



## МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ И СОЗДАНИЕ МЕТАЛЛОПРИЕМНИКА ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ

### Аннотация

В работе рассмотрены вопросы, связанные с оценкой работоспособности металлоприёмников модернизируемых промежуточных ковшей МНЛЗ. Разработанная методика расчета работоспособности металлоприёмников ПК МНЛЗ, позволяет определить размеры металлоприёмника (М) с точки зрения выполнения им заданной функции – рафинирования стали. В качестве критериев работоспособности были приняты: устойчивость, прочность, отсутствие кавитации и условие, по которому скорость на границе раздела металл-шлак должна быть меньше допустимой.

Ключевые слова: МНЛЗ, промежуточный ковш, металлоприёмник.

### Введение

Промежуточный ковш (ПК) представляет собой металлургический агрегат, расположенный между сталеразливочным ковшом (СРК) и кристаллизаторами машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). ПК обеспечивает дозирование и рафинирование стали. Модернизация [1] отдельных элементов ПК, оказывает большое влияние на повышение качества разливаемой стали на МНЛЗ. В настоящий момент перспективным для РФ направлением является модернизация существующих, типовых ПК МНЛЗ с учетом имеющихся у предприятий ресурсов [2, 3].

### Основная часть

В металле, поступающем в ПК, содержатся неметаллические включения (НВ), которые с течением времени всплывают. Для удаления крупных НВ размером >20 мкм, применяют металлоприёмники (М), перегородки и пороги специальной конструкции. Указанные устройства имеют различную форму, размеры, различное место положения в ПК [3, 4]. Как правило, при установке таких устройств объем ПК разделяется на две и более камеры – приемную и разливочные [4]. В приемную камеру поступает металл из СРК через погружную трубу [5, 6], в разливочных каме-

рах происходит его истечение из ПК. Металлоприёмник устанавливают в приемной камере ПК, он принимает поступающий металл из СРК.

Не смотря на то, что М начинают широко применять в ПК МНЛЗ при разливке стали, методики их расчета и конструирования на сегодняшний день не совершенны. В работах [3, 7, 8, 9] указываются некоторые положения по оценке работоспособности отдельных устройств ПК. В работе [10] отмечены основы методики расчета работоспособности перегородок и порогов ПК.

В статье приводятся основные критерии работоспособности металлоприёмника ПК МНЛЗ, а также расчетные зависимости необходимые для выбора и расчета элементов конструкции М.

Компоновка М в приёмной камере ПК представлена на рисунок 1. Расчет работоспособности М включает расчет на устойчивость, прочность, отсутствие кавитации и условие, по которому скорость, на границе раздела металл-шлак в ПК, должна быть меньше допустимой.

Стойкость к воздействию агрессивной среды определяется эрозионной стойкостью и прочностью, т.е. способностью выдерживать приложенные нагрузки без разрушения. Эрозионная стойкость эле-

ментов металлоприёмника определяются расчетом устройств на кавитацию [3].

Для расчета нагрузок действующих на металлоприёмника проанализируем процесс наполнения металлом ПК, оснащенного данным устройством. В начальный момент времени, подаваемый из СРК металл, открытой струей ударяет в дно металлоприёмника, при этом в полости создается некоторое давление  $p$ . Постепенно, с наполнением ковша металлом, давление в полости М частично компенсируется давлением окружающего металла и при установлении рабочего периода суммарное давление будет минимальным. В качестве расчетного принято давление создаваемое струей стали из СРК в начальный момент времени при заполнении ПК металлом.

Неизвестное давление  $p$  можно определить, предположив, что скорость металла ( $\rho$  – плотность жидкого металла) из СРК  $V_+$  полностью гасится встречным потоком  $V_{3M}$  и во внутренней полости скорость равна нулю. В этом случае давление находится как:

$$p = \frac{\rho V_+^2}{2}. \quad (1)$$

В действительности, скорости металла во внутренней полости М не равны нулю, но в таком случае действующее давление жидкости ниже расчетного, и принятое допущение направлено на увеличение запаса прочности устройства.

Зная нагрузку, действующую на М, можно рассчитать неизвестные геометрические характеристик, например толщину элементов М.

Если устройство не крепится к дну ПК, а свободно устанавливается в рабочее положение, необходимым условием работоспособности будет его устойчивость во время работы. Металлоприёмник не должен всплывать и перемещаться по дну ковша в процессе цикла работы ПК.

Условия равновесия имеют вид (рисунок 1):

$$\begin{cases} P_3 + G_M > F_A \\ F_{mp} > P_1 \end{cases}, \quad (2)$$

где  $P_3$  – сила, создаваемая струей металла;  $G_M$  – вес М;  $F_{mp}$  – сила трения между

М и дном ПК;  $F_A$  – сила Архимеда (появление силы Архимеда зависит от надёжности фиксации опорной поверхности М на дне приёмной камеры ПК);  $P_1$  – сила, стремящаяся сдвинуть М.

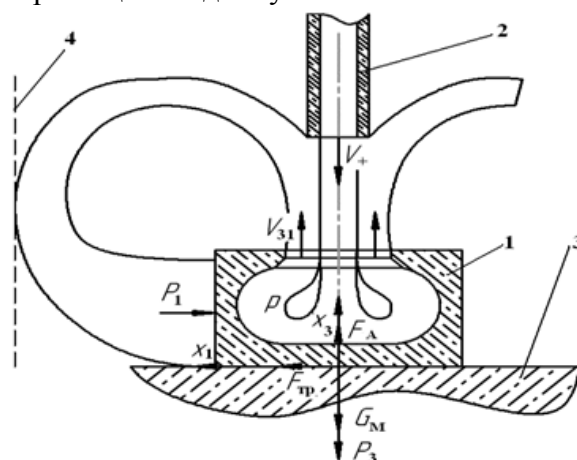


Рисунок 1. Компоновка металлоприёмника в промежуточном ковше и схема нагрузок: 1 – металлоприёмник; 2 – приемная труба; 3 – дно ПК; 4 – торец боковой перегородки ПК

Сила трения:

$$F_{mp} = \mu_{mp} (P_3 + G_M - F_A). \quad (3)$$

Сила, сдвигающая М связана с неравномерностью течения металла. В процессе работы сталь течет в разливочные камеры ПК с различными расходами, что связано с неравномерным перекрытием сталеразливочных стаканов, неточной установкой М, и колебаниями жидкости. Для расчета  $P_1$  считаем, что в некоторый момент времени возникает условие (например, при открытии механизмов сталеразливочных стаканов с одной стороны ПК) при котором действие силы  $P_1$  максимально. Сама сила возникает в результате набегания на боковую поверхность М отраженного от препятствия потока (см. рисунок 1). Таким препятствием может быть перегородка или стенка ковша. Скорость этого потока равна:

$$V = \frac{Q_+}{2\tau_m}, \quad (4)$$

где  $\tau_m$  – площадь миделева сечения М;  $Q_+$  – расход металла из СРК.

В дальнейшем точнее было бы производить расчет силы  $P_1$ , как силы давления возникающей при обтекании потоком

цилиндрического тела (при использовании М с наружной боковой цилиндрической поверхностью), однако в соответствии с принятыми допущениями находим силу  $P_1$  как силу давления потока на плоскую поверхность с сечением  $\tau_m$  [4]:

$$P_1 = \tau_m \frac{\rho V^2}{2}. \quad (5)$$

Подставляя формулу (4) в выражение (5) получим:

$$P_1 = \frac{\rho Q_+^2}{8}. \quad (6)$$

Сила Архимеда [4] в условии (2) находится как:

$$F_A = G = \rho g \sigma_M, \quad (7)$$

где  $G$  – вектор силы тяжести жидкости в объеме погруженного в нее тела;  $\sigma_M$  – объем металлоприёмника.

Вес М находится по зависимости ( $m_M$  – масса металлоприёмника)

$$G_M = m_M g. \quad (8)$$

Сила  $P_3$  может быть найдена по зависимостям [3]:

$$P_3 = 2\rho\tau_s V_+^2, \quad (9)$$

где  $\tau_s$  – сечение струи, поступающей из приёмной трубы с внутренним диаметром  $d_+$ .

С учетом того, что сечение струи равно  $\tau_s = \frac{\pi d_+^2}{4}$ , получим:

$$P_3 = \frac{1}{2} \pi \rho (d_+ V_+)^2. \quad (10)$$

С учетом зависимостей (3, 6, 7, 8 и 10) условие устойчивого положения металлоприёмника (2) запишется в виде:

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \pi \rho (d_+ V_+)^2 + m_M g > \rho g \sigma_M \\ \mu_{mp} \left( \frac{1}{2} \pi \rho (d_+ V_+)^2 + m_M g - \rho g \sigma_M \right) > \frac{\rho Q_+^2}{8} \end{cases} \quad (11)$$

Если условия (11) выполняются, то незакрепленный М во время работы будет сохранять свое первоначальное положение.

Для определения скоростей жидкости на расчетной поверхности (рисунок 2) металлоприёмника сделаем два допущения. Во первых - расход жидкости через выделенное кольцо равен расходу жидкости на

входе ПК. Во вторых - при движении металла от дна М к поверхности происходит равномерная смена направления векторов скорости, если в сечении I скорость  $V_{3cp} = \text{const}$ , а  $V_1 = 0$ ,  $V_2 = 0$ ; то в сечении III (на выходе из М) скорость  $V_{3cp} = 0$ , а скорости  $V_1$  и  $V_2$  принимают некоторые значения. Скорости металла через поверхность кольца I:

$$V_{3I} = \frac{Q_+}{\tau_I}, \quad (12)$$

где  $\tau_I$  – площадь кольца.

Площадь кольца определяется выбранной расчетной поверхностью и диаметром входящего потока (приёмной трубы):

$$\tau_I = \pi \left( R^2 - \frac{d_+^2}{4} \right), \quad (13)$$

где  $R$  – радиус цилиндрической поверхности.

Изменение скорости  $V_{3cp}$  по высоте определим функцией:

$$V_3 = V_{3I} \cdot \cos \frac{\pi x_3}{2(H - h_m)}, \quad (14)$$

где  $H$  – высота столба металла;  $h_m$  – высота М.

При  $x_3 = 0$  скорость  $V_3 = V_{3I}$ , постепенно, по мере увеличения значения  $x_3$ , происходит уменьшение скорости  $V_3$  и при  $x_3 = H - h_m$  скорость  $V_3 = 0$ .

Выражение (12) с учетом (13) и (14) запишется в виде:

$$V_3 = \frac{4Q_+}{\pi(4R^2 - d_+^2)} \cdot \cos \frac{\pi x_3}{2(H - h_m)}.$$

Скорость течения стали в поверхностном слое можно определить по (12).

Вектор скорости движения стали  $V$  меняет свое направления от сечения к сечению, при этом сохраняет свое значение  $|V|$ . В этом случае скорость металла на границе раздела фаз сталь-шлак определяется по скорости металла в I сечении с площадью  $\tau_I$ :

$$|V_{nc}| = \frac{Q_+}{\tau_I}.$$

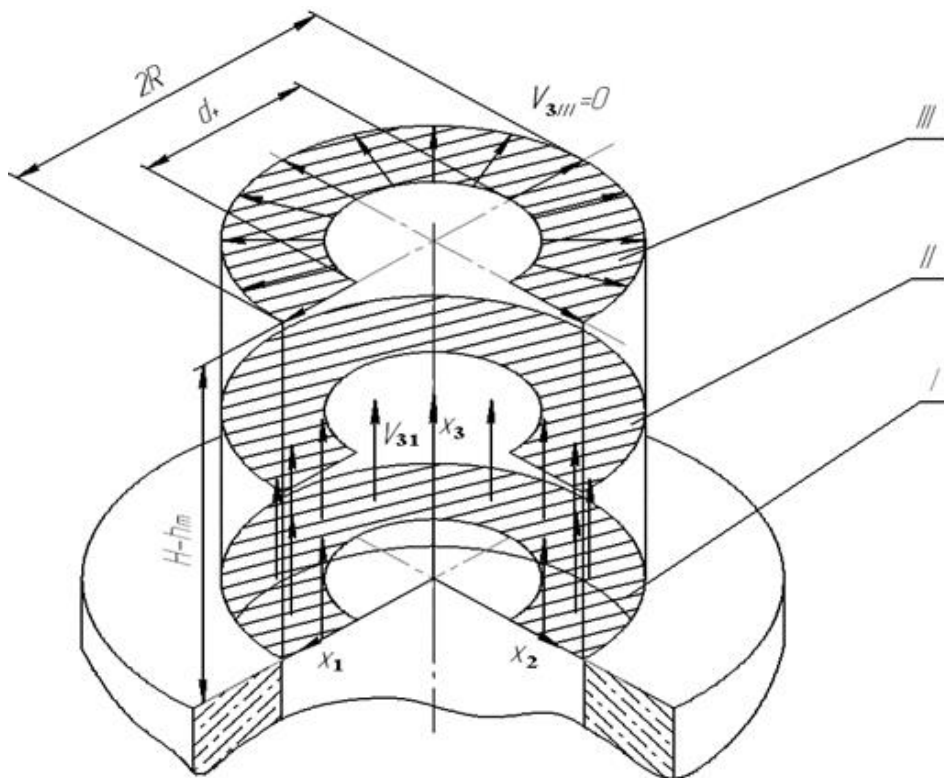


Рисунок 2. Расчетная схема металлоприёмника

Второе условие работоспособности М: скорость  $|V_{nc}|$  не должна быть больше допустимой скорости течения металла на границе раздела фаз металл-шлак  $[V_{nc}]$  в ПК МНЛЗ.

Создана конструкция М с разгрузочными отверстиями для промежуточного ковша слябовой МНЛЗ (рисунок 3). Компоновка металлоприёмника, относительно перегородки, представлена на рисунке 4.

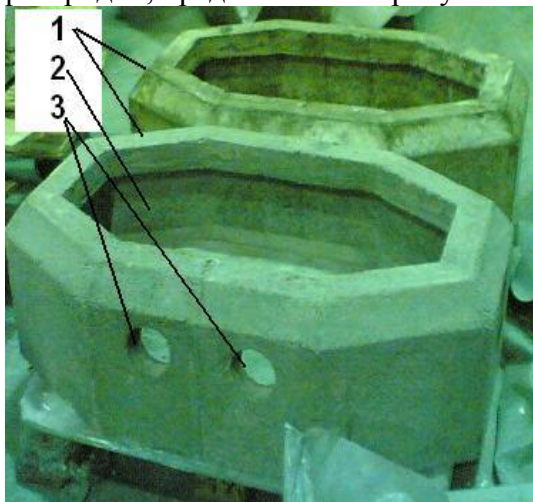


Рисунок 3. Металлоприёмник с пространственно ориентированными отверстиями: 1 - металлоприёмники; 2 – центральное приёмное отверстие; 3 – ряд переливных отверстий

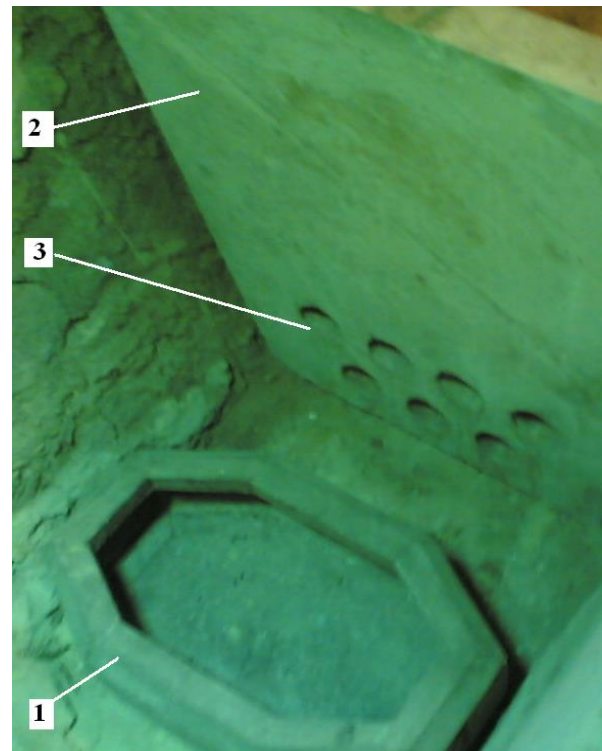


Рисунок 4. Установка М в приёмной камере ковша: 1 - металлоприёмники; 2 – перегородка; 3 – ряд переливных отверстий перегородки

Применение созданных металлоприёмников позволяет уменьшить скорость движения потоков стали на поверхности приёмной камеры, что позволяет снизить

количество неметаллических включений в реакционную камеру промежуточного ковша слябовой МНЛЗ.

#### Заключение

Разработанная методология выбора и расчета параметров металлоприёмника ПК МНЛЗ, позволяет определить размеры элементов М при создании ПК МНЛЗ, необходимые для выполнения заданной функции – рафинирования стали. В качестве критериев работоспособности были приняты: устойчивость, прочность, отсутствие кавитации и условие, по которому скорость на границе раздела металл-шлак должна быть меньше допустимой. Для обеспечения устойчивости и надежной фиксации М в его конструкции необходимо предусматривать:

1. Элементы, обеспечивающие надежную фиксацию металлоприёмника от смещений (продольного и бокового) относительно дна (бойного места) ПК. При этом должно обеспечиваться отсутствие прослойки металла между дном М и дном ПК.
2. Определенную конфигурацию наружной поверхности торкретмассы, прилегающей к металлоприёмника. Поверхность необходимо выполнять с учетом действия свободных струй металла на боковую поверхность металлоприёмника.
3. Созданы конструкции металлоприёмников для слябовой МНЛЗ.

#### Библиографический список

1. Точилкин В.В. Модернизация промежуточного ковша МНЛЗ для обеспечения повышения качества разливаемой стали / Ремонт, восстановление, модернизация. 2007. №2. С. 5-7.
2. Вдовин К.Н., Мельничук Е.А., Точилкин В.В. Разработка компоновки и элементов приёмной камеры промежуточного ковша слябовой МНЛЗ // Технология металлов. 2011. №11. С. 39–41.
3. Вдовин К.Н., Семенов М.В., Точилкин В.В. Рафинирование стали в промежуточном ковше МНЛЗ: Монография.

Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 118 с.

4. 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.
5. Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Марочкин О.А. Совершенствование процесса разливки стали на сортовых МНЛЗ // Металлург. 2014, № 4. С. 80-82.
6. Точилкин В.В., Филатов А.М. Пневмопривод металлургических манипуляторов: Монография.- Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2005. - 211 с.
7. 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.
8. Точилкин В.В. Методика расчета металлоприёмника промежуточного ковша МНЛЗ // Ремонт, восстановление и модернизация. 2008, № 6. С. 44–47.
9. Семенов М.В., Точилкин В.В. Методика расчета работоспособности элементов промежуточного ковша МНЛЗ // Вестник машиностроения. 2007, № 6. С. 41–43.
10. 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.