

# ВЕРОЯТНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ НЕМЕТАЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

А. А. Синицкий

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: И. Б. Одарченко, В. А. Жаранов

Освоение партии стальных отливок запорной арматуры в литейном цехе ООО «Гусар» выявило проблему образования неметаллических включений на поверхности отливок и элементов литниково-питающих систем (рис. 1).



а)

б)

в)

Рис. 1. Включения: а, б – на поверхности отливки; в – на элементе литниково-питающих систем

Элементный анализ материала включений позволил идентифицировать кремний-минералогическую основу включений, что исключило вероятность образования засоров по вине формы и литейных стержней, изготовленных из смесей на хромитовом наполнителе. При повторной заливке экспериментально была исключена возможность образования дефектов с участием материалов противопожарного покрытия, клея для склейки стержней и ремонтной пасты для отделки швов. Было сделано заключение об экзогенной природе включений и в частности о возможности попадания в форму материалов, связанных с плавкой и разливкой металла.

Считается, что такие включения могут попадать в полость литейной формы из ковша при недостаточной выдержке металла в ковше и других нарушениях технологического регламента. Вероятность их образования при разливке жидкого металла через стопорное устройство практически исключена [1].

ООО «Гусар» для разливки стали применяет стопорные ковши емкостью 4 т (рис. 2, а). При их эксплуатации проверка герметичности прилегания пробки стопора к вкладышу стакана осуществляется просыпкой зоны пробки кварцевым песком на прогретом ковше непосредственно перед его использованием (рис. 2, б). Отсутствие просыпания песка из стакана является окончательным подтверждением готовности и работоспособности ковша, после чего он подается под заливку. При этом просыпной материал попадает в металл и предположительно может являться причиной образования засоров.

Для проверки такого предположения было проведено компьютерное моделирование процесса разливки с контролем потоков движения шлаковых частиц в ходе заполнения, выдержки и разливки стопорного ковша. Применяемая при этом конструкция и размеры ковша были полным прототипом ковшей, используемых в литейном цеху ООО «Гусар». При моделировании использовались возможности программного продукта NOVACAST, а в качестве исходных условий для моделирования были заданы: емкость ковша 4 т; температура расплава – 1620 °С; плотность кварцевого песка – 2500 кг/м<sup>3</sup>; диаметр частиц – 1 мм; плотность расплава – 7000 кг/м; ход стопора – 180 мм; диаметр стакана – 40 мм.

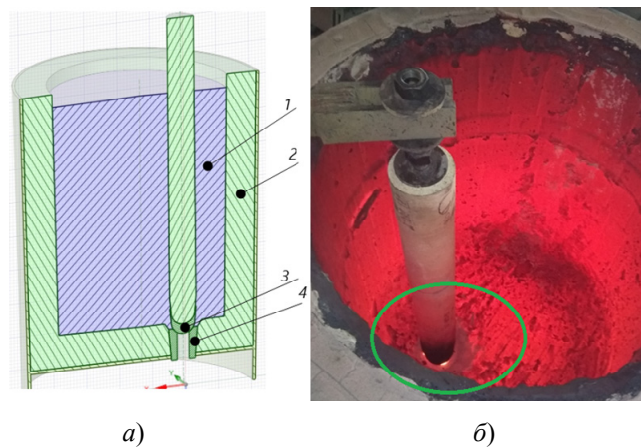


Рис. 2. Стопорный литейный ковш емкостью 4 т: а – схема: 1 – расплав; 2 – футеровка ковша; 3 – стопорная пробка; 4 – стопорный стакан; б – проверка правильности установки стопорной пробки с применением засыпки кварцевого песка

В основу расчетов был положен закон Стокса, позволяющий рассчитать скорость всплытия шлаковых частиц в расплаве:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_M - \rho_{\text{вкл}})gr^2}{\eta_M}, \quad (1)$$

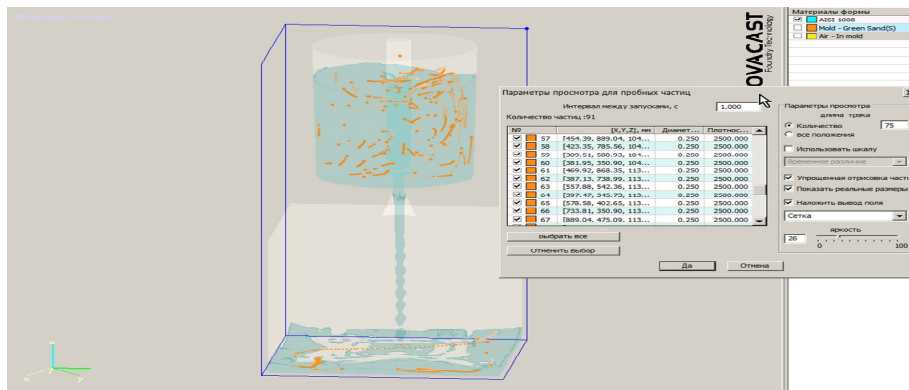
где  $v$  – скорость всплытия частицы, м/с;  $\rho_M$  – плотность жидкого металла, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{вкл}}$  – плотность неметаллического включения, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $r$  – радиус частицы, м;  $\eta_M$  – динамическая вязкость жидкого металла, Па · с.

Согласно уравнению скорость всплытия частиц кварцевого песка (в статике) составила 105,6 см/мин, что соответствует данным, приведенным в работе [2], согласно которым скорость всплытия включений диаметром 0,1 мм в стали составляет 80 см/мин. При такой скорости время всплытия частиц для ковша емкостью 4 т составит 52 с, что соответствует минимальному времени выдержки расплава перед заливкой.

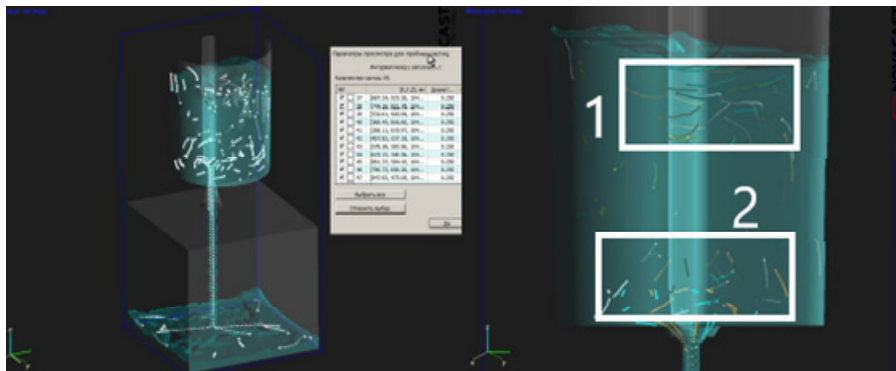
Следует отметить, что полученные данные объективны только для случаев всплытия частиц размером до 100 мкм, в реальных условиях вертикальное перемещение шлаковых частиц происходит в динамически подвижной жидкости, а их размеры зачастую превышают указанные размеры [3]. В частности, как показывают результаты моделирования, скорость всплытия и характер распределения включений

в значительной степени зависят от интенсивности и направленности конвективных потоков в расплаве. Из данных (рис. 3) следует, что скорость всплытия снижается при встречном нисходящем потоке и возрастает – при восходящем, характер распределения неметаллических включений при этом является хаотичным во всем объеме ковша [4]. Кроме того, на скорость и характер распределения неметаллических включений в расплаве влияют размеры включений, их состав, плотность, температура плавления; температура и вязкость сплава. Так, с повышением температуры расплава заметно уменьшается вязкость расплава, что изменяет характер и интенсивность движения шлаковых частиц. Как результат, фактическое время всплытия частиц на поверхность металла в ковше в 2–3 раза превышает расчетное. Для случая с использованием контрольной просыпки стопорного узла время выдержки металла для всплытия шлаковых частиц зачастую не имеет определяющего значения. Ввиду спекания (налипания) частиц кварцевого песка с разогретыми пробкой или стаканом по контуру в результате предварительного разогрева рабочей поверхности ковша и температурного воздействия расплава их отрыв может носить случайный характер. При этом попадание частиц песка возможно не только в начальный период заливки, но и в последующие периоды.

Моделирование данного варианта показывает, что неметаллические включения, образованные в нижней зоне стопора, с высокой степенью вероятности будут перенесены расплавом в форму. Результаты данного предположения представлены на рис. 4.



а)



б)

Рис. 3. Результат моделирования всплытия спеченных частиц песка в начальный период времени (а) и увеличенный вид (б)

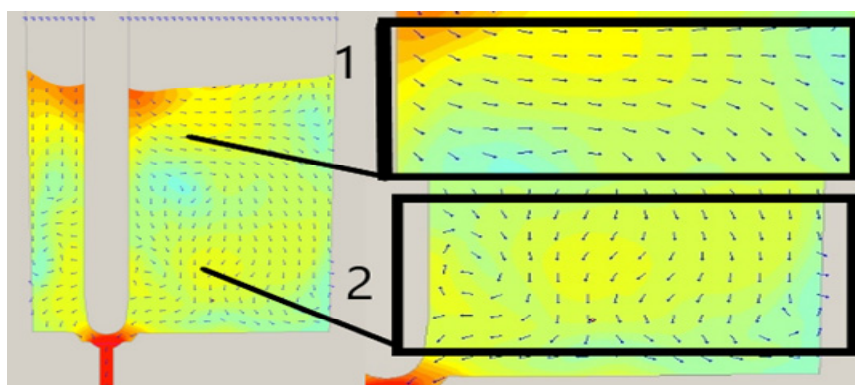


Рис. 4. Результат моделирования: направления вектора скоростей частиц неметаллических включений в ковше

Результирующий вектор движения включений в донной части ковша направлен вниз и обусловлен нисходящим потоком расплава (рис. 3, б; 1–2). Результаты моделирования наглядно демонстрируют возможность попадания частиц кварцевого песка в начальный период времени при условии спекания частиц с разогретой донной частью ковша. Для проверки результатов моделирования были проведена опытная заливка форм, при которой для проверки плотности прилегания стопорной пробки к стакану кварцевый песок был заменен на хромитовый песок. Изготовление форм и стержней было проведено со строгим соблюдением всех требований технологического регламента. Формы изготовлены по технологии Альфа-сет с применением наполнительной и облицовочной смесей. Облицовочный слой литейных форм специально изготавливался из смесей на основе кварцевого песка; облицовочный слой стержней изготовлен из хромитового песка; наполнительный слой из кварцевого наполнителя. Температура металла на начало заливки составила 1575 °С, время выдержки ковша после выпуска расплава из печи и до начала заливки форм составило 9 мин. При проведении визуального контроля (ВИК) кустов отливок на поверхности были обнаружены дефекты в виде неметаллических включений. В частности, на отливке типа «Корпус» поражена вся литниково-питающая система (рис. 5). Отливка была залита первой очереди. Дефект представлял собой полость, полностью заполненную неметаллическим материалом черного цвета, который был идентифицирован как хромит.

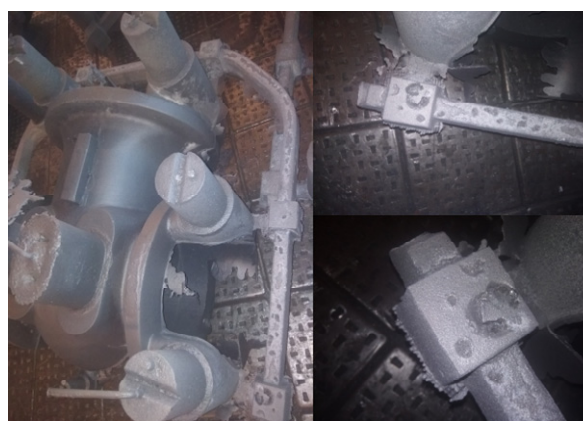


Рис. 5. Включения на поверхности литниково-питающей системы



Предпосылками к попаданию включений в форму при заливке могут быть:

– задержка частиц кварцевого песка у стопора в результате спекания с разогретыми пробкой или стаканом по контуру – выдержка ковша не приводит к всплыванию частиц (подтверждено в ходе опыта);

– недостаточное время выдержки ковша, при котором частично всплывшие частицы могут быть подхвачены расплавом. Условиями этого являются диаметр отверстия стакана (определяет массовый расход расплава при заливки), величина хода открытия стопора, высокая скорость нисходящего потока расплава, скорость и направление конвективных потоков в ковше. Очевидно, что в центре ковша поток будет восходящим, на стенках – поток будет направлен вниз. Резюмируя, можно утверждать что основной причиной образования дефектов на отливках является попадание кварцевого песка в литейную форму из стопорного ковша.

#### Л и т е р а т у р а

1. Нехендзи, Ю. А. Стальное литье : учеб. для металлург. и политехн. ин-тов / Ю. А. Нехендзи. – М. : Металлургиздат, 1948. – 223 с.
2. Производство стальных отливок : учеб. для вузов / Л. Я. Козлов [ и др. ] ; под ред. Л. Я. Козлова. – М. : МИСИС, 2003. – 192 с.
3. Поволоцкий, Д. Я. Раскисление стали / Д. Я. Поволоцкий. – М. : Металлургия, 1972. – 79 с.
4. Включения и газы в сталях / В. И. Явойский. – М. : Металлургия, 1979. – 145 с.