

1237901

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ
ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

Медведев Яков Иванович

ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ И ЕГО
ВЛИЯНИЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗОВЫХ РАКОВИН
В ОТЛИВКАХ

(05.16.04 - литейное производство)

Автореферат
диссертации на соискание
ученой степени
доктора технических наук

МОСКВА 1974

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ОСОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО
РАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ
ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

Медведев Яков Иванович

1234901
ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ И ЕГО
ВЛИЯНИЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗОВЫХ РАКОВИН
В ОТЛИВКАХ

(05.16.04 - литейное производство)



Автореферат
диссертации на соискание
ученой степени
доктора технических наук

МОСКВА 1974

Работа выполнена в Московском автомобильно-дорожном институте

Официальные оппоненты:

Лауреат Ленинской премии

доктор технических наук, профессор

Лясс А.М.,

доктор технических наук, профессор

Баландин Г.Ф.,

доктор технических наук, профессор

Оболенцев Ф.Д.

Ведущее предприятие - Рязанский индустриальный завод "Центролит"

Министерства Станкостроительной и инструментальной промышленности СССР.

Автореферат разослан "4" сентября 1974 г.

Защита состоится "14" октября 1974 г. на заседании Совета факультета "Автоматизация и механизация производства" Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им. Н.Э.Баумана по адресу: Москва 107005, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваше отзыв в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба выслать по указанному адресу.

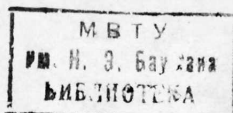
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Ученый секретарь Совета

МВТУ им. Н.Э.Баумана

доцент, канд. техн. наук

Плотников В.Н.



В В Е Д Е Н И Е

В технологическом процессе изготовления отливок наиболее ответственным является период времени от начала заливки формы до конца затвердевания металла. В этом интервале времени образуются различные дефекты отливок и формируются их свойства, изменение которых после затвердевания или невозможно или требует значительных дополнительных затрат. На качество отливок существенное влияние оказывают газы, взаимодействие которых с металлом приводит, в частности, к образованию ряда дефектов. Газовые дефекты занимают в общем объеме брака отливок значительную долю, а связанный с ними экономический ущерб исчисляется по стране десятками миллионов рублей в год. Сокращение брака отливок является одним из важных резервов улучшения качества изделий и повышения экономической эффективности литейного производства; на важность и необходимость использования внутренних резервов производства указывается в Директивах XXIV съезда КПСС.

В образовании газовых дефектов отливок участвуют газы различного происхождения. В настоящей работе рассматриваются дефекты, связанные исключительно с газовым режимом песчаных форм и стержней; эти дефекты образуются при вскипе, т.е. в результате механического проникновения газа с поверхности формы и стержней в жидкий или затвердевающий металл отливки. В наибольшей степени газовыми раковинами от вскипов поражаются чугунные отливки, особенно конструктивно сложные. Доля газовых раковин в общем объеме брака для некоторых чугунных отливок достигает до 60-80%. Используемые для борьбы с газовыми дефектами мероприятия не всегда дают желаемые результаты, что объясняется несовершенством методов диагностики причин появления брака, отсутствием расчетных методов регулирования газового режима формы и стержней и недостаточной изученностью механизма образования газовых раковин от вскипов; тем же можно объяснить имеющиеся в литературе противоречия при оценке влияния отдельных факторов на появление газовых раковин.

В образовании газовых раковин при вскипе участвуют следующие процессы, протекающие в литейной форме после заливки ее металлом: а/ выделение газов из смеси после установления контакта металла с поверхностью формы и стержней; б/ фильтрация газа через газопроницаемые стенки формы и стержней и появление избыточного га-

зового давления; в/ механическое проникновение газа с поверхности форм и стержней в жидкий или затвердевающий металл отливки; г/ перемещение газовых пузырей в жидком или затвердевающем металле и фиксация их в отливке.

Задачей настоящей работы является исследование отмеченных процессов с целью повышения эффективности мероприятий, применяемых для борьбы с газовыми раковинами от всплесков. Последовательность изложения отдельных частей работы соответствует указанной схеме протекания процессов в литейной форме.

ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗОВ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ

Расчет процесса газообразования. С учетом ряда принятых допущений объем газов Q , образующихся в форме после заливки ее металлом, и скорость газообразования W могут быть определены по формулам (1)-(3):

$$Q = \rho_c q \sqrt{\rho_g} S = a S \tau^{1/2}; \quad (1)$$

$$W = 1/2 a S \tau^{-1/2}, \quad (2)$$

где ρ_g - толщина слоя смеси, прогретой к моменту времени τ до некоторой средней (интегральной) температуры деструкции t_g газотворного материала, S - поверхность контакта формы с металлом, a - относительный коэффициент газообразования, q - содержание (вес. доли) газотворного вещества в смеси, ρ_c - плотность смеси, $\sqrt{\rho_g}$ - абсолютная газотворность единицы веса вещества.

Выражения (1)-(2) применимы для плоской формы, заливаемой металлом мгновенно, при длительности процесса газообразования, не превышающем интервала кристаллизации отливки. В реальных формах, заливаемых металлом в интервале времени, поверхность контакта S возрастает постепенно от нуля до своего конечного значения, а время от начала процесса газообразования изменяется по высоте формы. При постоянстве скорости установления контакта металла с формой V_s получены следующие выражения:

$$Q = 2/3 a V_s [(\tau_s + \tau')^{3/2} - \tau'^{3/2}]; \quad (3)$$

$$W = a V_s [(\tau_s + \tau')^{1/2} - \tau'^{1/2}], \quad (4)$$

где τ_s - длительность процесса погружения стержня в металл, τ' - время от момента полного погружения стержня в металл.

Расчеты показывают, что с повышением скорости погружения стержня в металл количество образующихся в нем газов и скорость газообразования могут увеличиться многократно. Максимальное значение W /рис. I/ возникает в момент полного погру-

жения стержня в металл. Забегая вперед, следует отметить, что этот момент времени является критическим в смысле возможного проникновения газа в отливку, и столь сильное влияние режима заливки формы на процесс газообразования является фактором, заслуживающим внимания при разработке технологии формы. Для уменьшения скорости газообразования в момент $\tau' = 0$ помимо увеличения τ_3 целесообразно установить такое положение формы при заливке, при котором величина V_g (в реальных отливках обычно переменная) имела бы максимальное значение в начале процесса погружения стержня в металл и минимальное - в конце.

Выражения (1)-(4) позволяют производить расчет процесса газообразования для форм и стержней, часть поверхности которых погружается в металл при постоянном значении V_g , а часть - мгновенно. В общем случае для расчета процесса газообразования необходимо знать закономерность изменения функции $V_g = f(\tau_3)$.

Термодеструкционные характеристики формовочных материалов. В отличие от коэффициента "а", определяющего количественно процесс газообразования на единице поверхности контакта с металлом форм или стержней, термодеструкционные характеристики позволяют оценить индивидуальную способность материалов, входящих в состав смесей, выделять газы при их нагреве в определенных условиях. К основным термодеструкционным характеристикам относятся: абсолютная газотворность единицы веса Γ вещества и средняя (интегральная) температура термодеструкции t_g . Между величинами "а", Γ и t_g имеется следующая зависимость:

$$a = \gamma c_2 \sqrt{2n_2(n_2+1)} a'_2 \left[1 - \sqrt{\frac{t_g - t_0}{t_n - t_0}} \right] \Gamma, \quad (5)$$

где a'_2 - температуропроводность смеси, n_2 - показатель степени кривой, описывающей температурное поле формы (по А.Н.Вейнику), t_0 - начальная температура формы, t_n - температура на поверхности контакта металла с формой, принимаемая постоянной в расчетном интервале времени.

Вместо средних, относящихся ко всему температурному интервалу значений t_g и Γ , можно использовать величины t_{gi} и Γ_i , характеризующие отдельные, более мелкие температурные интервалы деструкции; величины Γ , Γ_i , t_g и t_{gi} связаны следующей зависимостью (при прочих постоянных условиях):

$$\left(1 - \sqrt{\frac{t_g - t_0}{t_n - t_0}} \right) \Gamma = \sum_{i=1}^K \left(1 - \sqrt{\frac{t_{gi} - t_0}{t_n - t_0}} \right) \Gamma_i, \quad (6)$$

где K - число участков, на которые разбивается общий темпера-

турный интервал деструкции материала.

Для определения характеристик Γ , Γ_i , t_g , t_{gi} используется специальная методика (авт. свидетельства № 273477 и 279109). Установлено, что связующие материалы и добавки, вводимые в формовочную смесь, имеют широкий температурный интервал газовыделения (табл. I). Зависимость скорости выделения газов из материала от температуры /рис. 2/ выражается сложным графиком, имеющим 2-4 максимума. Из органических связующих наибольшую абсолютную газотворность при сравнительно низкой средней температуре термодеструкции имеют мочевино-формальдегидная смола и декстрины. Наибольшее значение t_g имеют феноло-формальдегидные смолы и формовочные глины; последние обладают и минимальной величиной Γ . Высокий показатель t_g и небольшую величину Γ имеют связующие "П" и УСК, а также жидкое стекло после высушивания. Бентониты различных месторождений имеют отличающиеся кривые газовыделения. Положения максимумов на кривой скорость газообразования - температура совпадают с эндотермическими эффектами на дифференциально-термических кривых бентонитов. Исследование термодеструкции связующих материалов позволяет помимо определения газотворных характеристик производить также и выбор рационального режима высушивания стержней.

Таблица I

Термодеструкционные характеристики некоторых связующих материалов в исходном состоянии

Связующее	Температура максимумов скорости газовыделения, t_g , °C			Γ , см ³ /г
	1	2	3	
Смола МФС-ОI	110-130	290-300	900-1100	160-180 1200-1280
Жидкое стекло	110-120	650-680	900-1000	140-160 600-750
Смола НК-104	170-180	430-460	600-700	620-650 530-580
Связующее "П"	140-160	450-500	850-950	440-470 140-150
Бентониты	100-190	590-740	800-1000	160-240 160-280

Процессы газообразования в форме. Для изучения процесса газообразования использовалась установка (авт. свидетельство № 193131), позволяющая производить непрерывный замер скорости газообразования или объема газов, выделяющихся из плоского образца смеси. Газотворность связующих материалов выражается через коэффициенты "а" или α_n ; $\alpha = n \cdot \alpha_n$, где n - содержание связующего в смеси в % /рис. 3/.

Установлено, что все факторы, влияющие на газообразование (тип связующих материалов и их содержание в смеси, режим высушивания смеси, химический состав и температура заливки сплава и др.), учитываются величиной коэффициента " α ". Максимальную газотворность формовочным и стержневым смесям сообщают вода, смола МФС-01, декстрин и жидкое стекло (CO_2 - процесс). Формовочные глины, бентонит и жидкое стекло после высушивания имеют незначительную газотворность. Из органических наименьшую газотворность имеют связующие " I " и " II ". При высушивании водосодержащих формовочных и стержневых смесей газотворность снижается в 2-5 раз; наводные смеси уменьшают свою газотворность при высушивании на 25-45%. Относительный коэффициент газообразования " α " производственных смесей различного состава и назначения изменяется в пределах (в $\text{см/сек}^{1/2}$): у смесей для невысушиваемых форм - от 15 до 22, у смесей для высушиваемых форм от 2 до 6, у стержневых высушиваемых смесей - от 2 до 6,5. Практически негазотворными являются прокаленные керамические формы для литья по выполняемым моделям.

Толщина стенок отливки практически не влияет на величину коэффициента " α ", однако объем газов, образующихся в форме за время кристаллизации отливки, увеличивается примерно пропорционально толщине отливки. С увеличением температуры заливки металла в пределах, встречающихся в производственных условиях, коэффициент " α " возрастает на 10-20%. Значительно большее изменение процесса газообразования происходит при заливке в форму различных сплавов. Так для смеси, содержащей декстрин, отношение величин коэффициента " α " при заливке формы алюминием, бронзой, чугуном и сталью соответственно равно 0,5:0,83:1:1,26. Это соотношение изменяется для различных связующих в зависимости от их средней температуры деструкции t_d .

Получены удовлетворительные совпадения опытных значений величины α с расчетными. Приемлемость формулы (I) для расчета процесса газообразования в литейных формах подтверждена также работами других исследователей.

ФИЛЬТРАЦИЯ ГАЗОВ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ

Расчет газового давления. Газовое давление в формах и стержнях изменяется во времени по сложному графику и обычно имеет два максимума; оно является непосредственным фактором, вызывающим механическое проникновение газа в отливку. Величина газо-

вого давления в значительной степени определяется существованием в процессе заливки формы неупорядоченного (переходного) периода, в течение которого процесс газобразования характеризуется переменными величинами поверхности контакта и скорости газобразования, а удаление газа происходит не только через знак, но и через открытую, еще не залитую металлом поверхность стержня. При этих условиях избыточное газовое давление возникает лишь спустя некоторое время после начала погружения стержня в металл. С учетом влияния неупорядоченного режима фильтрации газов и с принятием ряда допущений получено следующее теоретическое выражение для определения первого максимума газового давления в стержнях P'_ϕ , возникающего в начале процесса.

$$P'_\phi = \frac{2/3 \alpha V_g [t^{1/2} - (t - t_3)^{1/2} - (\lambda t_3)^{1/2}] \epsilon P_0}{K F_{np} P_0 t + 1/2 V \ell} \quad (7)$$

где t - время от начала заливки, t_3 - длительность погружения стержня в металл, K - газопроницаемость смеси, F_{np} - приведенное сечение газового потока, ℓ - длина пути фильтрации газа, P_0 - начальное давление газа в порах формы, которое равно, обычно, атмосферному, V - объем пор в области фильтрации, λ - коэффициент, учитывающий длительность неупорядоченной фильтрации; в практических условиях величина λ изменяется от 0,20 до 0,90.

Длительность погружения стержня в металл оказывает сильное влияние на величину P'_ϕ /рис 4/с ее увеличением P'_ϕ многократно снижается. Выражение (7) действительно для постоянной величины V_g ; приближенный расчет газового давления в реальных стержнях, для которых V_g имеет переменное значение, можно производить с использованием среднего по интервалу заливки значения V_g .

Пористость и газопроницаемость смеси. Самостоятельная роль пористости, как емкости, в которой развивается газовое давление, ограничивается лишь начальным этапом; при увеличении длительности заливки ее влияние на газовое давление практически не проявляется. Однако пористость оказывает влияние на газопроницаемость смеси, и в этом ее роль весьма велика. При выводе формулы (7) принималось, что газопроницаемость смеси не изменяется во времени. Газопроницаемость смеси в реальных формах зависит от химического состава газа и температурных условий его фильтрации; оба эти фактора изменяются во времени и по пути фильтрации. При нормальной температуре газопроницаемость смеси, замеренная по воздуху, в 1,25-1,80 раза меньше газопроницаемости,

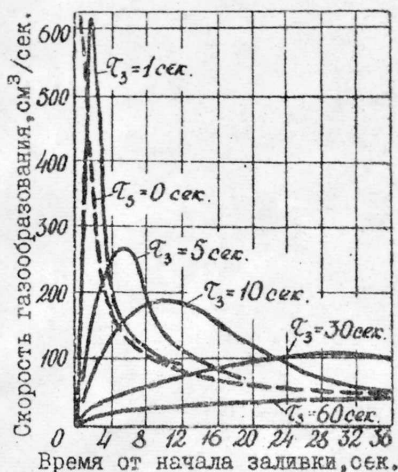


Рис.1. Влияние длительности заливки формы τ_3 на скорость газообразования в стержне.

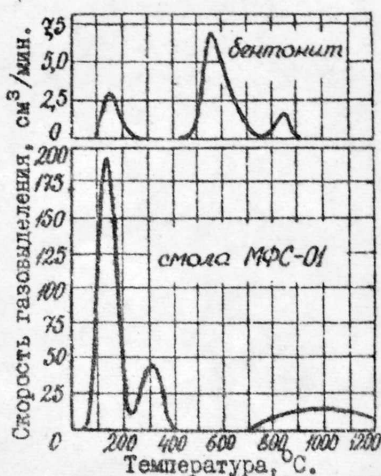


Рис.2. Термодеструкционные графики связующих материалов.

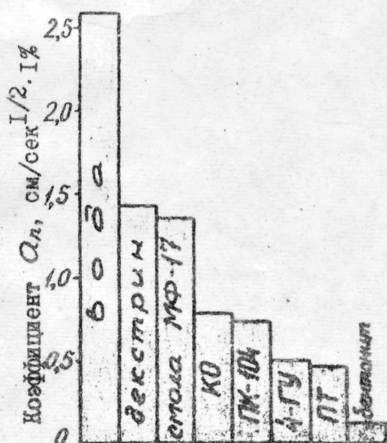


Рис.3. Величины относительных удельных коэффициентов газообразования A_n различных связующих материалов.

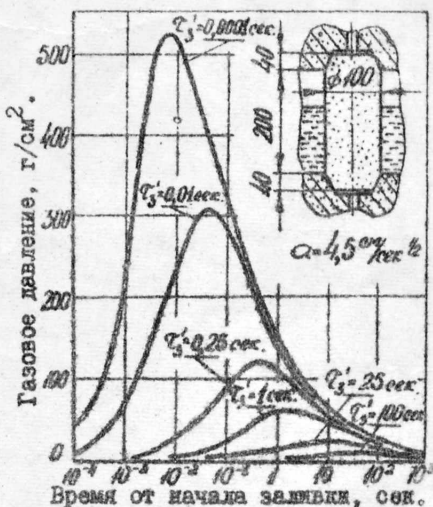


Рис.4. Влияние длительности заливки формы на газовое давление в стержне.

замеренной для газов литейной формы, однако по мере прогрева формы и повышения средней температуры фильтрующихся газов указанное различие уменьшается. Средняя (по пути фильтрации) газопроницаемость смеси K_{cp} только за счет изменения температуры смеси уменьшается по следующей зависимости:

$$K_{cp} = \frac{K_{20}}{1 + 0,94BV\sqrt{T}}, \quad (8)$$

где K_{20} - газопроницаемость для смеси с температурой 20°C ,

B - величина, зависящая от температуры на поверхности раздела металлов-форма, теплофизических свойств формовочной смеси, толщины формы и др. факторов.

Расчеты показывают, что для чугуновых отливок толщиной до 20 мм и стальных отливок толщиной до 40 мм величина K_{cp} в конце затвердевания может быть принята равной исходной газопроницаемости смеси, замеренной по воздуху. Фактическая величина K_{cp} снижается быстрее, чем это следует из формулы (8), в связи с дополнительным прогревом формы газовым потоком и образованием зоны конденсации.

Среднюю (эффективную) газопроницаемость K_{cp} многослойных формы (расположение слоев смеси с различной газопроницаемостью перпендикулярно направлению фильтрации) можно определить по формуле:

$$K_{cp} = \frac{\Delta l}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{K_i}}, \quad (9)$$

где Δl и Δl_i - общая толщина формы и толщина отдельных слоев смеси, K_i - газопроницаемость отдельных слоев смеси.

С появлением на пути фильтрации газа слоя смеси любой толщины с нулевой газопроницаемостью K_{cp} всего направления фильтрации также снижается до нуля.

Геометрические характеристики области фильтрации. Комплексной характеристикой способности формы и стержней отводить газы, учитывающей фильтрационные свойства смесей и геометрические особенности области фильтрации, является пропускная способность M :

$$M = K F_{пр} l^{-1}. \quad (10)$$

Величина пропускной способности у стержней, имеющих сужающийся газовый поток, значительно меньше, чем у формы. При расчете пропускной способности и газового давления принимается во внимание максимальная длина пути фильтрации l_m . В целом по форме или стержню приведенное сечение газового потока $F_{пр}$ определяется по формуле:

$$F_{np} = \frac{\ell_m}{\int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} \frac{d\ell}{F_i}} \approx \frac{\ell_m}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta \ell_i}{F_i}}, \quad (II)$$

где $\Delta \ell_i$ - толщина слоев смеси между двумя смежными положениями сечений газового потока F_i и F_{i+1} ; n - число слоев смеси, заключенных между поверхностью S и поверхностью знака стержня F_{3n} .

Для цилиндрического двухнакового стержня с высотой H , наружным радиусом r_n и радиусом r_v центрального вентиляционного канала выражение (II) дает следующее решение:

$$F_{np} = \frac{S - F_{3n}}{\ln S - \ln F_{3n}}. \quad (I2)$$

Определение F_{np} в стержнях и формах, для которых функция $F_i = \psi(\ell)$ не раскрывается, можно производить приближенным (графическим) методом с использованием в формуле (II) текущих значений $\Delta \ell_i$ и F_i .

Область фильтрации в реальных формах и стержнях обычно разбивается на несколько участков, характеризуемых индивидуальными значениями M_i и расположенных по отношению к газовому потоку последовательно, параллельно или в комбинированном порядке. В целом каждое направление фильтрации может характеризоваться некоторой общей пропускной способностью $M_{об}$, которое для последовательного расположения участков можно определять по формуле (I3), а для параллельного - по формуле (I4):

$$\frac{1}{M_{об}} = \sum \frac{1}{M_i}; \quad (I3)$$

$$M_{об} = \sum M_i. \quad (I4)$$

При фильтрации газа через последовательно расположенные участки определяющим является участок с меньшей величиной M_i , а при параллельном - с большей, что следует учитывать при проектировании технологического процесса. Влияние на газовое давление пропускной способности формы (за пределами знака стержня) может иметь не меньшее значение, чем влияние пропускной способности самого стержня.

Вентиляционные каналы в формах и стержнях уменьшают длину пути фильтрации и увеличивают поверхность, по которой происходит выделение газа в атмосферу, т.е. F_{3n} . С увеличением толщины стенок форм эффективность действия вентиляционных каналов повышается. Сфера действия вентиляционных каналов в выступающих частях форм и, особенно, в стержнях, охватывает практически всю область фильтрации. Как показывают расчеты и экспериментальные

исследования, вентиляционные устройства в стержнях являются мощным средством регулирования газового режима, позволяющим многократно (в 10-100 раз) увеличивать пропускную способность направления фильтрации /рис.5/.

Классификационные характеристики стержней и форм. С учетом факторов, определяющих процессы газообразования и газоотвода, в качестве классификационных характеристик геометрических особенностей стержней и форм и потенциальной напряженности их газового режима могут быть приняты соответственно приведенная длина фильтрации $\ell_{пр}$ и коэффициент напряженности газового режима B_r .

$$\ell_{пр} = \frac{S \ell_m}{F_{пр}} ; \quad (15)$$

$$B_r = \frac{a}{\kappa} \ell_{пр} = \frac{aS}{M} . \quad (16)$$

Для различных форм и стержней величины $\ell_{пр}$ изменяются в широких пределах, и она может быть принята для оценки технологичности; в отношении газового режима явно нетехнологичными являются стержни I-II классов сложности, а в максимальной степени технологичными - оболочковые формы и стержни. Использование характеристик $\ell_{пр}$ и B_r вносит в известную классификацию стержней по И.Б.Куманину количественный фактор, необходимый для проведения расчетов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ФОРМАХ И СТЕРЖНЯХ

Методы исследования. Для замера газового давления можно использовать различные манометры, наиболее удобными из которых являются сильфонные типа МСС с пределом измерения от 0-0,1 до 0-0,4 кгс/см². Известную трудность представляет количественное определение геометрических характеристик области фильтрации или соблюдения их постоянства при проведении серии опытов. Эта задача решается применением принципа моделирования. В качестве источника газообразования используется тонкостенный (оболочковый) стержень, обладающий большой пропускной способностью. Регулирование пропускной способности системы источник газообразования - область фильтрации производится специальным фильтрационным сопротивлением, устанавливаемым по пути фильтрации газа. Комбинируя мощность источника газообразования aS и величиной пропускной способности сопротивления M_c , можно создавать различные по напряженности газовые потоки. При постоянстве характеристик режима заливки выражения (7) и (16) дают (величиною

Ввиду его слабого влияния можно пренебречь) следующее соотношение:

$$\frac{B_{r1}}{B_{r2}} \approx \frac{P'_{\varphi 1}}{P'_{\varphi 2}} \approx \frac{\alpha_1 S_1 M_{c2}}{\alpha_2 S_2 M_{c1}} \quad (17)$$

В настоящей работе при проведении исследований формы заливались, преимущественно, серым чугуном; результаты опытов можно с помощью выражения (17) перенести на другие сплавы.

Газовое давление в формах. Величина первого максимума газового давления P'_{φ} в формах изменяется в пределах от 2 до 60 гс/см² в зависимости от изменения характеристик, влияющих на процессы газообразования и газоотвода. По сравнению с плоскими формами величина P'_{φ} в формах с болванами возрастает в 2-2,5 раза в соответствии с изменением коэффициента напряженности B_r . В формах, изготавливаемых из смесей с влажностью до 4,5%, величина P'_{φ} не превышает критического значения (12-15 гс/см²), вызывающего механическое проникновение газа в жидкий металл; это относится и к формам, уплотненным прессованием на автоматических линиях при удельном давлении 30-40 кгс/см². Невентилируемые формы с болванами, изготовленные из смесей с повышенной влажностью и низкой газопроницаемостью, могут вызывать вскипы.

Для сырых форм характерно появление второго максимума газового давления P''_{φ} , превышающего по величине первый максимум P'_{φ} . С повышением напряженности газового потока величина P''_{φ} возрастает быстрее, чем P'_{φ} , а время до момента его появления сокращается. В сильно уплотненных формах при высокой влажности формовочной смеси величина P''_{φ} превышает величину P'_{φ} более чем в 2,5 раза. Второй максимум газового давления, в отличие от первого, появляется, как правило, при полном напоре металла после окончания заливки.

Высушенные формы из глиноопилочных и жидкостекольных смесей имеют небольшое газовое давление до 5 гс/см², и вскипы от них, обычно, не возникают; исключения могут составлять формы с длительной выдержкой перед заливкой. Второй максимум газового давления в высушенных формах обычно меньше первого.

Газовое давление в стержнях. В полном согласии с теорией установлено, что при постоянстве режима заливки газовое давление в стержне определяется коэффициентом B_r (табл.2). Так при уменьшении величины B_r в 12,9 раз - с 2250 (стержни I класса сложности) до 170 гс.сек^{1/2}/см² (стержни IV-V класса сложности) величина P'_{φ} снижается примерно в 12 раз. Влияние на величину P'_{φ}

Таблица 2

Влияние коэффициента напряженности B_r на величину
газового давления в стержне в $\text{гс}/\text{см}^2$

Газовое давле- ние	Коэффициенты B_r		гс.свк $1/2/\text{см}^2$		
	2200	1450	900	450	170
P'_ϕ опыт	298	217	142	69	25
P'_ϕ расчет	374	238	149	75	29
P''_ϕ опыт	238	122	73	30	10

всех факторов, изменяющих скорость процесса газообразования, может быть выражена через изменение коэффициента " α ". Второй максимум газового давления в сухих стержнях, обычно, меньше первого; отношение P''_ϕ/P'_ϕ возрастает по мере увеличения напряженности газового режима и с повышением толщины стенок отливки. Вентиляционные устройства многократно (для проведенных опытов в 25-30 раз) снижают газовое давление в стержнях в зависимости от размеров стержней, количества вентиляционных каналов и др. факторов. Идеально вентилируемыми являются оболочковые формы и стержни, в которых избыточное газовое давление может снижаться практически до нуля.

Первый максимум газового давления во всех без исключения опытах появляется в момент полного погружения стержня в металл; с увеличением длительности погружения стержня в металл газовое давление существенно снижается. Максимальная величина P'_ϕ возникает в горизонтально расположенном стержне; при вертикальном положении стержня газовое давление имеет наименьшее значение. Наклонное положение стержня также обеспечивает значительное сокращение газового давления. Эффект влияния на газовое давление положений стержня в форме зависит от его конфигурации, размеров, расположения знаков и др. факторов.

Опытные значения газового давления в формах и стержнях удовлетворительно совпадают с расчетными. Стержни в соответствии с величиной коэффициента B_r имеют по сравнению с формами более напряженный газовый режим. Так, в стержне I класса сложности величина P'_ϕ превышает в 10-100 раз величину газового давления в формах. Практически все стержни I-III класса сложности заливаются со вспенками, которые четко фиксируются манометрами. Особенно сильные взрывоподобные вспенки имеют стержни, у которых не имеется вывода газов (негазопроницаемая смесь, появляе-

ние развитой зоны конденсации, залитый металлом или закрашенный плотным покрытием знак стержня). Потенциальная величина газового давления $P_{гс}$ в таких стержнях, определяемая по формуле (18), может повыситься до 30-50 кгс/см²; однако, практически, оно будет непрерывно сбрасываться за счет удаления газа через жидкий металл.

$$P_{гс} = \frac{2}{3} P_0 \frac{\alpha \delta}{\epsilon V_0 T_3} [T^{3/2} - (T - T_3)^{3/2} - (\alpha T_3)^{3/2}], \quad (18)$$

где V_0 - объем стержня, ϵ - пористость смеси.

ВНЕДРЕНИЕ ГАЗА В ЖИДКИЙ МЕТАЛЛ И ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗОВЫХ РАКОВИН В ОТЛИВКАХ

Проникновение газа в отливку. Условие механического проникновения газа в отливку с поверхности раздела металл - форма определяется известным выражением:

$$\Sigma P < P_{гф}, \quad (19)$$

$$\Sigma P = P_m + P_n + P_{пф}, \quad (20)$$

где $P_m = \gamma_m H_m$ - давление металла, γ_m - плотность и H_m - высота столба металла над рассматриваемой точкой формы, P_n - давление, необходимое для преодоления поверхностного натяжения или прорыва затвердевшей корки металла, $P_{пф}$ - избыточное давление газа над зеркалом металла.

Все входящие в выражения (19) и (20) величины изменяются как во времени после заливки, так и по различным точкам поверхности контакта металла с формой или стержнем.

Величина P_n определяет условие входа газа в металл из устья поры, которая является естественным центром зарождения газового пузыря на поверхности раздела металл-форма; она зависит от поверхностного натяжения металла, краевого угла смачивания и эффективного радиуса поры. Установлено, что при внедрении газа в жидкий серый чугун величина P_n не превышает 10-12 гс/см², а эффективный радиус поры изменяется в пределах 0,3-2,5 мм, что значительно превышает размер пор, рассчитанных по номинальным диаметрам зерен песка; с увеличением разницы давления $P_{гф} - P_m - P_{пф}$ радиус "работающих" пор уменьшается.

Избыточное давление газа $P_{пф}$ в обычных неочаженных формах не превышает 3-5 гс/см², однако, в формах уплотненных прессованием при высоком удельном давлении величина $P_{пф}$ может повыситься до 20 гс/см². Ввиду ограниченности величин P_n и $P_{пф}$ противодавление ΣP определяется, в основном, давлением металла.

Для чугунных отливок вспилы в момент полного погружения стержня в жидкий металл невозможны лишь при условии:

$$P_{\text{г}} < 10 + 15 \text{ гс/см}^2. \quad (21)$$

Механическое внедрение газа может происходить как в жидкий металл, так и в процессе кристаллизации отливки. В затвердевающую отливку газ проникает или через твердо-жидкую или через твердую корку металла. Критическая толщина корки металла, при которой исключается проникновение газа в чугунную отливку, изменяется в широких пределах и может достигать 5-8 мм.

Длительность вспилов. Продолжительность процесса внедрения газа в металл с поверхности формы определяется временем, в течение которого сохраняется условие (19). В работе установлена возможность расчета как длительности вспила, так и количества внедряющегося в отливку газа. При заливке формы чугуном длительность вспилов от стержней изменяется в широких пределах - от долей секунды до 200 сек. С повышением скорости заливки формы после полного погружения стержня в металл длительность вспилов может сокращаться многократно; одновременно уменьшается и объем внедряющихся в отливку газов. Расчеты показывают, что в интервале вспила в отливку может внедриться до 50% образующихся за это время газов. Раскрывается двойственное и противоречивое влияние скорости заливки формы на газовый режим: при ее увеличении одновременно повышаются и газовое давление в порах смеси и противодействие со стороны металла. В связи с этим можно рекомендовать следующий режим заливки формы: медленная заливка до момента полного погружения стержня в металл - с целью снижения газового давления и быстрая заливка после полного погружения - с целью повышения скорости возрастания напора металла.

По интенсивности и длительности вспилы можно условно разделить на 4 вида: а/ слабые, когда газовое давление $P_{\text{г}}$ незначительно превышает противодействие ΣP ; при этом в отливку проникают одиночные газовые пузыри без заметного проявления эффекта "кипения"; б/ сильные, происходящие при значительном перепаде давления $P_{\text{г}} - \Sigma P$ и сопровождаемые одновременным проникновением в металл большого количества газовых пузырей; сильные вспилы наблюдаются визуально по беспокойному поведению металла в чане и выпорах; в/ очень сильные продолжительные вспилы, при которых число "работающих" пор и количество внедряющегося в металл газа

столь велико, что происходит слияние отдельных пузырей с возможностью образования на поверхности раздела металл - форма сплошной газовой рубашки, выбрасывающей металл из формы; г/ двойные вскипы, из которых первый происходит в процессе заливки или продолжается некоторое время (при недостаточном противодействии металла) после заливки; второй вскип появляется в период действия второго максимума газового давления и, часто, - в процессе кристаллизации сплава. Продолжение вскипа после заливки формы явно указывает на недостаточный напор металла в форме /рис. 7/.

Условия образования газовых раковин в отливке. Внедрившиеся в отливку газовые пузыри могут удалиться из нее к моменту затвердевания или остаться, образуя газовые включения. Существует три основных способа удаления газовых пузырей из отливки от места их внедрения:

А. Всплытие к открытому заркалу металла в процессе заливки (в любой форме, или после ее окончания (в открытой форме или через выпора - в закрытой форме). Удаление газовых пузырей из отливки через затвердевшую корку металла практически невозможно, а через вязкий твердо-жидкий металл маловероятно.

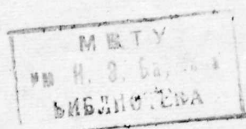
Б. Всплытие к газопроницаемым стенкам формы или стержней и удаление через них фильтрацией. Время удаления через газопроницаемую форму контактирующегося с ее поверхностью газового пузыря может изменяться в широких пределах в зависимости от условий контакта пузыря с формой, газопроницаемости формы и соотношения давлений газа в форме и в пузыре. В случае хорошего смачивания металлом поверхности формы удаление газа из прижатого к форме пузыря существенно затрудняется.

В. Вынос газа с потоком металла через открытое заркало металла или выпора. В частности, это относится к параливу металла через выпора, особенно желательному при вскипах, продолжающихся до конца заливки формы.

С учетом одновременного протекания процессов внедрения газа в металл и удаления его из металла условие фиксации газовых включений и образования раковин в отливке определяется следующим выражением:

$$\tau'_\kappa > \tau''_\kappa, \quad (22)$$

где τ'_κ - время от начала заливки до конца процесса внедрения газа в отливку, τ''_κ - время от начала заливки до конца возможного



удаления газовых пузырей из отливки.

Для конкретных отливок из серого чугуна существует определенная связь между допустимой длительностью вскипа, при которой внедрившийся газ удаляется из отливки, и температурой заливки металла. Отмечается двойственное влияние температуры заливки металла на образование газовых раковин: с ее увеличением повышается интенсивность процесса газообразования и увеличивается опасность появления вскипа. Одновременно существенно возрастает возможность удаления газовых пузырей из отливки, что уменьшает опасность образования газовых раковин. Опыты установили, что заливка форм при повышенной температуре металла безусловно сокращает опасность образования газовых раковин в отливках от вскипов; однако при чрезмерно длительных вскипах повышение температуры металла не дает положительных результатов, т.к. в конце вскипа газы внедряются уже в затвердевающий металл. Для форм, в которых удаление газа происходит беспрепятственно через открытое зеркало металла, допустимая длительность вскипа повышается в 2-2,5 раза.

Расположения и форма газовых раковин. Расположения, размеры и форма газовых раковин, имеющие непосредственное отношение к диагностике причин их образования, определяются мощностью и длительностью вскипов, толщиной стенок отливки, температурой металла и др. факторами. Слабые и кратковременные вскипы в чугунных отливках дают одиночные или групповые шарообразные газовые включения размером 1,5-20 мм. С увеличением длительности вскипа область поражения газовыми раковинами увеличивается, а отдельные газовые пузыри сливаются и деформируются, образуя крупные включения, линейные размеры которых достигают 500 мм, а объем - до 10 литров. Подобные крупные раковины имеют неопределенную форму, зависящую от толщины и конфигурации узла отливки, а их донная часть имеет следы внедрения в них первичных пузырей. В массивных узлах чугунных отливок при длительных вскипах, продолжающихся в период кристаллизации металла, часто образуются вытянутые в направлении всплытия червеобразные раковины, поражающие деталь на значительную глубину; на их внутренней поверхности часто выступает кристаллическая текстура, а в месте внедрения газа на поверхности отливки образуются наружные газовые раковины. При сильных вскипах, сопровождаемых разбрызги-

банием металла, газовые раковины могут иметь характерные включения - "корольки".

Наряду с внутренними, вскипы приводят к образованию и поверхностных газовых дефектов (газовой шероховатости), форма которых соответствует различным стадиям роста и внедрения газовых пузырей на поверхности раздела металл-форма. Образование поверхностных раковин происходит при условии, что выражение (19) сохраняет свою силу в период кристаллизации металла. Для чугунных отливок указанным условиям, обычно, отвечает интервал действия второго максимума газового давления. Поверхностные газовые раковины часто возникают в тепловых узлах отливки, где фактором, способствующим их образованию, является развитие процесса усадки металла. Наконец, вскипы, продолжающиеся до конца кристаллизации отливки, могут вызвать появление сквозных газовых раковин (свищей).

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВОГО РЕЖИМА ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

Установлено, что достоверное прогнозирование напряженности газового режима форм и стержней и оценка вероятности появления в отливках газовых дефектов от вскипов возможно лишь на основе учета всего комплекса факторов, определяющих процессы газообразования, фильтрации газов и поведения газовых пузырей в отливке. В этом отношении эффективным мероприятием является исследование газового режима в производственных условиях. Подобные исследования были проведены в нескольких литейных цехах.

Как и следовало ожидать, напряженность газового режима в собственно формах и в стержнях существенно различается. Газовое давление в исследованных конвейерных формах автотракторных литейных цехов, как правило, не превышает критической величины определяемой формулой (21), и не вызывает вскипы. В крупных не-вентилируемых формах, изготовляемых по CO_2 - процессу при повышенной длине пути фильтрации газа и пониженной газопроводимости смеси, газовое давление достигает 35 г/см^2 и вызывает кратковременные вскипы; с нанесением достаточного количества вентиляционных каналов вскипы исчезают.

Во всех стержнях I-III класса сложности газовое давление превышает критическую величину. Так в более чем 50 исследованных головках блока двигателя ДТ-54 из 14 устанавливаемых в форму

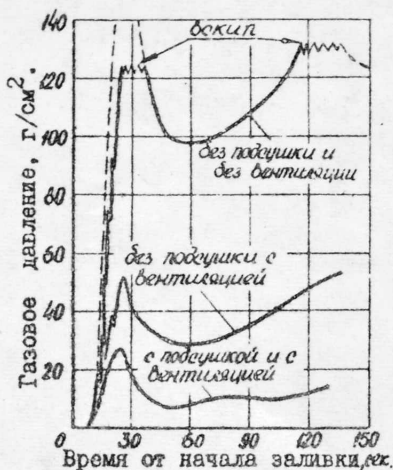
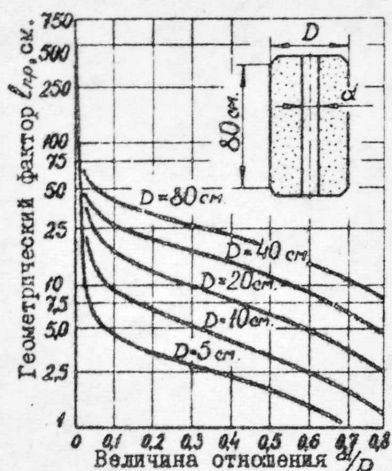


Рис. 5. Изменение приведенной длины пути фильтрации $l_{пр}$ в зависимости от диаметров стержня и вентиляционного канала.

Рис. 6. Газовое давление в кольцеобразном стержне чугунной отливки /салазки стола/.

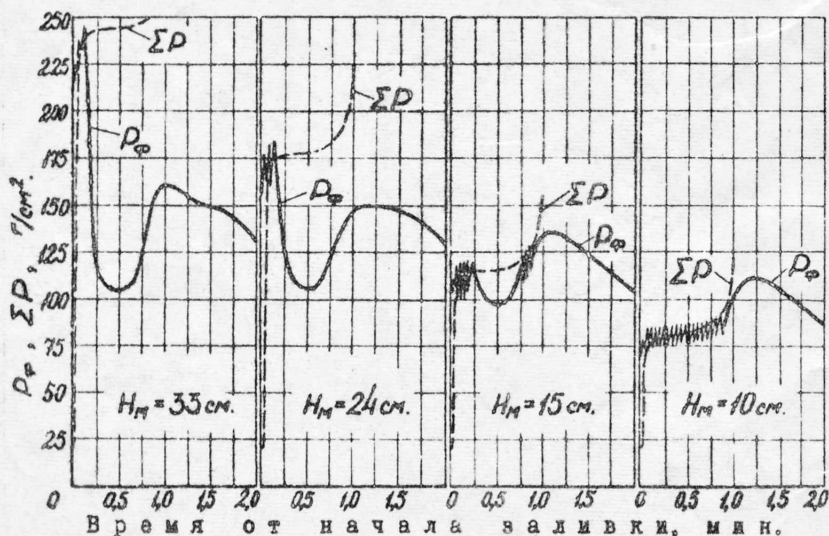


Рис. 7. Влияние высоты столба металла над стержнем на продолжительность вскипов.

стержней 9 давали систематические вскипы. Максимальное давление ($130-250 \text{ гс/см}^2$) возникает в стержнях (I-й класс сложности, $B_p = 2200 \text{ гс.сек}^{1/2}/\text{см}^2$), образующих полость водяной рубашки. В некоторых случаях вскипы от этих стержней продолжались и после окончания заливки формы, что связано с грубыми нарушениями технологического процесса: отсутствием вентиляционных каналов или с заливкой их металлом, неполным напором металла из-за недолива формы, длительной выдержкой собранных форм перед заливкой и т.п. Все головки блока, залитые со вскипами, продолжавшимися после окончания заливки формы, имели открытые газовые раковины, поражающие всю верхнюю часть отливки. Краковременные вскипы, заканчивающиеся до момента окончания заливки формы, обычно не приводили к образованию газовых раковин, за исключением случаев заливки холодным металлом. С повышением температуры заливки металла допустимая длительность вскипов увеличивается. Примерно аналогичная характеристика газового режима выявлена и при исследовании головок блока двигателей Т-75 и СМД-14.

Весьма напряженный газовый режим имеют формы и стержни /рис.6/ отливок металлорежущих станков. Так, в ряде стержней для станин и стоек газовое давление составляло $120-185 \text{ гс/см}^2$, а длительность вскипов доходила до 55-60 сек. В форме станины станка 5В150 (черный вес 3400 кг) различие по длительности вскипы возникали, по крайней мере, от 18 из 38 устанавливаемых стержней; получаемые в этих условиях верхние (по заливке) части станин были поражены газовыми раковинами. Основными причинами столь длительных вскипов являлись: низкая газопроницаемость и повышенная газотворность смесей, недостаточная вентиляция стержней и недостаточный уровень металла в чаше.

Производственные исследования показали, что при отсутствии систематического контроля технологического процесса изготовления стержней стабильность их газового режима не обеспечивается. Широкий диапазон изменения газового давления (в 1,5-2,0 раза) в одних и тех же стержнях и длительности вскипов от них (в 1,5-10 раз), в частности, связаны с неконтролируемым изменением свойств смеси. Исследования, проведенные на Курганском заводе колесных тягачей, показали, что газотворность стержневых производственных смесей одного и того же назначения изменяется во времени в 1,5-2,0 раза; это связано, в основном, с изменением

качества исходных компонентов смеси, особенно связующих материалов, и неконтролируемым изменением их дозировки. Непостоянство свойств стержневых смесей обнаружено также и на других заводах.

На изменение газового режима форм и стержней оказывает влияние неконтролируемое изменение ряда параметров технологического процесса: качества выполнения вентиляционных устройств, режима высушивания форм и стержней, длительности выдержки отдельных форм перед заливкой, режима заливки форм, температуры металла при заливке и других факторов. Все это, вместе с высоким уровнем брака отливок по газовым раковинам, позволяет говорить о несовершенстве применяемых в производстве методов и средств контроля свойств смесей и технологического процесса изготовления отливок. Предложенные методы исследования процессов газообразования, газового давления и процесса внедрения газа в отливку являются надежным средством контроля. Вместе с расчетными методами регулирования газового режима форм и стержней они облегчают выбор оптимального варианта технологического процесса и способствуют поддержанию его стабильности.

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ГАЗОВЫМИ ДЕФЕКТАМИ ОТЛИВОК, ВОЗНИКАЮЩИМИ ОТ ВСКИПОВ

Все мероприятия по предупреждению брака отливок по газовым раковинам от вскипов можно разбить на организационно-технические (повышение квалификации рабочих, снабжение литейных цехов качественными материалами, улучшение работы службы ОТК и т.п.) и технологические. В соответствии с изложенной теорией газового режима форм и стержней и выявленным механизмом образования дефектов все технологические мероприятия можно разделить на три основные группы.

1. Снижение газового давления в формах и стержнях за счет: а/ уменьшения газотворности смеси (сокращение содержания газотворных веществ, применение качественных связующих материалов, уменьшение гигроскопичности смеси, установление оптимального режима высушивания форм и стержней, введение в смесь окислителей, уменьшающих объем образующихся газов, применение двухслойных форм и др.); б/ увеличения скорости удаления газа от места их образования (повышение газопроницаемости смеси, выполнение вентиляционных устройств, применение оболочковых или полых форм и стержней, принудительный отсос газов, введение в

смесь адсорбентов и др.); в/ увеличения длительности существования неупорядоченного режима фильтрации (уменьшение скорости заливки до момента полного погружения стержней в металл, выбор оптимального положения стержня в форме, использование стержней с неокрашенной поверхностью и др.).

II. Увеличение противодействия со стороны металла за счет:
а/ создания препятствий росту газовых пузырей на поверхности контакта металл - форма (уменьшение пор на поверхности формы, повышение поверхностного натяжения сплава, улучшение смачиваемости металлом поверхности стержней в месте вскипа, увеличение скорости затвердевания металла в месте внедрения газа и отливку и др.); б/ увеличения напора металла (повышение уровня металла в чаше, повышение скорости заливки после полного погружения стержня в металл, создание газового давления над зеркалом металла, применение центробежной силы и др.).

III. Обеспечение условий удаления газовых включений из металла за счет: а/ повышения скорости удаления газа из металла (литье в открытые формы, повышение температуры металла при заливке и уменьшение его вязкости, замедление скорости затвердевания металла в месте выхода газа из отливки, повышение газопроницаемости и огнеупорности и уменьшение смачиваемости металлом смеси в месте выхода газа из отливки в форму, искусственное воздействие на скорость всплывания газовых пузырей в металле и др.); б/ вывода газовых включений в неответственные части отливок (применение выпоров и прибылей и рациональное их размещение в форме, перелив металла через выпоры, назначение увеличенных припусков и изпусков, нижнее расположение в форме наиболее ответственных частей отливки и др.).

Предложенная классификация может быть расширена за счет конкретизации отдельных методов борьбы с газовыми раковинами от вскипа. Многие из отмеченных мероприятий (снижение газотворности и повышение газопроницаемости смесей, повышение температуры металла, вентиляция форм и стержней и др.) широко используются в практике литейного производства, однако, нахождение оптимальных вариантов технологии производится исключительно эмпирическим путем. Некоторые возможные методы борьбы с газовыми раковинами от вскипа или вовсе не используются или применяются редко (введение в смесь адсорбентов, увеличение длительности суще-

ствования неупорядоченного периода фильтрации, использования явления смачиваемости с целью затруднения процесса внедрения газа в отливку и облегчения выхода газа из отливки в форму, регулирования скорости заливки формы металлом, принудительный отсос газов, выбор оптимального положения стержня в форме и др.). Имеются две основные причины неполного использования имеющихся средств борьбы с газовыми дефектами отливок от вскипов: недостаточный уровень контроля технологического процесса изготовления отливок и слабая теоретическая разработка проблемы. Роль теории особенно наглядно выясняется при рассмотрении технологических факторов (скорость заливки форм, температура металла, скорость затвердевания металла, степень смачиваемости металлом поверхности форм и стержней и др.), которые в одних случаях могут способствовать образованию дефектов, а в других — препятствовать.

Для прогнозирования газового режима литейных форм и стержней и количественной оценки влияния на него различных факторов могут быть использованы полученные в работе теоретические зависимости, которые с учетом геометрических характеристик форм и стержней позволяют рассчитывать еще на стадии проектирования литейной формы требуемые свойства смесей (газотворность, газопроницаемость) и некоторые характеристики технологического процесса (требуемый уровень металла в чаше, допустимую скорость погружения стержня в металл, вентиляция стержней и др.). Как показывают теоретические расчеты и опыты возможные пределы регулирования газового давления в стержнях и длительности вскипа от них за счет использования различных мероприятий весьма значительны (табл.3); в практических условиях эти возможности используются далеко не полностью.

Расчеты (табл.4) с использованием выражений (7),(16),(21) показывают, а проведенные лабораторные и производственные исследования подтверждают, что применяемые в настоящее время стержневые смеси не обеспечивают создания направленного газового потока в стержнях I, II и частично III класса сложности. При существующей газотворности и газопроницаемости смесей для указанных классов стержней вскипы в момент полного погружения стержней в металл неизбежны, т.к. первый максимум газового давления существенно превышает допустимую величину противодействия,

определяемую выражением (21). Наблюдаемые в практических условиях факты получения годных отливок при наличии всплохов можно объяснить или полным удалением газовых пузырей из металла до затвердевания отливки, или, что во многих случаях подтверждается, снижением требований к качеству деталей.

Таблица 3

Практические пределы возможного регулирования газового давления и длительности всплопа при использовании некоторых мероприятий

Используемые мероприятия	Предел возможного относительного уменьшения	
	газового давления	длительности всплопа
Замена связующих материалов	до 2,5 раз	до 5 раз
Высушивание форм и стержней	до 8 раз	до 10 раз
Уменьшение величины Z_2	до 5 раз	до 8 раз
Вентиляционные устройства	до 30 раз	до 50 раз
Повышение уровня металла в чаше	—	до 20 раз
Использование оболочковых стержней	до 120 раз	устранение всплопов
Принудительный отсос газов	создание разрежения	устранение всплопов

Безусловно исключаются всплопы при использовании оболочковых форм и стержней, однако, не все стержни I и II класса сложности могут быть выполнены в оболочковом варианте. Для полного исключения всплопов и создания направленного газового потока в стержнях I-II класса сложности в перспективе необходимо использовать смеси, обеспечивающие снижение коэффициента напряженности газового режима B_r в 3-8 раз по сравнению со смесями, применяемыми в настоящее время; речь идет, в первую очередь, об использовании связующих материалов с очень высокой удельной прочностью и низкой газотворностью.

В связи с практической трудностью полного исключения всплопов от стержней возрастает роль мероприятий, сокращающих длительность всплопов или способствующих удалению из отливки до начала ее кристаллизации внедрившихся ранее газовых пузырей. Некоторые из этих мероприятий (изменение состава смесей и режима высушивания стержней, сокращение времени выдержки собранных

Таблица 4

Расчетные газопроницаемости для различных форм и стержней при производстве чугунного литья ($\alpha = 0,7$); нижние пределы величин $\ell_{пр}$, B_r и расчетной газопроницаемости относятся к вентилируемым стержням, а верхние - к невентилируемым

Класс сложности стержней по И.Б. Куманину или тип формы	$\ell_{пр}$, см	α , см/сек $\frac{1}{2}$	B_r , гс.сек $\frac{1}{2}$ см ²	τ_z , сек	Газопроницаемость, стандартные единицы	
					по расчету	фактическая
I	100-2000	4,0-6,0	400-7500	3-25	110-9500	100-420
II	50-800	3,5-5,5	200-2000	3-25	50-3600	100-360
III	30-300	3,0-5,5	100-1200	10-40	25-720	80-300
IV	20-120	2,5-5,5	30-400	15-60	9-240	80-240
V	10-60	2,0-5,5	20-300	15-120	3-110	60-180
Сырые формы	3-20	12-22	60-450	10-120	5-190	20-90
Сухие формы	5-50	2,0-6,0	10-200	10-120	3-125	50-150
Оболочковые формы и стержни	0,5-3	3,0-6,0	до 15	10-30	1-7	120-360

форм перед заливкой, эффективная вентиляция стержней, изменение температуры заливки форм и др.) были использованы при производстве сложных чугунных отливок на заводе "Октябрь" в г.Краснодаре, на Клинском станкостроительном заводе и на Курганском заводе колесных тягачей. Проведенные мероприятия позволили значительно сократить брак отливок по газовым раковинам от вскипов. Экономия составляет, в зависимости от условий производства и объема снижаемого брака, от 2 до 12 рублей на тонну годного литья.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Образование в отливках газовых раковин, связанных с газовым режимом песчаных форм и стержней, происходит в результате протекания сложного комплекса различных явлений, включающего процессы образования и фильтрации газов, появления избыточного газового давления, механическое внедрение газа в жидкий или затвердевающий металл и перемещения газовых включений по объему отливок.

2. Теоретически установлена и экспериментально подтвержде-

на общая закономерность процесса газообразования в песчаной форме; основной газотворной характеристикой смесей является относительный коэффициент газообразования, величина которого изменяется в пределах от 0,1 (прокаленные смеси на этилсиликате) до 22 см/сек^{1/2} (смеси для сырых форм).

3. В качестве газотворных характеристик отдельных материалов и веществ, входящих в состав смесей, можно использовать их среднюю температуру термодеструкции и объем газов, выделяющихся из материала в заданном температурном интервале. Эти характеристики можно использовать для теоретического расчета относительного коэффициента газообразования смесей.

4. Важнейшим показателем напряженности газового режима форм и стержней является величина избыточного газового давления; оно является непосредственным фактором, вызывающим проникновение газа в отливку. Газовое давление изменяется во времени по сложной зависимости и, обычно, имеет два максимума. Предложенный теоретический метод расчета первого максимума газового давления учитывает практически все важнейшие факторы, влияющие на процессы газообразования и фильтрации.

5. На газовое давление оказывает сильное влияние переходный (неупорядоченный) период процессов газообразования и фильтрации, совпадающий во времени с погружением поверхности форм или стержня в металл; с увеличением длительности этого периода величина газового давления существенно сокращается. Первый максимум газового давления независимо от длительности заливки возникает в момент полного погружения стержня в металл.

6. В качестве комплексной характеристики газотворных и фильтрационных свойств смесей и геометрических характеристик форм и стержней может быть использован коэффициент напряженности газового режима, величина которого изменяется в пределах от 3-15 для оболочковых форм и стержней до 400-7500 гс.сек^{1/2}/см² для стержней I-го класса сложности.

7. Вентиляционные устройства радикально изменяют направление фильтрационных потоков в формах и стержнях и могут многократно снижать коэффициент напряженности газового режима. Идеально вентилируемыми являются оболочковые формы и стержни.

8. При прочих равных условиях первый максимум газового давления пропорционален коэффициенту напряженности газового режима. Величина первого максимума газового давления в высушенных, а

также в сырых формах при ограниченном содержании в смеси воды и других газотворных материалов и при обычном уплотнении не превышает 10-15 гс/см². Минимальное газовое давление имеют оболочковые формы и стержни. В стержнях I-III класса сложности газовое давление может повыситься до 100-500 гс/см². Второй максимум газового давления возникает через 20-300 сек после его погружения в металл. В сырых формах второй максимум газового давления по величине в 1,5-2,0 раза превышает первый максимум, а в просушенных стержнях и формах он значительно меньше первого.

9. Вскип или механическое проникновение газа в отливку происходит, если величина избыточного газового давления в рассматриваемой точке формы или стержня превышает противодействие со стороны металла. Наиболее опасным в отношении вскипа является момент полного погружения стержня в металл, когда при минимальной величине противодействия со стороны металла в стержне возникает первый максимум газового давления. Для чугуновых отливок критическая величина газового давления, вызывающая вскип в момент полного погружения стержня в металл, равна 10-15 гс/см².

10. Различные участки поверхности формы или стержня неравноценны в отношении возможности появления вскипа. Наиболее вероятно появление вскипа на участках поверхности форм и стержней, имеющих максимальную длину пути фильтрации газа и минимальное противодействие металла. Рост газовых пузырей и внедрение их в металл происходит на макроучастках форм и стержней с максимальным эффективным радиусом поры.

11. Исследованиями установлено, что в производственных формах все стержни I-III классов сложности дают вскипы. Согласно теоретическим расчетам и опытам для предупреждения вскипов в момент полного погружения в металл стержней I-III классов сложности их коэффициент напряженности газового режима должен быть снижен не меньше, чем в 3-8 раз по сравнению с существующей величиной.

12. В соответствии с неодинаковой для различных форм и стержней величиной соотношения газового давления и противодействия со стороны металла и изменением этого соотношения во времени и по объему формы вскипы различаются по интенсивности, длительности, по времени и месту возникновения. Установлено,

что в производственных условиях длительность вскипов при заливке форм чугуном может изменяться в пределах от 0,5 до 200 сек. Внедрение газа может происходить в жидкий металл, через твердо-жидкую корку и через твердую корку отливки.

13. Экспериментально доказано, что вскипы не всегда приводят к образованию газовых дефектов, т.к. внедрившиеся газы имеют возможность удалиться из отливки до момента ее окончательного затвердения. Существуют следующие пути удаления внедрившихся в металл газовых включений: а/ всплытие к открытому зеркалу металла в открытых формах или в закрытых формах в процессе заполнения последних; в/ всплытие к газопроницаемой стенке формы и дальнейшее удаление через нее фильтрацией и б/ удаление через выпора и прибыли с потоком металла в конце заполнения формы или при ее переливе. Наиболее эффективно происходит удаление газа при его всплытии к открытому зеркалу металла.

14. Следует отличать промежуток времени проникновения газа в металл с поверхности формы от промежутка времени, в течение которого возможно удаление из незатвердевшей отливки внедрившихся газовых пузырей. Образование газовых включений от вскипов происходит, если время от начала заливки до окончания проникновения металла превышает время от начала заливки до конца возможного удаления газа из отливки.

15. Для каждой конкретной отливки существует непосредственная связь между температурой заливки металла и допустимой, не приводящей к образованию газовых раковин длительностью вскипа. Открытые формы допускают большую длительность вскипа по сравнению с закрытыми. Удаление газовых пузырей из отливки невозможно при наличии на пути всплытия их затвердевшей корки металла и маловероятно - при наличии твердо-жидкой фазы.

16. Установлено двойственное влияние температуры заливки металла на образование газовых раковин в чугунных отливках; с ее повышением увеличиваются скорость газообразования, величина газового давления и длительность вскипа; однако, одновременно увеличивается и время возможного удаления газовых включений из отливки. Как показывают опыты, положительное влияние повышенной температуры заливки на снижение газовых раковин от вскипа обычно преобладает над отрицательным.

17. Двойственное влияние на образование газовых раковин

оказывает также и режим заливки форм: с повышением скорости заливки одновременно увеличиваются и газовое давление в стержне и противодействие со стороны металла. Можно рекомендовать следующий режим заливки: медленная заливка до момента полного погружения стержня в металл (с целью уменьшения газового давления) и быстрая заливка после полного погружения стержня в металл (с целью повышения напора металла).

18. Все возможные методы борьбы с газовыми дефектами от вскипов по принципу влияния их на механизм образования дефекта разбиваются на три группы: а/ снижающие газовое давление на поверхности раздела металл - форма; б/ увеличивающие противодействие со стороны металла и в/ способствующие удалению из затвердевающей отливки внедрившихся ранее пузырьков газа.

19. В производстве используются не все вытекающие из теории способы борьбы с газовыми раковинами в отливках. Практически не применяются такие эффективные методы как регулирование скорости заливки форм, выбор наиболее выгодного положения отливки в форме, принудительный отсос газов и др. Использование этих методов может многократно уменьшить величину газового давления и длительность вскипов.

20. Предложенные методы исследования газотворности смесей, термодеструкционных характеристик связующих материалов и смесей и газового давления в формах и стержнях обеспечивают получение объективных характеристик газового режима. Они могут быть рекомендованы в качестве средств контроля свойств смесей и надежности технологического процесса в лабораторных и производственных условиях.

21. Установлена возможность прогнозирования газового режима форм и стержней, а также возможность расчетного определения требуемых свойств смесей или других влияющих на газовый режим характеристик технологического процесса. Использование расчетного метода прогнозирования газового режима облегчает задачу разработки оптимального варианта литейной технологии.

22. Экономическая эффективность мероприятий по снижению брака и дефектности чугунного литья зависит от условий производства и существующего уровня брака и может составлять от 2 до 12 руб. на I тонну годного литья.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Медведев Я.И. К вопросу о газовом режиме литейной формы. Сб. "Сборник статей по формовочным материалам". М., Машгиз, 1958.
2. Берг П.П., Медведев Я.И. Газовый режим литейной формы. - "Литейное производство", 1961, № 7.
3. Медведев Я.И. Газовые явления на поверхности раздела металл - форма. Сб. "Взаимодействие литейной формы и отливки". М., Академиздат, 1962.
4. Валисовский И.В., Медведев Я.И. Технологические испытания формовочных материалов. М., Машгиз, 1963.
5. Berg P.P., Medwedew Ja.I. Gasregime des Gussform. „30 Internationale Giessereikongress", Praha, 1963.
6. Медведев Я.И., Берг П.П. Условия проникновения газов из формы в металл. Сб. "Газы в литом металле". М., "Наука", 1964.
7. Медведев Я.И. Газы в литейной форме. М., "Машиностроение", 1965.
8. Медведев Я.И., Гуллер Э.А. Одна из причин образования ситовидной пористости в отливках из марганцовистых сталей. Сб. "Дефекты отливок и меры их предупреждения". М., МДНТИ им. Ф.Э.Дзержинского, 1965.
9. Медведев Я.И., Кузовков В.К. Причины образования газовых раковин в головках блока ДТ-54. - "Литейное производство", 1966, № 6.
10. Медведев Я.И. Образование газовых раковин в чугуновых отливках при вскипе стержней. Сб. "Прогрессивные методы и процессы в литейном производстве". Нижневожское ЦБТИ, Волгоград, 1968.
11. Медведев Я.И. Роль газовой фазы в формировании поверхностных дефектов отливок. Сб. "Формирование качества поверхности отливок", М., "Наука", 1969.
12. Медведев Я.И. Влияние скорости подъема металла в форме на газовый режим песчаных стержней. Сб. "Новое в литье под низким давлением". Киев, "Наукова думка", 1971.
13. Лакадаменский А.В., Кваша Ф.С., Медведев Я.И., Шерман А.Д., Киян Э.Ф. Дефекты отливок и меры по их предупреждению. М., "Машиностроение", 1972.

14. Медведев Я.И., Валисовский И.В. Технологические испытания формовочных материалов. М., "Машиностроение", 1973.
15. Медведев Я.И. Влияние скорости заливки на газовый режим форм.-"Литейное производство", 1972, № 10.
16. Медведев Я.И., Кузовков В.К., Шуманев П.А., Ахтырская Н.А. Формовочная смесь на органическом связующем для изготовления литейных форм и стержней. Авторское свидетельство № 157470, -"Бюллетень изобретений", 1963, № 18.
17. Медведев Я.И., Кузовков В.К., Иванов Д.П., Шувалов М.Г. Установка для определения скорости выделения газа из формовочных и стержневых смесей. Авторское свидетельство № 193131. -"Бюллетень изобретений", 1967, № 6.
18. Медведев Я.И., Грузман В.М., Антипов В.А., Кузовков В.К. Устройство для определения давления и количества газов, выделяющихся из формовочных и стержневых смесей. Авторское свидетельство № 241066. -"Бюллетень изобретений", 1969, № 13.
19. Медведев Я.И., Кузовков В.К., Калугин В.А. Устройство для определения температуры газификации материалов. Авторское свидетельство № 273477. -"Бюллетень изобретений", 1970, № 20.
20. Медведев Я.И., Калугин В.А., Кузовков В.К. Способ определения температуры газификации материалов. Авторское свидетельство № 279109. -"Бюллетень изобретений", 1970, № 26.
21. Медведев Я.И. Вентиляционные устройства в песчаных формах и стержнях. Сб. "Современные способы получения высококачественных литых заготовок". М., МДИТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1973.