

УДК 621. 74: 669. 182. 71

Гресс А. В., Стороженко С. А., Стороженко Т. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ В ЛИТЕЙНОМ КОВШЕ НА СТРУКТУРУ И ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Качество любого стального изделия определяется количеством и формой неметаллических включений. Одним из резервов улучшения качественных характеристик стальных отливок, снижения их массы, повышения эксплуатационной стойкости и долговечности является внепечная обработка расплавов в литейных ковшах. Общеизвестно, что значительное уменьшение количества неметаллических включений достигается в процессе продувки жидкой металлической ванны инертным газом. Именно поэтому в последние годы особое внимание уделяется исследованию влияния различных способов перемешивания металла на процессы удаления неметаллических включений при внепечной обработке стали [1, 2].

Одним из наиболее привлекательных способов повышения качества литых металлоизделий является использование фильтрующих перегородок в литейном ковше [3]. Несмотря на широкое распространение данного технологического решения в «большой» металлургии [4, 5], изучению влияния различного рода фильтрующих перегородок на рафинирующую способность ковшовой обработки стали пока уделяется незаслуженно мало внимания.

Целью работы является оценка эффективности применения фильтрующих перегородок при продувке расплава в литейных ковшах посредством критического анализа результатов проведения полупромышленных экспериментов.

При проведении полупромышленных плавов с применением различных технологий внепечной обработки в качестве шихтовых материалов использовали стальной лом и ферросплавы, в качестве раскислителя – алюминий. Выплавляли сталь марки 20Л, как наиболее широко применяемую в литейном производстве. Плавки проводили в индукционной электропечи типа ИСТ-016У. Полученный жидкий металл, предназначенный для обработки инертными газами, переливали в другую индукционную печь того же типа, снабженную устройствами для донной продувки инертным газом, расположенными на половине радиуса тигля от оси агрегата, и, при необходимости, фильтрующей перегородкой.

Продувка аргоном с интенсивностью 2,2 л/(т·мин) производилась через огнеупорную пористую пробку. Фильтрующая перегородка изготавливалась по специальному шаблону из огнеупорного материала, состоящего из металлургического магнезитового порошка фракции 2-4 мм (20 %), 1-2 мм (40 %), пыли (35 %), огнеупорной глины (1 %) и жидкого стекла (4 %). Сушили перегородку в сушиле модели СНОЛ 3,5/3 – М 244 с последующим обжигом непосредственно в плавильном агрегате. Радиус и высота перегородки составляли 125 и 20 мм, соответственно. Диаметр фильтрующих отверстий – 8-10 мм, общая площадь отверстий составляла 40 % от общей площади фильтрующей перегородки [6]. Перегородка устанавливалась и закреплялась в процессе набивки тигля агрегата. Алюминий вводили в количестве 0,08-0,12 кг на 100 кг жидкого металла в зависимости от применяемой технологии. Наименьший расход алюминия соответствовал применению технологии с продувкой газом и фильтрацией, наибольший – без продувки и фильтрации. При донной продувке газом алюминий подавали в пространство тигля противоположное продувочному устройству. При донной продувке и применении фильтрующей перегородки - в пространство тигля, свободное от фильтрующей перегородки. По истечении заданного времени продувки полученную сталь сливали в предварительно разогретые ручные ковши и затем разливали в песчано-глинистые формы. Временные и температурные условия разливки были одинаковы на всех плавках.

Содержание химических элементов определяли химическим методом по стандартным методикам, экспресс-анализ полупромышленных плавов – оптическим спектрометром «Поливак Е2000». Для замера температуры жидкого металла использовали термопары ППР 30/6. Неметаллические включения в стальных отливках исследовали с помощью светового микроскопа МИМ-8М. Литейные свойства экспериментальных расплавов определяли по действующим стандартам.

В результате анализа полученных темплетов определено, что характерными неметаллическими включениями в исследуемой стали являются сульфиды I, II, и III типов (согласно классификации Симса), окисульфиды, силикаты, алюмосиликаты, нитриды. Размеры их колеблются от 1 до 50 мкм.

В отливках, полученных из стали без продувки ванны, неметаллические включения располагаются неравномерно, поскольку легкоплавкие включения (окисульфиды) имеют возможность легко коагулировать и всплывать в жидком металле. Однако, из-за малой скорости естественных конвективных потоков, их всплывание задерживается, и они выделяются в конце затвердевания металла и находятся, в основном, по границам зерен. В центральной части опытных отливок располагаются не успевшие всплыть крупные включения. Имеется большое количество коллоидно распределенных малорастворимых и твердых неметаллических включений в жидком металле, которые являются зародышами при кристаллизации, а также скопления облачных неметаллических включений (рис. 1).

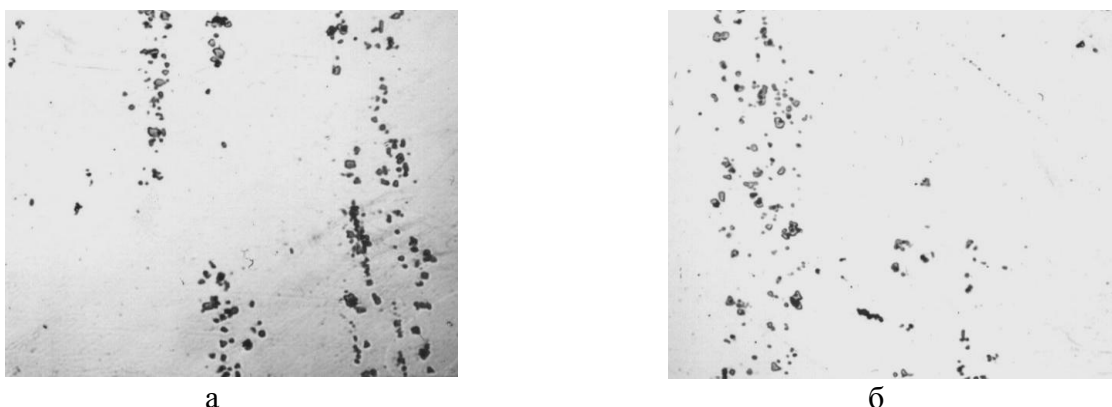


Рис. 1. Неметаллические включения в стали 20Л без продувки инертным газом: а – образец 1, х 100; б – образец 2, х 100

Общее количество неметаллических включений, определенных по точечному методу, составило 6,25–5,58 %, что в 2,0-2,5 раза больше, чем в отливках, полученных из стали, барботируемой инертным газом (рис.2).

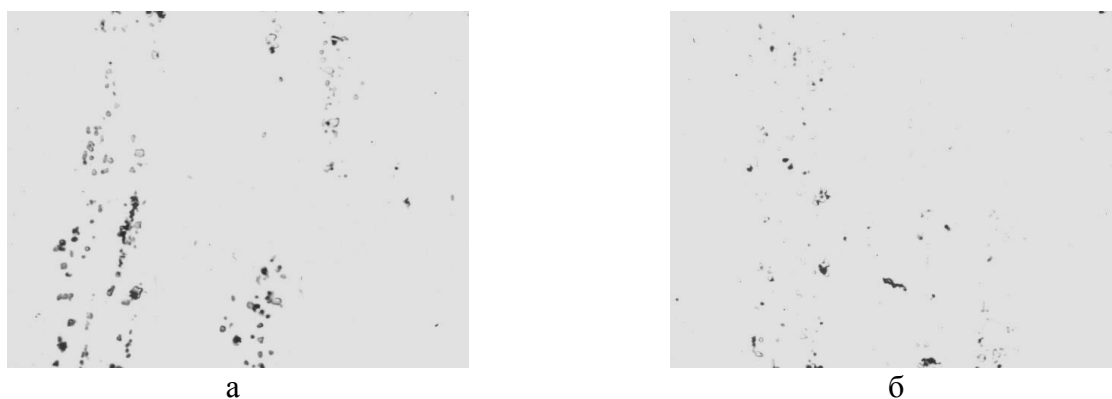


Рис. 2. Неметаллические включения в стали 20Л с продувкой инертным газом: а – образец 1, х100; б – образец 2, х100

Причиной является то, что при обработке стальной ванны инертным газом обеспечивается более длительный контакт неметаллических включений с шлаковой фазой в результате создания вынужденной конвекции, обеспечивающей направление потоков расплава к зеркалу металла, и образования вихреобразной гидродинамической структуры в жидкости.

Подтверждено, что применение способа рафинирования с продувкой жидкой ванны инертным газом способствует удалению неметаллических включений размером менее

20 мкм, составляющих около 60 % от общего содержания включений в стали. Общее количество неметаллических включений в отливках, полученных по данной технологии, составило 3,86–2,34 %.

Однако данная технология не обеспечивает существенного снижения загрязненности стали неметаллическими включениями из-за наличия в объеме ковша застойных зон, не вовлекаемых в перемешивание [6]. Подтверждением тому являются наши результаты анализа макроструктуры темплетов, выявившие достаточно высокую физическую и химическую неоднородность металла, особенно в центральных зонах отливок.

На следующем этапе исследований проводили опытно-промышленные плавки с использованием фильтрующей перегородки и подачей снизу нейтрального газа. Анализ полученных темплетов показал, что общее количество неметаллических включений снизилось в 4,5–5,5 раз и составило 0,86–1,53 % (рис. 3).

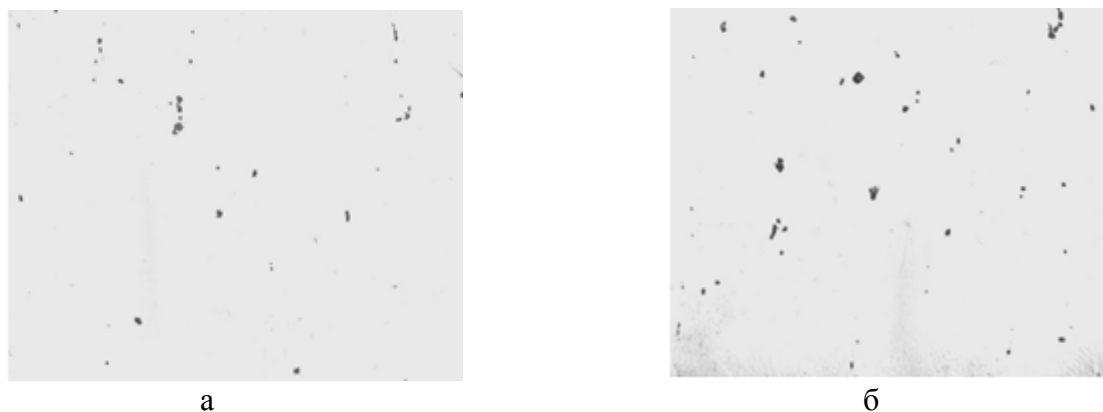


Рис. 3. Неметаллические включения в стали 20Л с продувкой инертным газом и применением фильтрующей перегородки:

а - образец 1, х 100; б - образец 2, х 100

Особенно заметно снизилось количество включений размером более 20 мкм. Наряду с уменьшением количества крупных включений наблюдается снижение количества неметаллических включений размером менее 20 мкм благодаря их коагуляции ввиду интенсивного перемешивания с последующей механической задержкой и адсорбцией фильтрующей перегородкой.

Положительные результаты объясняются более высокой степенью усвоения алюминия, вызванного увеличением скорости перемешивания, и эффективным удалением неметаллических включений из рафинируемой стали при использовании предложенной технологии. Поэтому на опытных плавках с применением предложенной технологии количество алюминия для раскисления было снижено на 50% при достижении той же степени раскисленности готового металла.

Из физических свойств, в том числе, исследовали жидкотекучесть стали, полученной с применением штатных и предложенных методов рафинирования. Температуру заливки изменяли от 1520 до 1580⁰С. По результатам статистической обработки полученных полупромышленных данных рассчитаны соответствующие уравнения регрессии (табл. 1, здесь t – температура, R^2 – коэффициент детерминации).

Таблица 1

Результаты регрессионного анализа

Технология рафинирования	Уравнение регрессии	R^2
Без продувки	$L=2,932 t - 4225,3$	0,869
С продувкой	$L=3,355 t - 4858,3$	0,883
С продувкой и фильтрацией	$L=2,745 t - 3894,2$	0,850

Улучшение жидкотекучести металла объясняется тем, что наличие повышенного количества алюминия приводит к возникновению тугоплавких включений в виде глинозема и соответствующему росту вязкости. Следовательно, при меньшем более высоком расходе алюминия и роста степени удаления его оксидов, находящихся в расплаве в виде твердых неметаллических включений, резко снижается вязкость расплава. Получено, что жидкотекучесть металла, полученного по новой технологии, возрастает, в среднем, на 13 %.

Трещиностойкость стальных отливок определяли по кольцевой пробе. При изготовлении литейной формы использовали стержни диаметром 93, 83, 73 и 63 мм, обеспечивающие ширину кольцевой отливки, соответственно, 2,5, 7,5, 12,5 и 17,5 мм, высота отливки составляла 4 мм. Литейные формы заливали при температурах 1520⁰С, 1550⁰С и 1580⁰С. Время заполнения формы было постоянным (5 с). На данной пробе показателем трещиностойкости служила наименьшая ширина кольца без трещин (рис. 4).



Рис. 4. Наличие трещин в кольцевой пробе:
а – без продувки; б – с продувкой и фильтрацией

В результате анализа данных проведенных исследований получены качественные характеристики влияния температуры заливки и технологии внепечной обработки на трещиностойкость стальных отливок (табл. 2).

Таблица 2

Влияние температуры заливки и технологии внепечной обработки на трещиностойкость экспериментальных стальных отливок

Температура заливки, ⁰ С	Технология обработки расплава		
	без продувки	с продувкой	с продувкой и фильтрацией
1580	1, 2 – трещины	1 – трещины	трещины не образуются
1550	1, 2, 3 – трещины	1, 2 – трещины	1 – трещины
1520	1, 2, 3, 4 – трещины	1, 2, 3 – трещины	1, 2 – трещины

Примечание: 1 – кольцо шириной 2,5 мм; 2 – 7,5 мм; 3 – 12,5 мм; 4 – 17,5 мм).

Для подтверждения эффективности предложенной технологии с точки зрения способности стальных отливок противостоять горячим трещинам были изготовлены отливки более сложной конфигурации (рис. 5). Литейные формы заливали при температуре 1550⁰С.

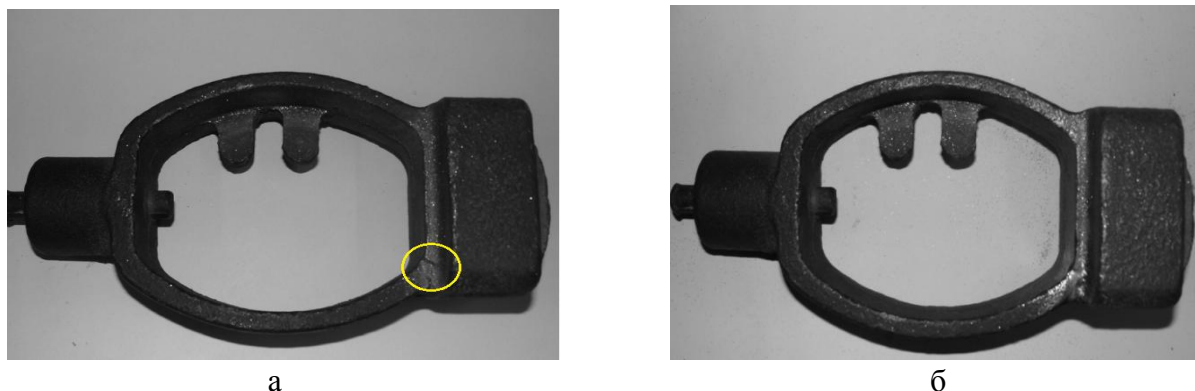


Рис. 5. Экспериментальные отливки из стали 20Л:
а – без продувки; б – с продувкой и фильтрацией

В отливке, полученной по технологии без продувки, наблюдали надрыв длиной 8 и глубиной 4 мм (рис. 5, а), излом которого был покрыт темным налетом, что свидетельствует о принадлежности дефекта к горячим трещинам. В отливке, полученной по экспериментальной технологии (с продувкой и фильтрацией (рис. 5, б)) подобные дефекты отсутствовали.

Таким образом, проведенный комплекс исследований позволил убедительно доказать преимущества предлагаемой технологии рафинирования жидкого металла.

ВЫВОДЫ

В результате качественного и количественного анализа образцов стальных отливок, полученных в результате полупромышленных экспериментов, обоснованы преимущества предложенных технологий получения отливок повышенного качества.

Установлено, что применение огнеупорной фильтрующей перегородки при одновременной продувке расплава инертным газом, в процессе внепечной обработки, сокращает наличие в отливках слабых мест наиболее сильно пораженных неметаллическими включениями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование гидродинамических процессов в ковшах малой вместимости при различных способах перемешивания стали / А.Ю. Цупрун, Е.В. Штепан, О.В. Антыкуз [и др.] // Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет». Наукові праці. «Металургія». – 2008. – Випуск 10(14). – С.20–24.
2. Смирнов, А.Н. Исследования процессов перемешивания металла в сталеразливочном ковше при продувке инертным газом / А.Н. Смирнов, С. Г. Жемеров, Д.А. Фоменко // Черная металлургия. – 2011. – № 8. – С.58–61.
3. Гресс А. В. Глава 3. Разработка и совершенствование высокоэффективных способов внепечной обработки литейных сплавов / А. В. Гресс, Стороженко С. А. (стр. 37-86) // Кластерные решения проблем в металлургии, энергетике и образовании: Коллективная монография / под общ. Ред. Акад. А.П. Огурцова. – Д. : ЛИРА, 2014. – 242 с. ISBN 978-966-383-534-1.
4. Влияние рафинирования в промежуточном ковше МНЛЗ на неметаллические включения / В.Н. Баранова, Р.Я. Якобише, В.Л. Найдек [и др.] // Процессы литья. – 2005. – № 3. – С. 16–19.
5. Усовершенствование технологии рафинирования стали на ОАО МК «Азовсталь» в процессе ее разливки на МНЛЗ путем изменения гидродинамики промежуточного ковша / В. Г. Ефимова, Г. В. Ефимов, В. М. Симановский [и др.] // Процессы литья. – 2009. – № 3. – С. 69–73.
6. Гресс А. В. Физическое моделирование гидродинамики жидкого металла в литейном ковше, оборудованном фильтрующей перегородкой / А. В. Гресс, С. А. Стороженко // Зб. наук.пр., сер. «Металургія». – Запоріжжя : ЗДІА, 2013. – Вип. 2 (30). – С. 42–47. – ISSN 2071-3789.