

Заключение

В статье была рассмотрена математическая модель процесса комплектования подшипников, в которой были найдены величины вероятности комплектования наружного кольца с внутренними кольцами. Входными параметрами являлись: размер минимального d_{\min} и максимального d_{\max} внутреннего кольца, размер минимального D_{\min} и максимального D_{\max} наружного кольца, размеры трех тел качения ds_1, ds_2, ds_3 , максимальный z_{\max} и минимальный z_{\min} допустимый радиальный зазор, средние размеры внутренних $d_{\text{ср}}$ и наружных колец $D_{\text{ср}}$, а также средние квадратические отклонения размеров наружных σ_1 и внутренних σ_2 колец.

Предполагалось, что наружные и внутренние кольца имеют усеченный закон нормального распределения.

Алгоритм вычисления вероятности комплектования наружного кольца с внутренним кольцом состоял из трех отдельных этапов:



УДК 621.746.047:621.86

1. Нахождение вероятности p комплектования наружного кольца с внутренним кольцом
2. Вычисление значения доли F колец, которые вообще могут быть скомплектованны.
3. Вычисление вспомогательных функций, которые участвуют в процессе определения вероятностей.
4. Вычисление вероятности комплектования каждого наружного кольца.

Библиографический список

1. Замятин, В.К. Технология и автоматизация сборки. Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. - М.: Машиностроение, 1993. -464с.
2. Гнеденко, Б.В. Курс теории вероятностей. Изд. 5-е. М.: Наука, 1969. - 400 с.
3. Королюк, В.С. и др. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. - М.: Наука. Физико-математической литературы, 1985. -640с.

К.Н. Вдовин

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

г. Магнитогорск, Россия

E-mail: vdovin@magtu.ru

Дата поступления 12.03.2015

РАЗРАБОТКА РАФИНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ МНЛЗ

Аннотация

Рассмотрена возможность модернизации оборудования промежуточных ковшей (ПК) машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Отмечены известные способы и устройства рафинирования металла. Приведенные рекомендации по конструированию устройств модернизируемых ПК являются обобщением наиболее известных работ в этом направлении и озвучивают минимальные требования к конструкции ковша. Представлены созданные конструкции для ПК слябовой МНЛЗ.

Ключевые слова: МНЛЗ, модернизация, промежуточный ковш, рафинирующие устройства.

Введение

В настоящий момент перспективным для РФ направлением является модернизация существующих, типовых ПК МНЛЗ с

учетом имеющихся у предприятий ресурсов [1]. Работы конструкторов, ведущиеся в этом направлении, связаны с интенсификацией процесса рафинирования стали [1, 2]. Для этих целей применяются

рафинирующие устройства [1]. В работе освещаются отдельные известные способы и устройства рафинирования металла.

Основная часть

Основными источниками загрязнения стали неметаллическими включениями (НВ) являются [1]: продукты раскисления стали, частицы шлака и огнеупоров футеровки, продукты вторичного окисления металла. НВ удаляются из расплава в промежуточном ковше за счет всплытия к поверхности и коагуляции [2]. При этом, покровный шлак, наводимый на поверхности стали, должен обеспечивать защиту металла от вторичного окисления атмосферным воздухом и ассимилировать всплывающие частицы.

Всплытие связано с действием на частицу Архимедовых сил, что обусловлено разными плотностями стали и НВ. Скорость всплытия зависит от размеров частицы, ее агрегатного состояния (жидкие НВ или твердые), формы и смачиваемости [2, 3].

НВ, находящиеся в расплаве стали, принято разделять на крупные и мелкие [2]. К крупным относят включения размером более 20 мкм. Если размер частиц менее 20 мкм, их принято относить к мелким НВ.

Разделение НВ на крупные и мелкие связано с тем, что включения размером менее 20 мкм практически не удаляются из стали за счет всплытия. В работе [1] отмечается, что под воздействием межфазных поверхностных сил всплывание мелких НВ, под действием разности плотностей, полностью исключается, и они все попадают в затвердевающую заготовку.

Мелкие НВ удаляются из расплава за счет коагуляции. При этом возможно три вида коагуляции: путем коалесценции (слияние жидких частиц), коагуляции (слияние твердых частиц), адгезии (прилипание жидких частиц к твердым).

На коагуляцию влияют: концентрация НВ в расплаве, соотношение диаметров крупных $d_{>20}$ и мелких $d_{\leq 20}$ частиц и наличие внешних гидродинамических сил (турбулентное или электромагнитное перемешивание и пр.). Наиболее эффективно

процесс укрупнения происходит при соотношении размеров $\frac{d_{>20}}{d_{\leq 20}} > 20$ [1, 2].

Типовые конструкции модернизируемых промежуточных ковшей, с целью интенсификации процесса рафинирования стали, оснащают специальными рафинирующими устройствами. По механизмам рафинирования [1, 3] их можно разделить на газо-рафинирующие, гидродинамические и фильтрационные.

На практике, для достижения максимального эффекта, промежуточный ковш оснащают не одним, а несколькими различными рафинирующими устройствами. Комбинации различных гидродинамических устройств образуют систему распределения потоков стали (СРП).

Конструкция ПК должна учитывать следующие основные факторы [1, 3]:

- 1) число и расположение ручьев МНЛЗ;
- 2) число последовательно разливаемых плавов;
- 3) оснащенность рафинирующими устройствами;
- 4) характер конвективных потоков, способствующих отделению включений;
- 5) достаточную вместимость, позволяющую осуществлять замену сталеразливочных ковшей во время серийной разливки и обеспечивающую необходимое время для всплытия НВ;
- 6) способ начала разливки и метод удаления шлака и остатков металла после окончания разливки;
- 7) способ регулирования истечения металла из ПК;
- 8) возможность корректирующей доводки химического состава стали посредством ввода порошковой проволоки специального состава;
- 9) днище и стенки промежуточного ковша должны иметь ровные поверхности, чтобы не препятствовать движению потока стали. Выступающие углы футеровки подвергаются большому износу, сокращая срок службы ковша и затрудняя удаление настывшей;
- 10) для многоручьевых МНЛЗ с помощью специальных устройств и приемов

необходимо выровнять химический состав и температуру стали по ручьям;

11) подогрев ПК, что обеспечивает всплытие НВ и поддержание необходимой для разливки температуры стали;

12) герметизацию ПК для предотвращения вторичного окисления стали воздухом;

13) ограничение попадания шлака из разливочного ковша в промежуточный;

14) застойные зоны в объеме ПК не должны присутствовать, поскольку они вызывают неравномерное распределение концентраций и температуры стали.

К гидродинамическим устройствам можно отнести устройства, которые за счет своей формы и расположения в промежуточном ковше изменяют течение металла в нем, что способствует удалению неметаллических включений из расплава. К ним можно отнести различные перегородки, пороги, турбогасители, вихрегасители и т.д. [3, 4].

Компоновка турбогасителя - металлоприёмника ПК слябовой МНЛЗ на границе разливочной камеры представлена на рисунке 1. Главным недостатком практически всех гидродинамических устройств, является небольшая эффективность удаления мелких неметаллических включений. В тоже время они не требуют затрат на эксплуатацию. Некоторые устройства просты в конструкции, что обеспечивает простоту изготовления и монтажа [9].

Чаще остальных гидродинамических устройств, применяются перегородки. Перегородки разделяют объем промежуточного ковша на две и более камеры. Камеру, в которую поступает металл из сталеразливочного ковша, принято называть приемной, камеру, в которой происходит истечение металла из промежуточного ковша в кристаллизатор – разливочной [6]. В теле перегородок выполняют переливные отверстия, через которые происходит истечение металла в разливочные камеры. Затопленные струи, истекающие в разливочную камеру, за счет градиента давления от периферии к оси струи захватывают неметаллические включения, чем и достигается рафинирующий эффект перегородок.



Рисунок 1. Компоновка металлоприёмника промежуточного ковша слябовой МНЛЗ в приёмной камере: металлоприёмник; приемная камера ковша

Помимо перегородок в производстве часто применяются пороги. Пороги позволяют создать восходящие потоки стали, обеспечивают прием первой холодной порции металла и, в много-ручьевых промежуточных ковшах, способствуют выравниванию времени перемешивания металла по ручьям ковша.

В последние годы на отечественных предприятиях начали применяться разработанные в США турбогасители [8]. Турбогаситель-металлоприёмник представляет из себя стакан с заплечиками. Конструкция металлоприёмника (М) ПК слябовой МНЛЗ в разливочной камере представлена на рисунке 2 [5], в М попадает падающая из сталеразливочного ковша струя металла. Он выполняет следующие функции:

- рассеивается и гасится струя из трубы ковша;
- уменьшается затягивание покровного шлака;
- создаются благоприятные условия для всплытия неметаллических включений;
- улучшается эрозионная защита футеровки ПК и повышается его стойкость;
- уменьшаются всплески.

Газо-рафинирующие устройства рафинируют металл за счет продувки его инертным газом [1].

К ним относятся различные сопла (цилиндрические или шелевые), пористые блоки, пористые пробки, фурмы и т.д. Флотация неметаллических включений газовыми пузырями и последующий вынос к покровному шлаку способствует удалению мелких частиц, которые самостоятельно не всплывают к поверхности [4, 5]. Недостат-

ками газо-рафинирующих устройств являются: возникающее переохлаждение металла из-за взаимодействия с “холодным” газом, необходимость оснащения площадки системой подготовки газа и, собственно, расход инертных газов.

Компоновка созданного аргонного блока ПК слябовой МНЛЗ на границе разливочной камеры представлена на рисунке 2 [5].

Для отделения пузырьков аргона от сопла, должен быть определен диапазон рабочих давлений в аргонопроводе [6, 7]. При этом необходимо учесть величину атмосферного (p_a) и ферростатического давления, поверхностного натяжения ($2\sigma_{нов}/r$), а также потери давления в системе. Очевидно, что для обеспечения стабильности процесса продувки необходим запас давления аргона (Δp_3).



Рисунок 2. Компоновка блока (аргонного блока) промежуточного ковша слябовой МНЛЗ на границе разливочной камеры

Давление $p_{пол}$ в системе подачи аргона определяем по зависимости

$$p_{пол} = p_a + \rho_c \cdot g \cdot h_m + \rho_{ш} \cdot g \cdot h_{ш} + \Delta p_l + \Delta p_c + \Delta p_3 + 2\sigma_{нов}/r, \quad (1)$$

где ρ_c , $\rho_{ш}$ - плотности соответственно металла и шлака; h_m , $h_{ш}$ - высоты уровней соответственно металла и шлака; Δp_l - потери давления по длине трубопровода; Δp_c - потери давления на выходе из сопла; Δp_3 - запас давления; $2\sigma_{нов}/r$ - давление от поверхностного натяжения.

При истечении металла из сталеразливочных отверстий промежуточного ковша, в силу действия ускорения Кориолиса, над стаканами образуются вихри. Вихревые массы, генерирующиеся над разливочными стаканами, приводят к то-

му, что при падении уровня металла в промежуточном ковше образуются воронки с прорывом шлака в отверстия стаканов стали. Благодаря воздействию струй стали, из отверстий (см. рисунок 2) создается направленная конвекция, которая способствует выносу неметаллических включений в шлаковую зону, находящейся в верхней части промежуточного ковша. Также перемещение потоков металла из отверстий за стопор создает условия для уменьшения образования вихревых дорожек (вихрей Кармана) за стопором, что обеспечивает уменьшение высоты воронки над разливочным стаканом и уменьшает возможность затягивания неметаллических включений и покровного шлака в металл. Все это способствует повышению качества металла при разливке. Одновременно охватывающее воздействие потоков металла из отверстий обеспечивает устойчивую работу стопора относительно оси разливочного стакана, что создает условия для оптимального движения металла в кристаллизатор и обеспечивает высокое качество стали при разливке. Надежная фиксация аргонного блока в ПК обеспечивает стабильную и равномерную подачу инертного газа в процессе всего цикла работы ковша и машины непрерывного литья заготовки в целом. Все это также способствует повышению качества разливаемого металла в течение всего цикла разливки металла.

Заключение

1. Анализ конструкций рафинирующих устройств модернизируемых промежуточных ковшей МНЛЗ позволяет определить подходы к их проектированию и повысить качество непрерывно-литой заготовки.
2. Отмечены особенности конструирования систем распределения потоков стали с подачей аргона.
3. Решена задача создания конструкций системы распределения потоков стали с подачей инертного газа в промежуточном ковше одноручьевой слябовой МНЛЗ, что позволило разработать ряд новых эффективных систем распределения потоков стали.

4. Надежная фиксация опорных элементов в промежуточном ковше обеспечивает стабильную и равномерную подачу инертного газа в процессе всего цикла работы ковша и машины непрерывного литья заготовки в целом. Все это способствует повышению качества разливаемого металла в течение всего цикла разливки металла.

Библиографический список

1. Вдовин К.Н., Семенов М.В., Точилкин В.В. Рафинирование стали в промежуточном ковше МНЛЗ: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 118 с.
2. Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок: монография / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин В.В., И.М. Ячиков. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. 348 с.
3. Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Ячиков И.М. Непрерывная разливка стали: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2012. 540 с.
4. Разработка систем подачи аргона для промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К.Н. Вдовин, С.Н.Ушаков, О.А.Марочкин, В.В.Точилкин // Технология металлов. 2013, № 6. С. 38-40.
5. Разработка элементов приёмной камеры промежуточного ковша слябовой МНЛЗ / К.Н. Вдовин, Е.А. Мельничук, А.В. Нефедов, В.В. Точилкин // Известия вузов. Черная металлургия. 2014, № 3. С. 23-27.
6. Точилкин В.В., Филатов А.М. Пневмопривод металлургических манипуляторов: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2005. 211 с.
7. Точилкин В.В. Методика расчета металлоприёмника промежуточного ковша МНЛЗ // Ремонт, восстановление и модернизация. 2008, № 6. С. 44–47.
8. Разработка оборудования системы распределения потоков стали для промежуточного ковша / С.Н. Ушаков, А.А. Хоменко, К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин // Сталь. 2009, № 3. С. 13–17.
9. Семенов М.В., Точилкин В.В. Методика расчета работоспособности элементов промежуточного ковша МНЛЗ // Вестник машиностроения. 2007, № 6. С. 41–43.



УДК 608.4

**А.А. Королев, А.В. Королев,
Е.В. Мухина, А.С. Яковишин, А.Ф. Балаев**
ФГБОУ ВПО Саратовский государственный
технический университет им. Гагарина Ю.А.
г. Саратов, Россия
E-mail: bazilhadance@mail.ru
Дата поступления 14.02.2015

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СБОРКИ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО СПОСОБА СТАБИЛИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация

В условиях подшипникового производства данный способ, обладая высокой производительностью и энергоэффективностью, позволяет существенно сократить материальные и временные затраты на комплектацию подшипников, исключая необходимость применения метода селективной сборки. Устранение геометрических погрешностей формы и релаксация остаточных объемных напряжений, достигаемые данным способом, приводят к повышению надежности и увеличению долговечности подшипников.

Ключевые слова: подшипники качения, релаксация, остаточные напряжения, геометрические погрешности.