокилем.

После затвердевания отливку нужно извлечь из кокиля. В этом плане представля-

Затвердевание сплавов

ет интерес влияние температуры стержня и матрицы кокиля на плотность контакта с отливкой [13]. Обычно из-за усадки отливки и термического расширения стержня и матрицы кокиля в результате теплообмена с залитым металлом при раскрытии формы отливка уходит вместе со стержнем. Однако, если учесть, что расширяющийся стержень может одновременно расширять отливку и тем самым влиять на ее контакт с матрицей, механическое взаимодействие элементов кокиля с отливкой оказывается более сложным.

Экспериментальные исследования проводили на отливке в виде сужающегося к низу стакана высотой 90 мм, толщиной стенок 4 мм и наружными диаметрами верха и низа соответственно 58 и 36 мм. Заливку осуществляли погружением теплоизолированного снаружи кокиля в расплав СИЛ-00, перегретый до температуры 670 ± 20 °С, через нижние литниково-питающие каналы по технологии РАСЛИТ-процесс [5]. Полученные результаты представлены на рис. 5 и объясняются следующим образом. В области I при сравнительно низких значениях температур матрицы и стержня значительное развитие получают как усадка отливки, так и расширение обоих элементов кокиля. При этом уменьшение диаметра отливки и увеличение диаметра стержня обеспечивают высокую плотность их сцепления, а сокращение толщины отливки и увеличение (в конечном счете) внутреннего диаметра матрицы, наоборот, способствуют образованию зазора. Благодаря этому отливка легко извлекается из матрицы и крепко обжимает стержень.

В области II обжатие стержня продолжает оставаться значительным (особенно при низких температурах стержня), а зазор между отливкой и матрицей из-за высокой температуры матрицы и слабого охлаждения затвердевшей отливки сокращается настолько, что раскрытие формы и извлечение отливки существенно затрудняется. Положение усугубляется дополнительным прижимом отливки к матрице расширяющимся стержнем.

Область III отличается от области II, в основном, высокими температурами стержня. Но именно этот фактор резко ослабляет сцепление стержня с отливкой как за счет уменьшения расширения стержня, так и в результате снижения усадки отливки. А поскольку отливка в матрице дополнительно удерживается литниковыми остатками, то ее очень просто освободить от стержня. Для третьей области очень важен тип сплава, так как в условиях извлечения отливки при температурах, близких к температуре кристаллизации, становится существенной роль усадки при затвердевании. В рассматриваемом случае материалом отливки был эвтектический сплав с ничтожной усадкой твердой фазы в процессе затвердевания, что облегчало извлечение стержня и усиливало связь отливки с формой. В результате можно сделать следующие выводы и рекомендации.

Для сплошного стержня при заданном материале основным фактором термического расширения является количество переданной ему теплоты, поэтому с целью уменьшения изменения его размеров следует повысить исходную температуру стержня и (либо) улучшить его теплоизоляцию в контактной зоне.

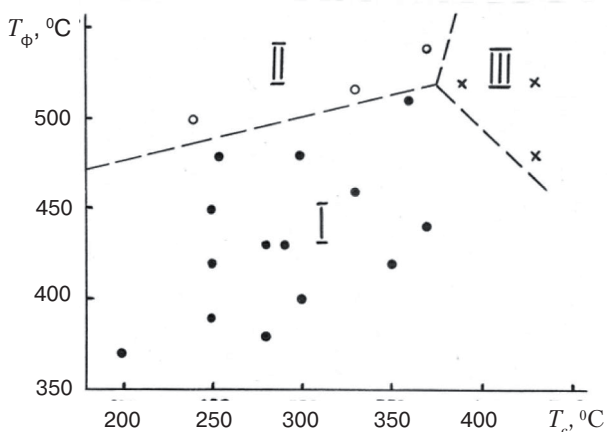


Рис. 5. Влияние температуры стержня (T_c) и матрицы (T_ϕ) на извлечение отливки: I – отливка уходит со стержнем; II – раскрытие кокиля затруднено; III – отливка остается в матрице

Затвердевание сплавов

Для полого стержня важна его масса. Чем легче стержень, тем до более высокой температуры он прогреется и тем большим будет его расширение от одинакового количества полученного тепла. Если масса стержня значительно превышает массу отливки, основным фактором обжима стержня является усадка отливки, поэтому для облегчения извлечения стержня эту операцию следует осуществлять при температуре отливки, близкой к температуре затвердевания. Этот прием особенно эффективен для чистых металлов и сплавов, кристаллизующихся в узком интервале температур. При литье сплавов с широким температурным интервалом твердого жидкого состояния усилие для извлечения стержня будет значительно большим.

С повышением исходной температуры матрицы до температур, близких к температуре затвердевания отливки, что характерно для РАСЛИТ-процесса [5], возникают проблемы извлечения отливки из формы. Этот вопрос решается путем повышения исходной температуры стержня.

При литье сплавов со значительным перегревом имеет смысл ввести понятие эффективной температуры стержня и матрицы, представляющей собой ту температуру, которую приобретут эти элементы кокиля к моменту начала усадки отливки, то есть к началу образования в контактной зоне твердой или твердо-жидкой корочки. До этого момента тепловое расширение стержня или матрицы не влияет на плотность контакта с расплавом отливки. Однако для оценки дальнейшего взаимодействия с отливкой правильным будет использовать в качестве начальной именно эффективную температуру, а не исходную, которую имели элементы кокиля перед заливкой. Так, например, при заливке «холодного» тонкостенного относительно отливки кокиля сильно перегретым расплавом в процессе снятия перегрева его стенки могут прогреться до температуры, близкой к температуре затвердевания отливки. При анализе процессов формирования контактной зоны такой кокиль следует рассматривать как «горячий».

В заключение стоит отметить, что сопротивление свободной усадке отливки в кокиле не всегда вредно. Для РАСЛИТ-процесса это сопротивление является важным элементом технологии при получении крупногабаритных отливок. Дело в том, что на нижней обычно плоской поверхности отливки расположены рассредоточенные литниковые остатки, которые механически связывают отливку с контактирующей с ней литниково-питающей плитой. Но если охлаждающаяся отливка после затвердевания под действием усадки пытается сократиться в размерах с соответствующим перемещением литниковых остатков, в это время сохраняющая практически неизменной температуру, а, следовательно, и размеры, литниково-питающая плита удерживает эти литниковые остатки в своих стационарно расположенных каналах. Происходит заклинивание, препятствующее отрыву отливки от плиты, что нарушает нормальный режим работы (деформация плиты, выплески расплава, недостаточность заложенных усилий раскрытия формы). Чтобы избавиться от этого недостатка, приходится ограничиваться отливками, конструкция которых предусматривает наличие выступов и углублений, препятствующих усадке.



Список литературы

1. Рыжиков А. А. Теоретические основы литейного производства. – М.; Свердловск: Машгиз, 1961. – 448 с.
2. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
3. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки. – М.: Машиностроение, 1979. – Ч. II. – 336 с.

Затвердевание сплавов

4. Котлярский Ф. М. Факторы контактного теплообмена расплава с металлической формой // Литье с применением давления. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1991. – С. 35-43.
5. Котлярский Ф. М. Формирование отливок из алюминиевых сплавов. – Киев: Наук. думка, 1990. – 216 с.
6. Котлярский Ф. М. О газовом механизме и роли предусадочного расширения в формировании отливки // Процессы литья. – 2010. – № 3. – С. 13-16.
7. Литье в кокиль с регулируемым теплообменом / Ф. М. Котлярский, Г. П. Борисов, А. Н. Недужий, Л. К. Шеневидько // Там же. – 2008. – № 2. – С. 39-42.
8. Котлярский Ф. М., Белик В. И., Гавриш В. С. Формирование отливок из алюминиевых сплавов на металлических стержнях // Литейн. пр-во. – 1984. – № 3. – С. 21-22.
9. Книпп Э. Пороки отливок. – М.: Гостехиздат, 1958. – 276 с.
10. Котлярский Ф. М., Борисов Г. П., Белик В. И. Образование утяжин в отливках из алюминиевых сплавов // Литейн. пр-во. – 1986. – № 4. – С. 9-11.
11. Котлярский Ф. М., Борисов Г. П. О механизме формирования зазора // Литье под регулируемым давлением. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1980. – С. 69-77.
12. Котлярский Ф. М., Борисов Г. П. Исследование влияния теплосиловых условий затвердевания на процесс формирования отливок из алюминиевых сплавов: Препринт. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1979. – 28 с.
13. Котлярский Ф. М., Белик В. И. Влияние температуры стержня и матрицы кокиля на плотность контакта с отливкой // Процессы литья. – 1992. – № 3. – С. 33-38.

Поступила 24.09.2013

Вниманию авторов!

*Статьи, поступающие в редакцию, должны иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объем статьи – не более **10 стр.**, рисунков – не более **5**.*

*Статьи подаются как на бумажном, так и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов – формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.*

Статьи в редакции проходят научное рецензирование.