

## Обзор применения пенокерамических фильтров в литейном производстве за рубежом.

(Ю.С. Староверов, Ю.А. Чернов, НТИМ, ж. "Огнеупоры" № 1, 1992 г.)

В последние годы за рубежом в литейном и сталеплавильном производстве находят широкое применение **пенокерамические фильтры (ПКФ)** с пористостью до 90 % и размером пор 0,5-5,0 мм [1,2]. Использование пенокерамических фильтров повышает чистоту изделий и уменьшает количество брака, увеличивает выход металла и способствует экономии электроэнергии, повышает производительность литья с единицы площади формы, улучшает свойства и повышает качество металла. ПКФ, относящиеся к группе литейных фильтров с внутренней фильтрующей поверхностью, обладают комплексом свойств, необходимых для фильтрации чугуна, стали и высокотемпературных сплавов: малой массой, высокоэффективной поверхностью, извилистым путем потока металла, низкими потерями давления, приемлемыми термическими и механическими свойствами. Благодаря своей структуре, они, в отличие от двумерных фильтров (керамические сетки, стержни, сетки из стекловолокна с различными покрытиями и другие), могут задерживать включения микронных размеров.

Известно, что из-за вязких магнезито-силикатных шлаков, которые являются побочным продуктом глобуляции графита, литниковая система и шлаковики для чугунов с шаровидным графитом длиннее и тяжеловеснее обычных на 50-100 %. Поэтому отношение массы отливки к массе металла в форме при литье чугуна с шаровидным графитом составляет всего 50-60 %. Даже при использовании сложных литниковых систем брак разливки за счет неметаллических включений может колебаться от 3 до 10 %, а в некоторых случаях достигать 35 % (например, при производстве деталей для автомобильной промышленности, где к отливкам предъявляются особенно высокие требования). При механической обработке выявляется дополнительный брак. Таким образом, общий выход годного литья в среднем составляет 45-55 %.

При разливке серого чугуна неметаллических включений меньше, но печной и ковшевые шлаки часто вместе с отливаемым металлом затягиваются в форму, увеличивая количество брака.

Быстрое внедрение технологии фильтрации металлов в литейной промышленности за рубежом обусловлено, прежде всего, значительным повышением качества отливок и

увеличением производительности при относительно низких затратах. **Применение пенокерамических фильтров при получении чугунных отливок позволяет уменьшить размеры литниковой системы и шлаковиков, значительно снизить содержание неметаллических включений и повысить выход годного литья до 60-80 %.**

*Пенокерамические фильтры* по внешнему виду напоминают губку, получают их методом пропитки органической пены (например, вспененного полиуретана) керамическим шликером, удалением за счет обжата его излишка с последующей сушкой и выжиганием в печи органической основы. В большинстве случаев обжиг способствует спеканию керамики.

В настоящее время разработаны различные ПКФ со свойствами, удовлетворяющими требованиям литья большинства цветных металлов и сплавов. Для фильтрации алюминия в течение многих лет в металлургическом производстве используют оксид алюминия на фосфатном связующем и материалы системы  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  [4]. В некоторых случаях для литья алюминиевых сплавов, обладающих высокой активностью, успешно применяли фильтры из спеченного оксида алюминия без связующего. Фильтры на фосфатном связующем также используют для фильтрации цветных металлов и их сплавов с низкой температурой плавления: латунь, бронза, цинк, олово, медь и др.

Черные металлы и их сплавы по сравнению с цветными металлами имеют более высокие химическую активность и температуру разливки, поэтому потребовались разработка технологии и создание новых высокотемпературных пенокерамических фильтров с повышенной химической стойкостью, в частности из карбида кремния. За рубежом при получении отливок из чугуна (особенно с шаровидным графитом) применяют ПКФ на основе карбида кремния марок Sedex ("Foseco International Ltd", Великобритания), Selee/Fe ("Selee AG Corp.", Швейцария), AmPorOh ("Astro Met Associates", США). Эти фильтры эффективно внедряют в литейных цехах автомобильной промышленности ряда стран при массовом производстве чугунных отливок ответственного назначения [5, 6].

Грубые фильтры с пористостью 4 поры на 1 см используют, как правило, для литья чугуна с шаровидным графитом и получения отливок большой массы. Фильтры с пористостью 8 пор на 1 см рекомендуются для рафинирования серых чугунов и, наконец, мелкие фильтры с пористостью 12 пор на 1 см - для литья ковкого чугуна [7].

При производстве коленчатых валов из серого и высокопрочного чугуна для автомобилей с использованием фильтров Sedex, например, количество отходов только в механических цехах снижается с 30-35 % до 0,3 % [6]. Другим преимуществом фильтрации является то, что за счет упрощения литниковой системы на той же площади размещается большее количество моделей отливаемых деталей, что повышает производительность в среднем на 5-20 % [8].

Исследования и последующие испытания показали также, что при разливке чугуна с шаровидным графитом через пенокерамические фильтры марки Sedex повышается величина усталостного напряжения до разрушения, хотя значительного улучшения таких механических свойств, как предел прочности при растяжении и предел текучести, не наблюдается [9].

Однако литейные фильтры из карбида кремния не могут использоваться повторно, что делает их расход выше, чем расход керамических фильтров других типов. Кроме того, по сравнению с карбидом кремния пористая керамика из трансформационно-упрочненного оксида алюминия и частично стабилизированного диоксида циркония имеет более высокую термическую стойкость. Поэтому в США, ФРГ, Японии, Великобритании и других странах при массовом производстве отливок из черных металлов применяют в основном ПКФ на основе оксида алюминия и диоксида циркония, а также муллита. Наиболее дешевыми в данном ряду (включая и карбид кремния) являются фильтры из оксида алюминия.

Фильтрация стали и сплавов черных металлов пока не получила такого широкого распространения, как рафинирование цветных металлов и чугуна. Пенокерамические фильтры используют в основном для получения отливок ответственного назначения или при непрерывной разливке стали. В настоящее время осуществляется полупромышленное опробование фильтрования с помощью фильтров данного типа в сталеплавильном производстве. Для рафинирования стали в литейном производстве разработаны и внедряются ПКФ на основе диоксида циркония и оксида алюминия марок Stelex ("Foseco International Ltd", Великобритания), Selee/Fe Tm ("Selee AG Corp.", Швейцария), AmPanOh T ("As-tro Met Associates", США).

Исследована возможность рафинирования некоторых сплавов с помощью ПКФ на основе оксида алюминия, диоксида циркония и муллита при получении отливок массой до 45 кг [10]. Использовали фильтры диаметром 75-100 мм и пористостью 4-12 пор на 1 см. Наибольшей эффективностью обладали фильтры из частично стабилизированного диоксида циркония и из оксида алюминия, упрочненного диоксидом циркония, а

наименьшей - муллитовые.

На фирме "Fischer Cast Steel Products", США успешно внедрена технология очистки жидкого металла при производстве стальных отливок ответственного назначения массой 147 кг. Заливаемый металл пропускали через два пенокерамических фильтра на основе оксида алю-миния размерами 100x100x25 мм с пористостью 14 пор на 1 см. Это, как и при изготовлении изделий из чугуна [11], позволило избавиться от поверхностных дефектов, что привело к экономии нескольких часов, обычно затрачиваемых на их удаление, и обеспечило равномерную механическую обработку.

Показано [12], что ПКФ из материала системы  $ZrO_2$ - $Al_2O_3$  (Selee/Fe) эффективны для удаления включений различных фаз из нержавеющей стали двух марок. Фильтры размещали в промежуточном ковше как для литья в слиток, так и при разливке методом "Оспрей". Различные раскисляющие добавки использовали для изучения влияния включений на эффективность фильтрации. Наивысшей эффективности достигали при раскислении стали алюминием. Раскисление стали металлами до получения жидкого силиката марганца или сложных оксидов кальция, алюминия, марганца, кремния приводило к низкой эффективности фильтрации.

Отмечена также высокая эффективность пенокерамических фильтров в уменьшении общего содержания кислорода в сталях, раскисленных алюминием, до уровней, прогнозируемых методами равновесной термодинамики [13].

Получены обнадеживающие результаты при проведении исследований фирмой "Electric Steel Casting Company" США [14]. При разливке стали под давлением в линиковую систему фильтры удаляли неметаллические включения, выдерживая термические и механические напряжения потока расплавленной стали.

Проводимые научно-исследовательские работы направлены на создание керамики с более высокими вязкостью разрушения, термостойкостью, инертностью в контакте с расплавленным металлом. Определенный интерес представляет разработка керамических фильтров с покрытием толщиной 50 нм - 1 мкм из неорганического материала (Пат. 8707442, Бразилия). Поверхность фильтра с покрытием из диоксида кремния легко смачивается расплавленным металлом, в результате чего избыточный напор металла или очень большой нагрев не требуются. Такие фильтры можно использовать в основном для фильтрации расплавленных металлов с плохой

текучестью, например, стали. Изготовлены они могут быть быстро и дешево. Очень важно, что покрытия не влияют на процесс фильтрации и свойства металлической отливки.

Описан фильтр из оксида алюминия с покрытием из оксида кремния толщиной  $10^2 - 10^3$  нм (Пат. 901422, США). По сравнению с 11,3 кг стали, фильтрующейся через фильтр без покрытия, через фильтр с покрытием фильтровалось 76,6 кг металла, в результате чего получали очищенную отливку без включений шлака.

Предложен ПКФ, содержащий 5-35 % (массовые доли) диоксида циркония и 65-95 % оксида алюминия (Пат. 62/269724, Япония). Фильтр, содержащий  $ZrO_2$  и  $Al_2O_3$  в соотношении 2 : 8 и имеющий кажущуюся плотность 0,60, был испытан в процессе фильтрации расплавленной стали. В результате экспериментов было установлено, что температура размягчения пенокерамического фильтра данного состава, имеющего температурный коэффициент линейного расширения  $7,78 \cdot 10^{-6}$

$^{\circ}C$

, была выше, чем у ПКФ из диоксида циркония - соответственно 1630 и 1430  $^{\circ}C$  (температурный коэффициент линейного расширения последнего  $9,03 \cdot 10^{-6}$

$^{\circ}C$

-1

).

Фильтры с кажущейся плотностью 0,6-1,5 г/см<sup>3</sup> для удаления включений из расплава стали получали из смеси, содержащей 50-70 частей муллита и 30-50 частей оксида алюминия (Пат. 62/244415, Япония). При фильтрации 300 кг стали со скоростью 10 м/с потери давления составляли  $1,3 \cdot 10^3$  Па по сравнению с  $4,0 \cdot 10^3$

Па для фильтра из оксида алюминия.

Предложен состав керамического фильтра, содержащего до 20 % электропроводящей керамики, например, 40 % диборида циркония и 60 % диоксида циркония (Пат. 61/74611, Япония). Нагрев фильтра в течение 0,5 ч пропусканием электрического тока силой 100 А при напряжении 50 В до температуры 1200-1400  $^{\circ}C$  позволил воспрепятствовать его блокировке вследствие отверждения металла.

Исследования возможности применения ПКФ для удаления неметаллических включений из нержавеющей стали при непрерывной разливке показали, что эффективность фильтрации (уменьшение количества включений) составляет приблизительно 20% [15].

Изучали также влияние ПКФ на повышение качества аустенитных нержавеющих сталей при непрерывной разливке металла [16]. В экспериментах фильтры из оксида алюминия и диоксида циркония с различным размером пор помещали в промежуточном ковше. Было установлено, что при использовании пенокерамических фильтров возможно уменьшение содержания неметаллических включений в заготовке примерно на 20 %, что подтверждают выводы, сделанные ранее [15]. Неметаллические включения при фильтрации стали марки SUS 321, адсорбированные на поверхности фильтра, состояли в основном из шпинели состава  $Al_2MgO_4$ , а также из оксидов алюминия, кальция, кремния, марганца и соединений титана.

Исследовали эффективность фильтрации ПКФ марки Selee/Fe при литье низкоуглеродистых и нержавеющих сталей CF-3M, раскисленных алюминием [17]. Отмечено, что для достижения необходимого времени заполнения площадь поперечного сечения фильтра должна в 4-8 раз превышать площадь поперечного сечения литника. Для стали, содержащей 0,019 % углерода, 0,17 % марганца, 0,8 % хрома и 0,02 % алюминия, уменьшение содержания включений оксида алюминия составило 50-60 %.

Фильтрация расплава нержавеющей стали полностью устранила необходимость в удалении поверхностных включений, состоящих из силикатов марганца или хрома или хроматов марганца, на что затрачивалось в среднем 4 ч.

Имеются сведения, что уже сейчас для предотвращения включений оксида, шлака, газа широко используют фильтры марки Udicell различных форм и размеров, изготовленные фирмой "Hi-Tech Ceramics (HTC)", США [18]. Отмечается, что ПКФ, помещенные на дно литниковой чаши, выдерживают поток металла, нагретого до 1300-1700 °C и падающего в литниковую систему с высоты, достигающей 1,8 м. Скорость истечения этих расплавов обычно составляет 11-15 кг/с. Керамические фильтры Udicell эффективно используются при первичном производстве и вторичном переплаве заготовок. Как и при литье в кокиль, они должны выдерживать более жесткие условия в течение длительного времени по сравнению с литьем по выплавляемым моделям. Эти фильтры обычно применяют для фильтрации суперсплавов при массе до 22 т и продолжительности литья до 60 мин. Успешно продемонстрирована способность к

фильтрации 120 т нержавеющей стали со временем литья до 90 мин.

В Японии проведены промышленные эксперименты по использованию фильтрации в промежуточных ковшах МНЛЗ [3]. На одном из заводов фирмы "NiKon Steel" в перегородку промежуточного ковша вместимостью 15т были встроены ПКФ с размером пор 3 мм. Степень чистоты заготовок из коррозионностойкой стали повысилась примерно на 15 %, распределение включений размером не более 6 мкм улучшилось. Скорость течения стали через фильтр составляла 0,5-1 см/с и возрастала с увеличением уровня заполнения металлом промежуточного ковша и температуры перегрева стали. Результаты расчета механизма фильтрации показали, что процесс может быть осуществлен при более высоких скоростях течения металла при КПД 40-50 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Pedersen T., Balhiser R. C., Bates D. A. et al.// Wire J. 1979. V. 12. № 6. P. 74-77.
2. Luchinger J., Wi 1 1 e m i n G.// Revie de l'aluminium. 1981. № 502. P. 10-12.
3. Хаммершмид П., Я н к е Д. // Черные металлы. 1988. № 5. С. 16-25.
4. Brockmeyer J. W., Aubrey L. S. // Ceram. Eng. Sci. Proc. 1987. V. 8.-№ 1-2. P. 63-74.
5. Naito K.//Aru. 1978. № 143. P. 58-61.
6. Broome A. J.//Casting. 1985. V. 31. № 7-8. P. 30-38.

7. Huskonen W. H. // Foundry Management and Technology. 1987. V. 5. P. 40-46.
8. Menk W., Simmons W., Wise M. L. H. // Foundry Practice. 1986. № 212. P. 2-1.
9. Foundry Management and Technology. 1985. V. 113. № 12.
10. Wieser P. F., Heine H. J. // Foundry Management and Technology. 1985. V. 113. № 4. P. 98-102.
11. Simmons W. // FWPJ. 1986. V. 26. № 1. P. 1-23.
12. Cummings M. A., Jones S. C., McPherson S. C. et al. // Proceeding 45-th electric furnace conference. 1988. V. 45. P. 273-283.
13. Aubrey L. A., Brockmeyer J. W., Maugh // Steelmaking Proceeding. 1986. V. 69. P. 911-991.
14. Baker W. F. // Transactions of the American Foundry-men's Society. 1986. V. 94. P. 215-218.
15. Komai T., Kakeuchi H., Nuri Y. et al. // Steelmaking Proceeding. 1986. V. 69. P. 977-991.
16. Yamada K., Watanabe T., Fukuda K. // Transactions ISIJ. 1987. V. 27. P. 873-877.

17. Aubrey L. A., Brockmeyer J. W, // Trans. Amer. Foundrymen's Soc.. 1985. V. 93. P. 177-182.

18. Goris J. // Die Casting Engineer. 1988. № 2. P. 40.

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