

Применение керамических фильтров в литниковых системах

(Э.М. Артц. по материалам специальной конференции Американского общества литейщиков "Modern Casting", март, 1987 г.

Аннотация

Установка стержней теперь уже не является последней операцией литейщиков перед закрытием формы при подготовке ее к заливке. Применение фильтров, устанавливаемых в литниковой системе, расширяется, по мере того как литейщикам становится известно, что это помогает уменьшить отходы и снизить затраты на производство.

На литейных предприятиях США возрос интерес к фильтрованию расплавленных чугуна и стали в процессе литья. В большой мере это вызвано потребностью в литейной продукции более высокого качества и экономически конкурентоспособной. Возможность удалить примеси из расплавленного металла до того, как они попадут в полость формы, позволит литейным предприятиям уменьшить скрап и литейный возврат и снизить за счет этого общие затраты.

Похоже, что фильтрование расплавленных металлов позволит решить сразу несколько насущных проблем литейного производства. Уже известно, что оно помогает повысить качество отливок экономически эффективным способом. При этом упор делается на предупредительные меры, а не на методы выявления брака. Фильтрование может способствовать сокращению объема работ по очистке и обработке отливок. Кроме того, сообщалось, что производство отливок, свободных от включений, улучшает отношения между литейными цехами, механическими цехами и, в конечном итоге, потребителями литья.

Но в то время как применение методов фильтрования в литейном производстве США расширяется, в понимании процесса остается много вопросов. Фильтрование расплавленного чугуна и стали может потребовать изменения литниковой системы, а также проведения некоторых исследований для определения подходящего типа фильтра, его размеров и т.д. для достижения оптимальных характеристик. Несмотря на необходимость такой предварительной работы, представляется, что получаемый эффект может значительно перевесить любые дополнительные усилия.

Обзор процесса фильтрования черных металлов был сделан в ходе специальной конференции Американского общества литейщиков, проведенной 19-20 ноября 1985 г. в Роузмонт (США).

Как сказал Дж.Б.Мок из Центрального литейного отделения фирмы "GMC":
"... главным оружием литейщика является качество производимой продукции".

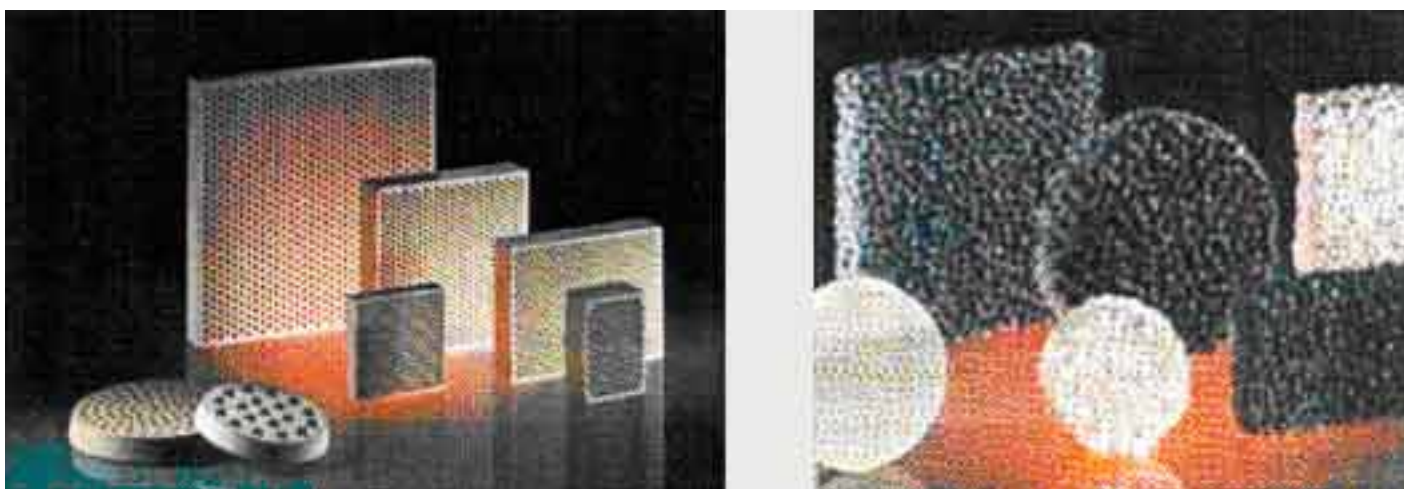


Рис.1 Фильтры из ячеистой керамики (слева) и из пенокерамики (справа)

Дж.Б.Мок рассматривает качество продукции с точки зрения обеспечения качества, то есть в концепции предупредительных мер, а не выявления отклонений в готовой продукции. "Фильтрование металла является предупредительной мерой в том смысле, что вы стараетесь не дать дефектам литья возникнуть", - указал он.

Фильтрация, как, объясняет Дж.Б. Мок, представляет собой введение сепарирующей преграды в определенном месте на пути расплавленного металла из плавильного аппарата в полость формы. В правильно сконструированной фильтровальной системе фильтр должен задерживать содержащиеся в расплаве загрязнения, но не мешать стабильному течению металла через литниковую систему.

"Я чувствую, что мы должны осознать, что фильтрация является также и формой выявления отклонений", - сказал Дж.Б.Мок, добавив, что следует различать фильтрование как широкомасштабную программу обеспечения качества и фильтрование, как средство выявления примесей в низкосортном расплаве.

Хотя Дж.Б.Мок и предупреждает, что литейщики должны быть готовы к тому, что получение высококачественного литья потребует много большего, чем просто фильтрование расплава, он все же считает, что это шаг на пути к производству бездефектной литейной продукции. Он сказал, что возможности фильтрования черных металлов, как средства в арсенале литейщиков, производят на него большое впечатление.

Технология фильтрования расплавленного металла не нова. На предприятиях по выплавке алюминия и производству алюминиевого литья эта технология используется на протяжении ряда лет для удаления металлических и неметаллических включений; применяется она и при литье по выплавляемым моделям для фильтрования дорогих сплавов. Разработка новых керамических материалов и технологии их применения сделала фильтрование практичным и эффективным процессом для большинства литейных предприятий, производящих литье промышленных сплавов черных металлов.

Включения в отливках из черных металлов.

Основной выигрыш, достигаемый при фильтровании расплавленного чугуна и стали, заключается в удалении включений до того, как они поступят в полость формы. Д-р Дж. Бриггс из фирмы "Фосеко" дает словарное определение включения как "твердого, жидкого или газообразного инородного вещества, заключенного в минерале или породе," но добавляет при этом, что литейщикам под этим названием лучше известны захваченные металлом примеси. Такие включения в чугуне ухудшают его характеристики при обработке, а также влияют на качество отливки.

"Они (включения) представляют собой неоднородности в матрице металла, которые нарушают механическую целостность и ухудшают обрабатываемость отливок, в которых они присутствуют. Влияние небольших включений в чугунных отливках менее значительно, чем, например, в стальных, из-за присутствия в чугуне графитовых "неоднородностей",- добавил он.

По мнению д-ра Бриггса, наиболее часто встречающейся категорией включений в чугуне являются неметаллические включения. Такие включения в чугунных отливках обычно можно разделить на два типа: включения, образующиеся внутри формы (эндогенные) - их источником может быть как сама форма, так и реакции внутри нее (включая окислительные реакции), и включения, образующиеся вне формы (экзогенные), т.е. такие, которые попадают в форму вместе с металлом (см.ниже).

Включения в чугуне (по сообщению д-ра Дж.Бриггса, фирма "Фосеко").

***Эндогенные* - образующиеся внутри формы:**

1. формовочная смесь, оставшаяся на отливке после выбивки,
2. продукты разрушения формы,
3. инородное вещество в формовочной смеси,
4. окисление, связанное с турбулентностью при поступлении металла в форму,
5. окисление металла в литниковой системе,
6. захват краски для стержней или формовочной краски,
7. продукты реакции присадок для обработки в форме,
8. не прореагировавшие присадки для обработки в форме,
9. загрязнения,

10. керамические включения,
11. реакция органических веществ в форме,
11. неметаллические включения, выделившиеся из раствора.

Экзогенные - образовавшиеся вне формы, но попавшие в нее вместе с потоком металла:

1. шлак из плавильной печи,
2. огнеупорный материал с ковша/лотка,
3. шлак десульфурации,
4. шлак шаровидного выделения графита (модифицирования)
5. шлак ковша,
6. непрореагировавшие присадки,
7. прореагировавший/непрореагировавший коагулятор шлака,
8. шлак кокильного литья,

9. продукты окисления,
10. загрязнения - посторонние объекты.

Д-р Бриггс предупреждает, что на каждом этапе процесса литья металла необходимо принимать специальные меры предосторожности, чтобы защитить отливку от включений, поскольку источники включений могут возникнуть на различных этапах. Ниже перечислены предупредительные меры, которые могут помочь устранить включения из отливок черных металлов.

Методы предупреждения появления включений в отливках черных металлов (по сообщению д-ра Дж. Бриггса, фирма "Фосеко").

Включения, связанные с формой:

1. Обеспечить, чтобы модели были правильно сконструированы, подогнаны и не имели повреждений.
2. Опoki должны быть правильно расположены и не должны иметь повреждений.
3. Форма должна быть однородно твердой и не крошащейся.
4. Стержни и другие вставки должны располагаться точно на своих знаках.
5. Конструкция литников должна способствовать снижению турбулентности и

прямого набегания.

6. Следует свести к минимуму движение/сотрясение формы.

8. Необходимо должным образом специфицировать и контролировать характеристики формовочной смеси.

9. Формовочная краска и краска для стержней должна быть нанесена правильно.

Включения, связанные с плавкой металла:

1. Используйте чистые сухие материалы, чтобы уменьшить возможность окисления.

2. Используйте желоба типа "носик чайника" и сифоны для отделения шлака.

3. Чтобы дать возможность включениям выйти из металла и сохранить ковш чистым, можно использовать флюсы.

4. Для удаления шлака следует использовать коагулянты, но их применение на-до должным образом контролировать.

5. Футеровку ковша следует ремонтировать как можно чаще.

6. Огнеупорные материалы необходимо подбирать в соответствии с условиями.

7. Температурный контроль жизненно важен, особенно на этапе обработки в ковше. Следует избегать как высоких, так и низких температур.

Включения, связанные с окислением металла:

1. Избегайте условий, способствующих окислению.
2. Работайте при не слишком высоких и не слишком низких температурах.
3. Сводите к минимуму манипуляции.
4. Методы раскисления могут снизить количество шлаков, FeO, MnO, SiO₂.
5. Используйте литники или фильтры для перехвата шлака.
6. Сводите к минимуму турбулентность в литниковой системе.

Включения, выделяющиеся в ходе отверждения:

Серый чугун

1. Серу следует уравнивать марганцем.

2. Содержание серы не должно превышать 0,12-0,15%.
3. Содержание кремния должно быть как можно меньше.

Ковкий чугун

1. Содержание серы в основном металле должно быть как можно ниже.
2. Содержание магния не должно превышать 0,045%.
3. Содержание кремния должно быть как можно ниже.

Типы фильтров.

По словам проф. П.Ф.Визера из университета Кейз Уэстерн Ризерв выбор подходящего фильтра для каждого процесса литья чугуна или стали определяется величиной потери давления потока расплавленного металла на фильтре. "Эта величина потери давления лежит в основе определения размера фильтра, требуемого для заполнения формы с заданной скоростью без преждевременной закупорки фильтра"- пояснил проф. Визер.

Основные типы фильтров, применяемые для литья чугуна и стали - это конструкции из пенокерамики и экструдированной ячеистой керамики. По сообщению проф. Визера, возможны и другие конструкции фильтров; они используются при литье цветных металлов. Ниже перечислены пять основных типов фильтров, описанных в работе D. Apelian.

Монолитные керамические фильтры. Фильтры из связанной или плавленой керамики, изготовленные чаще всего методом экструзии, имеют часто расположенные прямые поры постоянного поперечного сечения; изготавливаются с долей открытых участков более 65%.

Фильтры из пенокерамики. Фильтры из связанной или плавленной керамики, изготовленные путем нанесения керамического шликера на вспененный полимер. Полимер выгорает в процессе обжига. В отличие от фильтров, изготовленных методом экструзии, фильтры из пенокерамики характеризуются случайным распределением размеров пор.

Фильтры из связанных керамических частиц. Фильтры этой категории изготавливаются путем связывания или сплавления отдельных керамических частиц. Связь осуществляется там, где встречаются частицы. Объем пор контролируется степенью уплотнения, т.е. распределением размеров частиц.

Фильтры из несвязанных керамических частиц. Структура таких фильтров подобна структуре фильтров из связанных частиц, но применение несвязанных частиц требует субстрата для их закрепления и стенок, ограничивающих объем. Большая теплоемкость таких фильтров требует внешнего источника нагрева для предотвращения застывания металла.

Тканые фильтры из керамических волокон. Такие фильтры изготавливаются в виде грубой ткани из керамических волокон. Недостаточная прочность и стойкость к действию чугуна и стали при высоких температурах в большой степени ограничили их применение в цветной металлургии (это не относится к Европе - по сообщению Д. Гротекке из фирмы "Меткаст ассошиэйтс", там достигнуты значительные успехи в работе с кремниевым волокнистым материалом, производимым в СССР и продаваемым по лицензии на Западе. Сообщается об очень хорошей работе этого технологического процесса, называемого Фирам, однако материал даже в СССР производится в очень малом количестве).

Размеры пор и пористость фильтра влияют на долю удаляемых включений. Размер пор в фильтрах из экструдированной керамики обычно выражается величиной числа ячеек на единицу площади фильтра (по сообщению проф. Wieser). В производстве чугуна и стали наиболее распространены величины 50-300 ячеек/дюйм² (8 - 47) ячеек/см².

Проф. Wieser пояснил, что следует учитывать и еще одну характеристику - удельную поверхность фильтра, т.е. отношение площади поверхности фильтра к его объему или

массе. При фильтровании величина удельной поверхности важна для характеристики потока жидкости. Величина удельной поверхности оказывается различной в зависимости от применяемой методики измерений.

По словам проф. Wieser, при работе с расплавленным металлом следует дополнительно учитывать потери тепла при соприкосновении металла с фильтром, температура которого ниже температуры жидкого металла. Эти потери тепла могут привести к застыванию металла на входной поверхности фильтра или внутри пор. Однако, проблемы такого типа легко решаются при непрерывной разливке или кокильном литье, поскольку при этом имеется доступ к фильтру и можно организовать его предварительный подогрев. Напротив, при обычном литье в формы для облегчения вхождения потока в фильтр требуется нагрев до более высоких температур и большие размеры пор.

Кроме того, жидкости при прохождении через фильтр теряют энергию. Величина этих потерь, по словам проф. Wieser, зависит от свойств фильтра и жидкости, а также от скорости потока жидкости. Когда происходит захват включений, каналы фильтра перекрываются, а это ведет к увеличению потери давления и, соответственно, к снижению скорости потока металла.

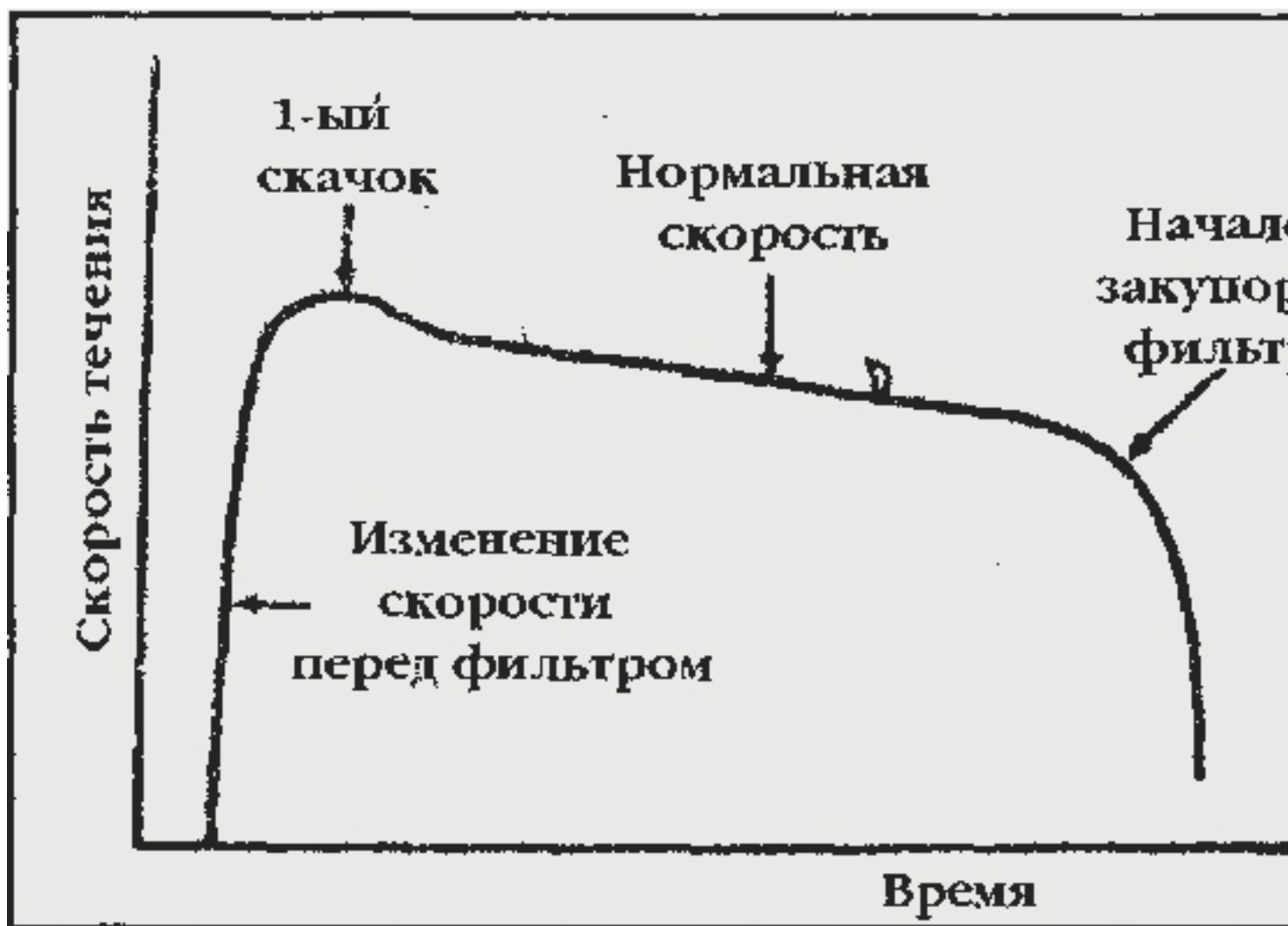


Рис.2 Зависимость скорости течения металла через фильтр от времени.

По сообщению Д. Гротеке это может увеличить вероятность получения бракованных отливок при переменном уровне содержания включений, однако, с этим явлением можно бороться, либо используя устанавливаемый в литниковой системе фильтр с большей удельной поверхностью, либо подавая в литниковый канал металл, однородный по качеству.

Конструкция литниковой системы.

По сообщению Х. Кинда из фирмы "Фосеко", керамический фильтр, установленный в литниковой системе, способен эффективно извлекать из потока расплавленного металла шлак, дросс и другие неметаллические включения. По его словам, "это может значительно снизить количество связанных с включениями дефектов, обнаруживаемых как до, так и после механической обработки. Кроме того, удаление неметаллических включений из расплавленного металла может позволить уменьшить размеры литниковой системы и сделать ее менее сложной, что привело бы к повышению

производительности и высвобождению места на модельной плите."

Х. Кинд добавил, что обычный подход к предупреждению появления дефектов, связанных с включениями, предполагает использование литниковых систем для отделения неметаллических включений от расплавленного металла. "К сожалению, - сказал он - обычный подход к конструированию литниковых систем не всегда обеспечивает должное качество литья и часто вынуждает жертвовать производительностью".

По мнению Х. Кинда возможно успешное применение фильтров в обычных конструкциях литниковых систем, однако это не всегда дает лучшие результаты. Опыт применения керамических фильтров показывает, что максимальный технический и экономический выигрыш достигается в случае, когда литниковая система сконструирована специально в расчете на применение фильтров.

Рекомендации по применению.

По мнению Х. Кинда правильно сконструированная литниковая система, рассчитанная на применение керамического фильтра, должна обеспечивать простоту установки фильтра, достаточную продолжительность заполнения формы, оптимальную эффективность фильтрования и иметь минимальные размеры.

"Чтобы удовлетворить этим требованиям, необходимо в каждом случае определить требуемые размеры и число фильтров и разместить их в правильно сконструированной литниковой системе".

Требуемые в каждом конкретном случае размеры и число фильтров определяются скоростью литья и общим объемом металла, который должен пройти через фильтры. Определены значения соотношения между доступной для прохождения металла площадью фильтра (фронтальная площадь фильтра) и площадью наименьшего поперечного сечения питателя литниковой системы, при которых фильтр не вызывает нарушений в скорости заливки. Для серого чугуна/ковкого чугуна рекомендуется соотношение 4:1, для чугуна с шаровидным графитом - 6:1.

Конструкция литниковой системы для применения с керамическим фильтром отличается

от обычной; она должна отражать особенности применения фильтра, его влияние и задачи. Х. Кинд выделил, чем отличается рекомендуемая конструкция литниковой системы от обычной:

1. Применение фильтров сводит к минимуму необходимость снижения скорости потока металла для отделения неметаллических материалов при фильтровании. Это позволяет уменьшить длину литниковых систем, в которых используются фильтры, и исключить из них шлакоотделители, шлакоуловители и вихревые шлаковики. Литниковые системы для работы с фильтрами должны быть как можно проще и компактнее, чтобы свести к минимуму эрозию формы и достичь максимальной производительности.
2. Для достижения оптимальных результатов следует свести к минимуму турбулентность и вовлечение воздуха в литниковую систему за фильтром. Поскольку керамический фильтр способен отделять только неметаллические включения, присутствующие в потоке металла до фильтра, оказывается невозможно предотвратить окисление реакционноспособных материалов в потоке металла (например, магния, присутствующего в чугунах с шаровидным графитом) за фильтром, после попадания в полость формы. Наилучшие результаты получаются, если конструкция литниковой системы рассчитана на полное заполнение до того, как металл войдет в полость формы.
3. Наиболее эффективная работа керамических фильтров имеет место, когда исключено вовлечение воздуха через фильтр. Литниковая система с фильтром должна заполняться как можно быстрее, чтобы фильтр был окружен металлом.

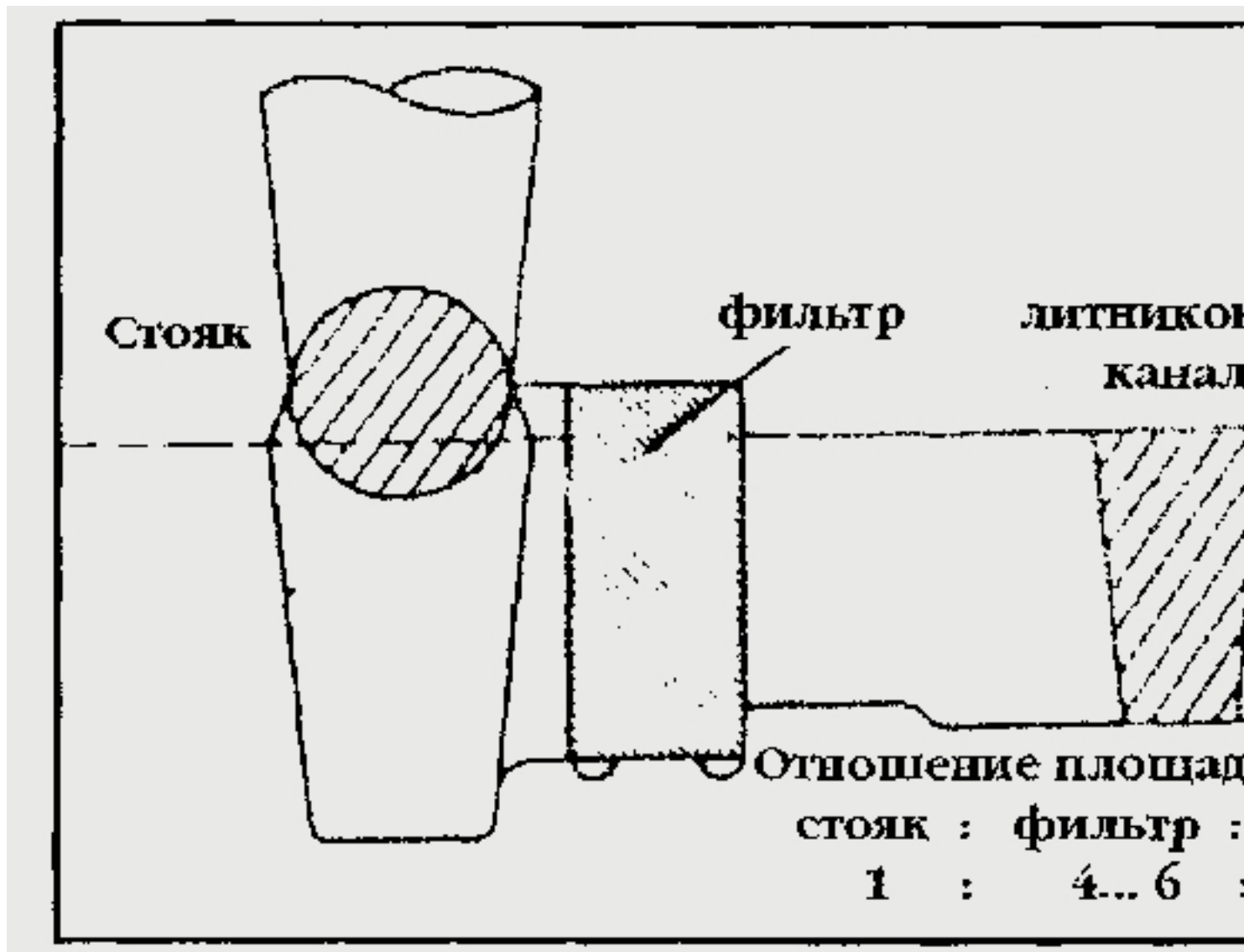


Рис.3 Схема литниковой системы с фильтром

Закупорку фильтра также следует учитывать при определении размеров и числа фильтров для конкретного случая применения. По словам Х. Кинда, поскольку керамические фильтры захватывают шлак, дресс и другие неметаллические включения, при недостаточной площади фильтра возможна его полная закупорка.

При работе с чугуном с шаровидным графитом закупорка фильтров происходит чаще и оказывается более существенной, чем для серого и ковкого чугуна; по мнению Х. Кинда, это связано с продуктами реакции, появляющимися из-за добавления магния, в той или иной форме участвующего в образовании шаровидного графита.

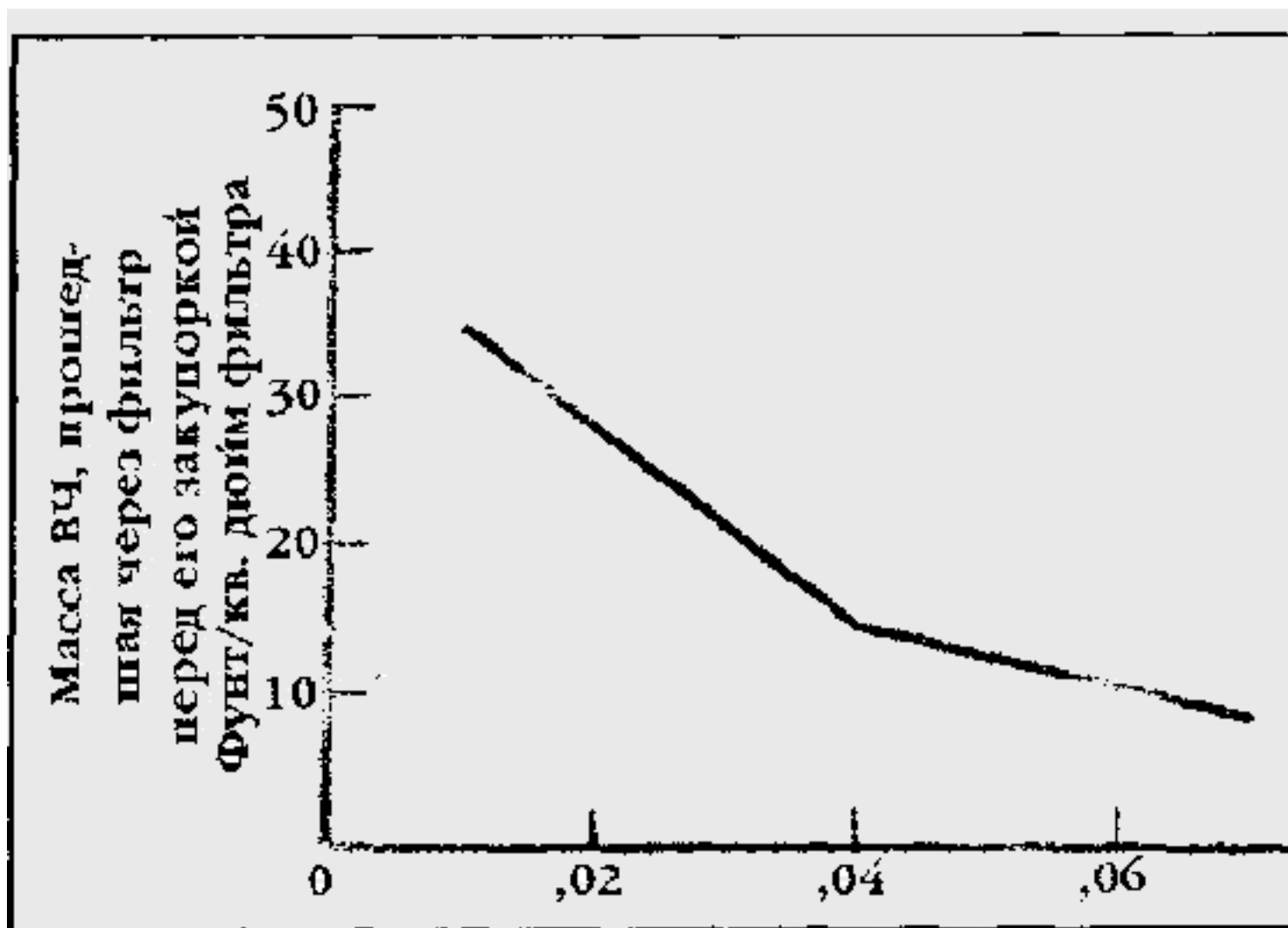


Рис.4

Закупорка фильтра из пенокерамики 10 ppi при диаметре заборки 0,07 дюйма

Применение фильтров при литье стали.

Применение фильтров в процессе литья чугуна может быть успешным, если они должным образом встроены в литниковую систему и правильно используются. Первые попытки применения фильтров из ячеистой керамики при литье стали также указывают на возможность успеха.

Т. В. Стоун из фирмы "Фосеко" сказал: "Первые попытки показывают, что успех применения керамических фильтров для литья стали зависит от понимания взаимосвязи между фильтруемым сплавом, текучестью сплава и применяемым типом фильтра. Понимание этих связей поможет литейщикам разработать литниковые системы и технику литья, позволяющие эффективно использовать существующие фильтры".

Работы по фильтрованию расплавленной стали показали, что ячеистая керамика способна удалять неметаллические включения из потока металла и снижать или исключать появление связанных с включениями дефектов в стальных отливках. По мнению Т.В.Стоуна, необходимо более точно определить величины минимально необходимого дополнительного нагрева и предпочтительные технологии раскисления и обработки металла, а также предпочтительные конструкции литниковых систем для литья стали.

По словам Т.В. Стоуна в настоящее время перед литейным производством стоит задача определения этих параметров и экономически эффективного применения техники фильтрования для повышения качества литья.

Поскольку литейщики стремятся к получению отливок без включений, конкурентоспособных по цене, фильтровальные системы для черных металлов могут стать обычным элементом в большинстве литейных производств, работающих с чугуном и сталью. Хотя сохраняется необходимость в дальнейших разработках в области фильтрования, сделанное к настоящему времени уже вызвало благожелательный отклик у литейщиков, специализирующихся на черных металлах. Должным образом сконструированные фильтровальные системы при правильном их использовании способны повысить качество литья при снижении количества скрапа и возврата. Это со временем может позволить литейным предприятиям предупреждать появление включений вместо того, чтобы выявлять включения в своей продукции.

[Вернуться в раздел "Техническая информация"](#)