

УДК 621.746.58

Ф. М. Котлярский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕР ГАЗОУСАДОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В НЕПРОПИТЫВАЕМЫХ УЗЛАХ ОТЛИВОК

Показано, что в непропитываемых узлах отливок после предварительного воздействия давления на расплав возможен переход газовой пористости в концентрированную усадочную раковину из-за задержки процесса образования газовых пузырьков.

Ключевые слова: отливка, затвердевание, давление, недостаточное питание, газоусадочные дефекты.

Показано, що в виливках, які формуються в умовах недостатнього живлення, після попере-дньої дії тиску на розплав можливий перехід газової пористості в концентровану усадочну раковину через затримку процесу утворення газових бульбашок.

Ключові слова: виливок, тверднення, тиск, недостатнє живлення, газоусадочні дефекти.

It is shown that at the non-impregnable casting junctions after a preliminary effect of pressure on melt a change of gas porosity to concentrated piping is possible because of delay of gas bubbles formation.

Keywords: casting, hardening, pressure, lack of feeding, gas shrinkage defects.

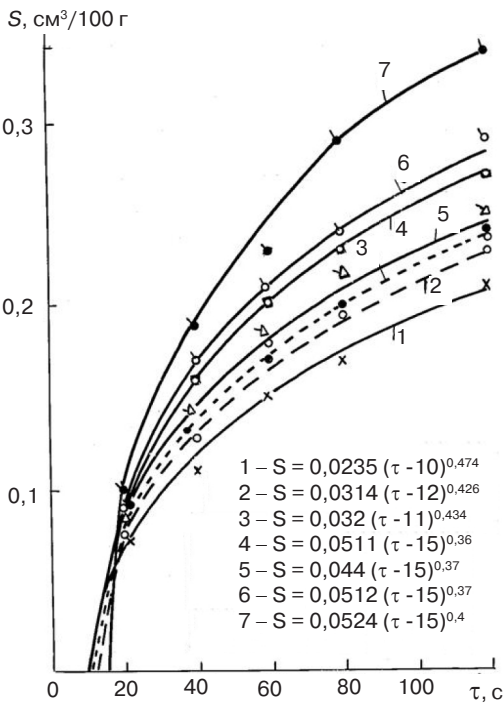
Из работ, касающихся различных способов литья (автоклавное [1, 2], литье под низким давлением [3]), а также различных сплавов (алюминиевые [1-3], медные [4]), известно, что после воздействия давления на газосодержащий расплав при последующем затвердевании в непропитываемых узлах отливок допустимая газовая пористость сменяется недопустимыми усадочными концентрированными раковинами. В то же время механизм этого явления изучен недостаточно. Одна из причин этого состоит в том, что во время выполнения отмеченных работ отсутствовало четкое разграничение механизмов формирования газовых и усадочных дефектов. Так, например, Б. Чалмерс полагал, что нет смысла различать пористость, возникшую в результате усадки и за счет выделения газов, так как получающиеся в этих случаях дефекты имеют одинаковый характер [5, с. 272]. По мнению Б. Б. Гуляева реальная пористость всегда имеет смешанный газоусадочный характер [6, с. 149]. В. И. Добаткин с соавторами считают разделение пористости усадочного и газового происхождений условным [7, с. 98]. Однако, несколько позже в работе [8] было показано, что природа усадочных или газовых

Затвердевание сплавов

дефектов определяется знаком напряженного состояния расплава. Если в металлоемком узле отливки после прекращения питания выделяющегося из расплава газа достаточно для поддержания положительного давления, то образуется преимущественно рассредоточенная газовая пористость; если же газа недостаточно, то под действием усадки возникает отрицательное давление с образованием концентрированной раковины.

Роль предварительного воздействия давления на расплав интересна тем, что в одном и том же металлоемком узле, например, из алюминиевого сплава, переход от рассредоточенной газовой пористости к концентрированной усадочной раковине происходит без изменения содержания водорода в расплаве. Следовательно, такое воздействие каким-то образом уменьшило последующую интенсивность газовыделения в затвердевающей отливке хотя бы на начальной стадии после прекращения питания. Ведь достаточно нескольких секунд отсутствия питания и газовыделения, чтобы усадка разорвала расплав на наиболее крупном и наименее смачиваемом включении с образованием и последующим развитием концентрированной раковины. О вероятности наличия таких секунд можно судить по приведенным в работах [9, 10] данным, отражающим кинетику газовыделения из необработанных, но газосодержащих, а также специально наводороженных алюминия и его сплавов с кремнием

после быстрого (~3 с) понижения давления от атмосферного до 1,3-2,0 кПа. На рисунке такие табличные данные по необработанному алюминию представлены в графическом виде. Расплав отбирали при температуре $740 \pm 10^\circ\text{C}$ без перемешивания и после очистки поверхности от плен (кривые 1-3), с пленами (кривая 4), после перемешивания (кривые 5, 6), а также с пленами и осыпавшимся графитом (кривая 7). Математическая обработка этих кривых показала их удовлетворительное соответствие зависимостям, приведенным под кривыми. Судя по этим зависимостям и точкам пересечения расчетных кривых с временной осью, газовыделение из расплава начинается не сразу после понижения давления, а спустя 10-15 с. При первом анализе этих результатов авторы работы [9] усомнились в справедливости такого положения, поэтому на графическом изображении других данных, касающихся алюминия и сплавов до и после наводороживания [9, с. 47], соединили первые экспериментальные точки, полученные на 20-й секунде после начала вакуумирования, с началом координат, полагая, что газовыделение



Кинетика газовыделения из алюминия при давлении 1,3-2,0 кПа; условия отбора проб расплава при температуре 740°C : 1-3 – без перемешивания и после очистки поверхности от плен; 4 – с пленами; 5, 6 – после перемешивания; 7 – с пленами и осыпавшимся графитом

началось сразу, хоть и с меньшей интенсивностью. Однако и замедление газовыделения может привести к тому же результату, что и его отсутствие.

В этом же плане представляют интерес экспериментальные исследования А. П. Гудченко [11] по влиянию продолжительности кристаллизации отливки на величину максимального газосодержания, не вызывающего пористости. При-

чем, с увеличением скорости затвердевания эта величина также увеличивается, то есть, несмотря на резкое повышение газосодержания водорода в расплаве перед фронтом кристаллизации, существует какое-то время пребывания неметаллических включений в этой пересыщенной зоне, за которое газовые пузырьки не успевают образоваться.

В поиске объяснения приведенных фактов воспользуемся несколько интерпретированной [10] квазиполикристаллической моделью строения жидкости, согласно которой расплав делится на две структурных составляющих: комплексы в виде рыхлых неметаллических включений, окруженных кластерами или пограничными слоями, внутренние «пустоты» которых заполнены молекулярным газом, и разупорядоченная зона, занимающая промежуточные пространства между комплексами. При стационарном давлении степень заполнения внутренних пустот комплексов расплавом будет определяться равенством двух противоположно направленных давлений: вдавливающего (сумма внешнего и металлостатического) и выталкивающего (сумма капиллярного и газового). Чем больше внешнее давление, тем на большую глубину пустота (с имеющимся в ней газом) заполнится расплавом. При этом давление оставшегося в пустоте газа в конечном счете не изменится и будет равно давлению того же газа в растворе (временный избыток газа от сдавливания перейдет в расплав). Если же внешнее давление понизить до уровня, при котором растворенный в расплаве газ, например, водород, переходит в пересыщенное состояние, тогда объем пустот несколько увеличится за счет изменения соотношения вдавливающего и выталкивающего давлений с образованием вакуума по отношению к растворенному водороду, а пересыщенный водород начнет выделяться на неметаллических включениях в виде молекул. Однако, прежде чем образоваться газовым пузырькам, эти молекулы должны заполнить весь объем пустот комплексов, выталкивая из них расплав, а затем преодолеть капиллярное давление расплава, окружающего неметаллическое включение. На это уйдет определенное время, которое определит задержку образования газовой поры или всплывающего пузырька и за которое может произойти разрыв расплава с зарождением концентрированной раковины. Однако, разрыв может и не произойти, если его по силовым условиям опередит процесс образования утяжины. Именно такой случай описан и продемонстрирован в работе [12, с. 149-150], когда компенсация усадки затвердевания в непропитываемых узлах из сплава Al + 6 % Si происходила только за счет утяжки без каких-либо внутренних дефектов. Если же передача давления на расплав через утяжину прекратится раньше, чем произойдет полное затвердевание, из-за упрочнения затвердевшей корочки, тогда в незатвердевшей части непропитываемого узла может произойти падение давления до критического отрицательного уровня.

Разрыв не произойдет и в том случае, если предварительного давления на расплав недостаточно для заполнения пустот неметаллических включений расплавом, а при понижении давления расширяющийся в этих пустотах газ преодолел поверхностное натяжение расплава, окружающего неметаллическое включение до наступления отрицательного давления. В этом случае компенсация усадки затвердевания непропитываемого металлоемкого узла произойдет за счет образования рассредоточенной газовой пористости.

Исходя из рассмотренного механизма формирования газовых и усадочных дефектов в непропитываемых узлах отливок, вполне можно представить ситуацию, когда при переходе к этому формированию от атмосферного давления на расплав образуется рассредоточенная газовая пористость, в условиях же предварительного воздействия на расплав избыточных давлений, характерных для автоклавного литья или литья под низким давлением, возникает концентрированная раковина.

Описанный эффект можно продемонстрировать визуально с помощью известного фокуса по управлению перемещением ричечной головки в заполненной до краев бутылке воды. В исходном состоянии рыхлая головка плавает на поверхности,

но если плотно закрыть горлышко бутылки большим пальцем руки, создавая при этом давление на воду, головка начнет тонуть. Регулируя давление, можно незаметно заставить головку опускаться или подниматься с разной скоростью, а также останавливаться на заданном уровне. На этом фокус заканчивается и начинается эксперимент автора. Оказалось, что если создать повышенное давление на воду и продержать это давление после оседания головки на дно бутылки 15-20 с, а затем убрать палец с горлышка, то есть снять давление, головка не сразу начнет подниматься, а лишь спустя некоторое время.



Список литературы

1. Горшков И. Е. Литье слитков цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургиздат, 1952. – 416 с.
2. Белоусов Н. Н., Додонов А. А. Исследование влияния давления на развитие усадочных дефектов в отливках из цветных сплавов // Усадочные процессы в металлах. – М.: АН СССР, 1960. – С. 97-111.
3. Шнитко В. К., Семенченко А. И., Мацкул А. И. Влияние регулируемого газового давления в прибыли на формирование отливок в металлических формах // Литье под регулируемым давлением. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1980. – С. 61-68.
4. 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: Наук. думка, 1971. – С. 21-28.
5. Чалмерс Б. Теория затвердевания. – М.: Металлургия, 1968. – 288 с.
6. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
7. Газы и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах / В. И. Добаткин, Р. М. Габидуллин, Б. А. Колачев и др. – М.: Металлургия, 1976. – 264 с.
8. Котлярский Ф. М. Теоретические предпосылки формирования усадочных и газовых дефектов в непропитываемых узлах отливки // Литейн. пр-во. – 1983. – № 7. – С. 22-24.
9. Котлярский Ф. М., Белик В. И. Кинетика газовой выделености из жидких и кристаллизующихся сплавов в условиях разрежения // Литье с применением давления. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1991. – С. 44-52.
10. Котлярский Ф. М. Водород в алюминиевых сплавах и отливках. – Киев: Освіта України, 2011. – 208 с.
11. Гудченко А. П., Васильева И. Н. Влияние состава сплава и скорости охлаждения на образование газовой пористости в отливках из алюминиевых, магниевых и титановых сплавов: Труды МАТИ. – М.: Машиностроение, 1969. – № 70. – С. 133-137.
12. Котлярский Ф. М. Формирование отливок из алюминиевых сплавов. – Киев: Наук. думка, 1990. – 216 с.

Поступила 24.10.2012