

---

## ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ

УДК 537.84:669:621.74

**В. И. Дубоделов**, д-р техн. наук, академик НАН Украины, зав. отделом,  
e-mail: mgd@ptima.kiev.ua

**А. Н. Смирнов**, д-р техн. наук, ведущ. науч. сотр., e-mail: stalevoz@i.ua

**А. П. Верзилов**, канд. техн. наук, науч. сотр., e-mail: verzilovalex@gmail.com

**Ю. Ю. Кулиш**, мл. науч. сотр., e-mail: deathrob@gmail.com

**Д. И. Гойда**, ведущ. инженер, e-mail: goydadanyl@gmail.com

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины (Киев, Украина)

### ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУХКАМЕРНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША С МАГНИТНЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

В мировой практике наблюдается тенденция к созданию металлургических микрозаводов, которые имеют принципиальные отличия в технологическом отношении в сравнении с мини-заводами и традиционными металлургическими комбинатами. Технологическая цепочка таких микропроизводств исключает внепечную обработку металла между плавильным агрегатом и разливкой в силу небольшого объема печей. В этой связи промежуточный ковш машин непрерывной (МНЛЗ) или полунепрерывной (МПНЛЗ) разливки стали претерпевает значительные конструктивные изменения, связанные с переносом части операций обработки стали на участок разливки. В этой связи возникает необходимость в исследовании процессов истечения металла в промежуточных ковшах МНЛЗ и МПНЛЗ, используемых в условиях современных металлургических микрозаводов. Для этого была разработана физическая модель и выполнен выбор рабочих сред, обеспечивающих совмещенную оценку динамики истечения потоков внутри двухкамерного промежуточного ковша с применением электромагнитного перемешивания, которое используется на МНЛЗ и МПНЛЗ в условиях современного микрозавода. Выбор двухкамерных промежуточных ковшей для металлургических микрозаводов объясняется необходимостью разделения части технологических операций внутри промежуточного ковша. Также, метод создания вращательного движения потоков в центрифугальной камере промежуточного ковша имеет определенные преимущества перед другими методами, а именно высокую эффективность обработки в плане удаления неметаллических включений, надежность эксплуатации и простоту в обслуживании, а также позволяет адаптировать эту технологию к условиям эксплуатируемых промежуточных ковшей МНЛЗ, МПНЛЗ. Разработанная физическая модель позволяет выполнить оценку эффективности использования различных конструкций металлоприемников, оценить характер вращения моделирующей жидкости в камере при изменении скорости вращения и положения зоны приложения усилия, а также оценить резидентное время и эффективность удаления различного рода включений. Физическая модель выполнена из органического стекла, что дает возможность визуализировать характерные стадии наблюдаемых процессов.

**Ключевые слова:** металлургический микрозавод, двухкамерный промежуточный ковш, магнитное перемешивание, магнитная гидродинамика, металлоприемник, включения.

**М**еталлургические микроразливатели имеют целый ряд преимуществ, в сравнении с традиционными производствами: меньшие капитальные затраты на строительство, быстрая окупаемость, широкий сортамент выплавляемых марок сталей и соответствие современным экологическим нормам и др. Они специализируются на производстве качественной продукции небольшими партиями, обеспечивая локальные потребности региона, в котором находятся [1]. При этом, технологическая цепочка таких предприятий характеризуется отсутствием автономного агрегата для внепечной обработки, что объясняется невозможностью обеспечить подогрев стали на установке ковш-печь и выполнить вакуумирование в силу малого объема плавки в несколько тонн (3–8 т). В этой связи возникает необходимость в переносе этих операций в промежуточный ковш МНЛЗ или МПНЛЗ.

Промежуточный ковш МНЛЗ, МПНЛЗ, который находится между сталеразливочным ковшом и кристаллизатором, играет важную роль с точки зрения обеспечения высоких качественных характеристик стали. Для этого в нем могут применяться различные технологические приспособления, приемы и операции [2]: фильтрационные перегородки и пороги; продувочные блоки, фурмы и кольцевые устройства для подачи аргона; металлоприемники специальных конструкций; методы электромагнитного перемешивания для усреднения металла по температуре и химическому составу [3]; нестандартные конструкции промежуточных ковшей; использование методов электромагнитного воздействия, как с точки зрения подогрева, так и перемешивания металла; использование приведенных выше устройств и методов в комбинации друг с другом.

Одним из наиболее интересных и перспективных методов повышения качества металла является применение электромагнитных воздействий в сочетании с использованием двухкамерных промежуточных ковшей, которые используются для повышения эффективности удаления неметаллических включений. Такой промежуточный ковш был разработан японской компанией JFE Steel и получил название «промежуточный ковш с центробежным движением потоков» (CF Tundish). Одна камера промежуточного ковша имеет цилиндрическую форму, что позволяет использовать электромагнитное поле для придания жидкой стали вращательного движения, и соединена цилиндрическим каналом со второй камерой, которая имеет традиционную форму (рис. 1).

Благодаря вращательному движению жидкой стали, увеличивается резидентное время ее пребывания в промежуточном ковше и, соответственно, возрастает вероятность удаления крупных неметаллических включений в результате их всплытия в шлак. Соответственно, рафинирующая способность таких промежуточных ковшей больше промежуточных ковшей обычной формы. Обработанный таким образом расплав затем подается в разливочную камеру через канал, выполненный в придонной области промежуточного ковша. Использование промежуточного ковша с вращательным движением потоков позволяет значительно уменьшить количество крупных оксидных включений (размером более 10 мкм) в готовой стали.

В целом, технология вращательного движения потоков в промежуточном ковше имеет определенные преимущества перед другими методами, заключающаяся в высокой эффективности обработки в плане удаления неметаллических включений, надежности эксплуатации и простоте в обслуживании, а также позволяет адаптировать эту технологию в условия эксплуатируемых промежуточных ковшей МНЛЗ/МПНЛЗ.

Исходя из вышеизложенного, авторами было принято решение о создании физической модели двухкамерного промежуточного ковша с центрифугальной камерой и имитацией электромагнитного перемешивания для решения следующих задач: изучить эффект вращения металла при электромагнитном перемешивании в центрифугальной камере промежуточного ковша; выявить оптимальную высоту слоя приложения электромагнитных воздействий, скорость вращения жидкой ванны, сектор приложения магнитного поля в центрифугальной камере; изучить особенности трансформации падающей из сталеразливочного ковша струи в объеме

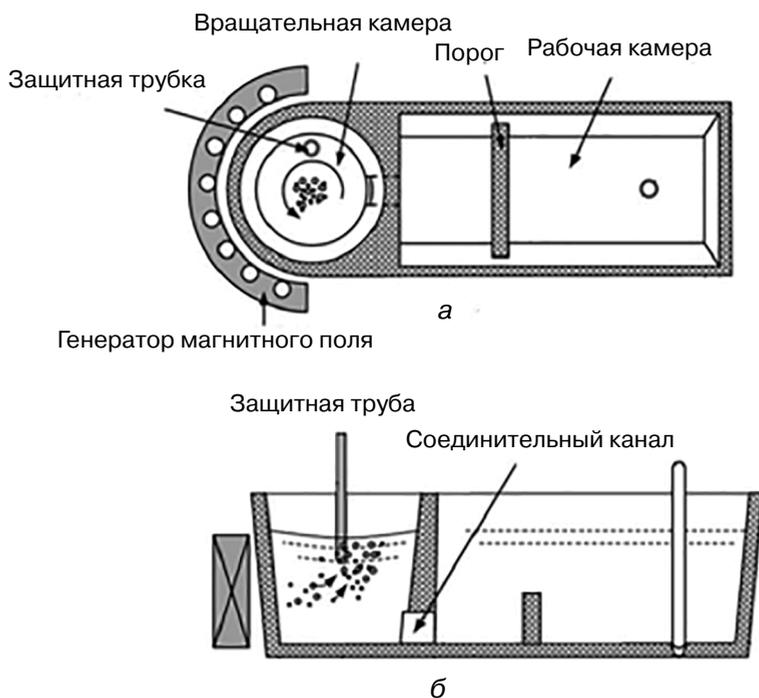


Рис. 1. Двухкамерный промежуточный ковш с электромагнитным перемешивателем для создания вращающегося магнитного поля: а – вид сверху; б – фронтальная плоскость (сечение)

центрифугальной камеры; изучить распределение неметаллических включений в объеме центрифугальной камеры и скорость их всплытия в зависимости от скорости вращения моделирующей жидкости и точки приложения магнитного воздействия; оценить возможность развития вихревых явлений в объеме центрифугальной камеры, определить условия их возникновения и последствия; сравнить эффективность удаления неметаллических включений в двухкамерных промежуточных ковшах с применением электромагнитных сил и базовых промежуточных ковшах с применением различных рафинирующих мероприятий; определить влияние конструкции металлоприемника на изменение гидродинамической картины истечения потоков внутри центрифугальной камеры.

Известно, что физическое моделирование процессов перемешивания жидкости наиболее предпочтительно при сохранении одинаковых геометрических размеров исследуемого агрегата и модели [4–5]. Однако, объем основной массы промежуточных ковшей, используемых на микрозаводах, составляет 2–5 м<sup>3</sup> (при массе металла 5–25 т), что делает затруднительной технику моделирования с сохранением геометрических размеров, так как это связано с большой трудоемкостью исследовательских работ и не всегда гарантирует получение надежных данных на холодных водных моделях. Поэтому, в рамках физического моделирования был обоснован и посчитан масштаб модели меньших размеров, чем реальный объект.

Основными критериями гидродинамической оценки процессов перемешивания являются [4, 6, 7]:

– критерий Фруда, характеризующий подобие процессов, происходящих под действием силы тяжести, выражающий соотношение сил инерции и сил тяжести:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot l}, \quad (1)$$

## Получение и обработка расплавов

где  $v$  – скорость потока, м/с;  $l$  – определяющий линейный размер, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

– критерий Рейнольдса, определяющий соотношение между силами инерции и силами трения в движущейся жидкости:

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}, \quad (2)$$

где  $\nu$  – кинетический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с;

– критерий гомохронности (критерий Струхалея), характеризующий соотношение между силой инерции и величиной, учитывающей влияние нестационарности движения на скорость жидкости:

$$Ho = \frac{v \cdot \tau}{l}, \quad (2.3)$$

где  $\tau$  – характерный интервал времени.

Следует отметить, что соблюдение всех вышеперечисленных критериев подобия одновременно невозможно. Так, нельзя обеспечить одновременно соблюдение критериев Фруда и Рейнольдса (это связано с тем, что для обеспечения равенства критериев модели и натурального объекта линейный размер требуется в одном случае уменьшить, а в другом – увеличить). Поэтому, целесообразно определить наиболее эффективные критерии подобия для моделирования процесса истечения металла в центрифугальной камере двухкамерного промежуточного ковша, что, в конечном счете, обеспечит подобие совокупности исследуемых закономерностей.

Учитывая тот факт, что при движении моделирующей жидкости весьма важными представляются процессы, происходящие под действием сил тяжести, обуславливающих всплытие немаetalлических включений, и сил инерции, определяющих развитие системы циркуляционных потоков в жидкой ванне центрифугальной камеры промежуточного ковша, в настоящей работе в качестве базовых критериев подобия были приняты критерий Фруда и критерий гомохронности.

Физическое моделирование процессов истечения металла в центрифугальной камере промежуточного ковша выполнено на прозрачной модели, что позволяет визуализировать все основные процессы, происходящие в системе. Геометрический масштаб физической модели определялся с учетом критериев подобия Фруда и гомохронности и составил 1:6 по отношению к выбранному моделируемому объекту. Для визуального наблюдения газожидкостных потоков воду подкрашивали специальным индикатором для цветового отличия. Наблюдаемые картины перемешивания жидкости фиксировали с помощью цифровой видеокамеры.

При этом в качестве моделирующей жидкости использовали воду при температуре 18–25 °С. Выбор воды в качестве моделирующей жидкости объясняется тем фактом, что значения вязкости воды и стали в области температур внепечной обработки достаточно близки друг к другу [4]. Для имитации шлака, располагающегося на поверхности металла, использовали силиконовое масло, которое, как известно, имеет высокие значения поверхностного натяжения, а вязкость может варьироваться в достаточно широких пределах в зависимости от его температуры [8].

Схематическое представление лабораторной установки для моделирования процессов перемешивания металла в центрифугальной камере двухкамерного промежуточного ковша представлено на рис. 2.

Жидкая сталь начинает свой путь из сталеразливочного ковша (1) и посредством защитной трубы (2) попадает в металлоприемник (5), который выполняет функции защиты днища центрифугальной камеры (3) и перераспределения металла в ее объеме. В свою очередь, имитация тангенциального движения металла при магнитном воздействии в центрифугальной камере обеспечивается за счет помпы (4).

Экспериментальная установка позволяет регулировать скорость вращения жидкости в центрифугальной камере и изменять точку приложения этого воздействия.

В качестве критерия эффективности перемешивания жидкости в центрифугальной камере был принят показатель интенсивности перемешивания, определяемый как время гомогенизации объема жидкости в камере. Время гомогенизации определялось как период, требуемый для достижения соответствующей высокой однородности системы, необходимой с технологической точки зрения [4, 9, 10]. Следовательно, время гомогенизации является условной величиной, зависящей от способа определения степени перемешивания, ее численного значения и масштаба наблюдений. Вместе с тем, время гомогенизации позволяет выполнять сравнительные количественные оценки времени гомогенизации жидкости в центрифугальной камере при различных режимах истечения металла в зависимости от точки приложения воздействия и его интенсивности, выполненных в одинаковых условиях.

Основные методы измерения времени гомогенизации жидкости в ковше, применявшиеся в лабораторных исследованиях, можно разделить на следующие группы: термические, оптические и электрохимические. Наиболее точным функционально несложным методом является электрохимический метод с введением в перемешиваемую жидкость (воду) небольшого количества раствора соли и измерением электропроводности в одной или нескольких точках объема ковша. При этом значения времени гомогенизации являются самыми высокими, по сравнению с другими методами, а точность измерений составляет ~ 5 % [10].

Электропроводность измерялась двумя датчиками, каждый из которых представлял собой два платиновых электрода, между которыми пропускаться электрический ток (рис. 3). В качестве электролита, вводимого в воду, применялся насыщенный раствор поваренной соли. Применение платиновых электродов обуславливалось необходимостью предотвращения окисления поверхности электродов в солевом растворе, что значительно снизило бы точность измерений. Датчики располагались в диаметрально противоположных точках у стенок модели центрифугальной камеры промежуточного ковша на высоте 0,2 и 0,8 высоты налива воды в модели. Преимуществом такой схемы является то, что выходной сигнал представляет собой разность между показателями датчиков, а, следовательно, позволяет более точно судить о том, в какой степени осуществилась гомогенизация электролита в объеме камеры. Запись полученного сигнала производилась на самописце и оцифровывалась на компьютере.

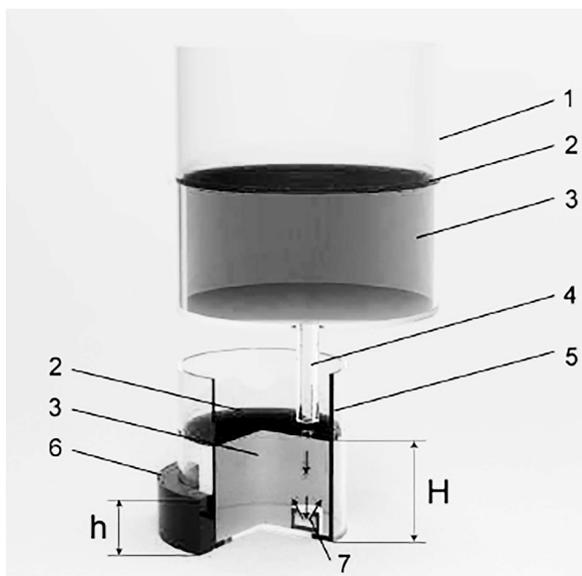


Рис. 2. Схема лабораторной установки для визуальной оценки процессов перемешивания металла в центрифугальной камере двухкамерного промежуточного ковша

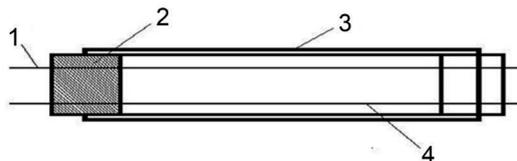


Рис. 3. Схематическое изображение платинового датчика: 1 – рабочая часть платиновых электродов; 2 – уплотнитель; 3 – корпус датчика; 4 – токоподводящая часть датчиков

По полученным осциллограммам определялось время гомогенизации, за которое принимался отрезок осциллограммы, на котором колебания с датчиков уменьшались до 3 % от максимального сигнала, соответствующего начальному моменту попадания вводимого электролита на один из датчиков. В процессе исследований солевой раствор подавали как в центр центрифугальной камеры, так и в зону одного из датчиков. Сравнение результатов измерений по обоим способам показало, что величина времени гомогенизации в этих случаях была практически одинакова. В дальнейшем для удобства выполнения процедуры измерений электролит подавался непосредственно к одному из датчиков, так как при этом величина отклонения сигнала на изменение концентрации соли в воде несколько выше, чем при подаче солевого раствора в центр центрифугальной камеры.

Характерный пример полученных осциллограмм перемешивания воды и солевого раствора приведен на рис. 4.

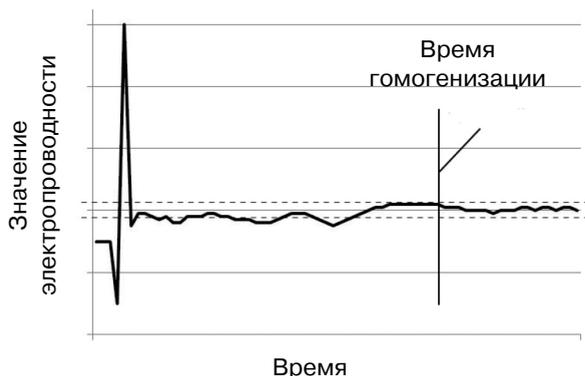


Рис. 4. Пример осциллограммы перемешивания воды и солевого раствора (5 % от амплитуды)

При обработке графиков использовали приближенный метод анализа – метод огибающих [11]. Измерение времени гомогенизации для каждого конкретного случая производилось не менее трех раз, а в случае, когда значение одного из трех замеров отличалось от двух других более чем на 10 %, серия измерений повторялась. Время гомогенизации определялось как среднее арифметическое значение между полученными величинами.

Таким образом, разработанная физическая модель допускает выполнять комплексные

исследования, позволяющие не только визуализировать отдельные стадии перемешивания металла в центрифугальной камере промежуточного ковша, но также оценить резидентное время и эффективность удаления различного рода включений, и проводить сравнительные количественные оценки влияния параметров вдувания газа на интенсивность перемешивания. Также модель позволяет выполнить оценку работы различных конструкций металлоприемников при изменении скорости вращения моделирующей жидкости в камере, а также изменении зоны приложения воздействия.

### Список литературы

1. Смирнов А. Н., Сафонов В. М., Дорохова Л. В., Цупрун А. Ю. *Металлургические мини-заводы*. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 469 с.
2. Дубоделов В. И., Смирнов А. Н., Ефимова В. Г., Кравченко А. В., Верзилов А. П. *Гидродинамические и физико-химические процессы в промежуточных ковшах для непрерывного литья стали: монография*. – К.: Наукова думка, 2018.
3. Дубоделов В. И., Смирнов А. Н., Верзилов А. П., Кулиш Ю. Ю., Гойда Д. И. *Применение электромагнитных воздействий при непрерывной разливке стали // Процессы литья*. – 2019. – №1. – С.10–22.
4. Еронько С. П. *Физическое моделирование процессов внепечной обработки стали / С. П. Еронько, С. В. Быковских*. – К.: Техника, 1998. – 136 с.
5. *Теория подобия – моделирования / [В. А. Венников]*. – М.: Высшая школа, 1966. – 487 с.
6. Mazumdar D. *Modelling criteria for flow simulation in gas stirred ladles: experimental study / D. Mazumdar, H.B. Kim, R.I.L. Guthie // Ironmaking and Steelmaking*. – 2000. – Vol. 27. – no. 4. – pp. 302–309.
7. *Перемешивание и аппараты с мешалками / [Ф. Стренк]*. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
8. Смирнов А. Н. *Модельные исследования гидродинамики процессов перемешивания стали в*

- ковшах малой вместимости / А. Н. Смирнов, С. П. Еронько, А. Ю. Цупрун, И. Н. Салмаш // *Металл и литье Украины*. – 2006. – № 3–4. – С. 31–35.
9. *Ilegbusi O. J.* A Comparison of Experimentally Measured and Theoretically Calculated Velocity Fields in a Water Model of an Argon Stirred Ladle // *O.J.Ilegbusi, J.Szekely, M.Igushi e.a.* // *ISIJ International*. – Vol. 23. – 1993. – no. 4. – pp. 474–478.
10. Пульсационное перемешивание металлургических расплавов / [С. П. Ефименко, В. П. Пилушенко, А. Н. Смирнов]. – М.: *Металлургия*, 1989. – 168 с.
11. Анализ и обработка записей колебаний / [Р. Мэнли]. – М.: *Машиностроение*, 1972. – 368 с.

Поступила 20.08.2019

### References

1. *Smirnov, A. N., Safonov, V. M., Dorokhova, L. V., Tsuprun, A. Yu.* (2005) Metallurgical mini-plants. Donetsk: Nord-Press, 469 p. [in Russian].
2. *Dubodelov, V. I., Smirnov, A. N., Efimova, V. G., Kravchenko, A. V., Verzilov, A. P.* (2018) Hydrodynamic and physico-chemical processes in intermediate ladles for continuous casting of steel: Monograph. K.: *Naukova Dumka* [in Russian].
3. *Dubodelov, V. I., Smirnov, A. N., Verzilov, A. P., Kulish, Yu. Yu., Goyda, D. I.* (2019) Application of electromagnetic influences during continuous casting of steel. *Casting processes*, no. 1, pp. 10–22 [in Russian].
4. *Eronko, S. P., Bykovskikh, S. V.* (1998) Physical modeling of out-of-furnace steel processing processes. K.: *Technique*, 136 p. [in Russian].
5. *Vennikov, V. A.* (1966) The theory of similarity - modeling. Moscow: Higher School, 487 p. [in Russian].
6. *Mazumdar, D., Kim, H. B., Guthie, R. I. L.* (2000) Modeling criteria for flow simulation in gas measured ladles: experimental study. *Ironmaking and Steelmaking*, Vol. 27, no. 4, pp. 302–309 [in Russian].
7. *Srenk, F.* (1975) Stirring and apparatus with mixers. L.: *Chemistry*, 384 p. [in Russian].
8. *Smirnov, A. N., Eronko, S. P., Tsuprun, A. Yu., Salmash, I. N.* (2006) Model studies of the hydrodynamics of steel mixing processes in small-capacity ladles. *Metal and casting of Ukraine*, no. 3–4, pp. 31–35 [in Russian].
9. *Ilegbusi, O. J., Szekely, J., Igushi, M.* (1993) A Comparison of Experimentally Measured and Theoretically Calculated Velocity Fields in a Water Model of an Argon Stirred Ladle. *ISIJ International*, Vol. 23, no. 4, pp. 474–478 [in English].
10. *Efimenko, S. P., Pilyushenko, V. L., Smirnov, A. N.* (1989) Pulsation mixing of metallurgical melts. M.: *Metallurgy*, 68 p. [in Russian].
11. *Manly, R.* (1972) Analysis and processing of vibration records. M.: *Mechanical Engineering*, 368 p. [in Russian].

Received 20.08.2019

**В. І. Дубодєлов**, д-р техн. наук, академік НАН України, зав. відділу,

*e-mail: mgd@ptima.kiev.ua*

**О. М. Смірнов**, д-р техн. наук, пров. наук. співр., *e-mail: stalevoz@i.ua*

**О. П. Верзілов**, канд. техн. наук, наук. співр., *e-mail: verzilovalex@gmail.com*

**Ю. Ю. Куліш**, мол. наук. співр., *e-mail: deathrob@gmail.com*

**Д. І. Гойда**, пров. інженер, *e-mail: goyदानил@gmail.com*

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

### ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ДВОКАМЕРНОГО ПРОМІЖНОГО КОВША З МАГНІТНИМ ПЕРЕМІШУВАННЯМ

У світовій практиці спостерігається тенденція до створення металургійних мікрозаводів, які мають принципові відмінності в технологічному відношенні в порівнянні з мінізаводами і традиційними металургійними комбінатами. Технологічний ланцюжок таких мікрівиробництв виключає позапічну обробку металу між плавильним агрегатом і розливанням у зв'язку з

невеликим об'ємом печей. У зв'язку з цим, проміжний ківш машин безперервного (МБЛЗ) або напівбезперервного (МНБЛЗ) розливання сталі зазнає значних конструкційних змін, пов'язаних з перенесенням частини операцій обробки сталі на ділянку розливання. У зв'язку з цим виникає необхідність у дослідженні процесів витікання металу в проміжних ковшах МБЛЗ і МНБЛЗ, які використовуються в умовах сучасних металургійних мікрозаводів. Для цього було розроблено фізичну модель і виконано вибір робочих середовищ, які забезпечують поєднану оцінку динаміки витікання потоків всередині двокамерного проміжного ковша із застосуванням електромагнітного перемішування, яке використовується на МБЛЗ і МПНЛЗ в умовах сучасного мікрозаводу. Вибір двокамерних проміжних ковшів для металургійних мікрозаводів пояснюється необхідністю поділу частини технологічних операцій усередині проміжного ковша. Також, метод забезпечення обертального руху потоків в центрифугальній камері проміжного ковша має певні переваги перед іншими методами, які полягають у високій ефективності обробки в плані видалення неметалевих включень, надійності експлуатації і простоті в обслуговуванні, а також дозволяє адаптувати цю технологію до умов проміжних ковшів МБЛЗ, МПНЛЗ, що експлуатуються. Розроблена фізична модель дозволяє виконати оцінку ефективності використання різних конструкцій металопримачів, оцінити характер обертання моделювальної рідини в камері при зміні швидкості обертання і положення зони прикладання зусилля, а також оцінити резидентний час і ефективність видалення різного роду включень. Фізична модель виконана з органічного скла, що дає можливість візуалізувати характерні стадії процесів, що спостерігаються.

**Ключові слова:** металургійний мікрозавод, двокамерний проміжний ківш, магнітне перемішування, магнітна гідродинаміка, металопримач, включення.

**V. I. Dubodelov**, Doctor of Engineering Sciences, Academician of the NAS of Ukraine, Head of Department, e-mail: mgd@ptima.kiev.ua

**A. N. Smirnov**, Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher, e-mail: stalevoz@i.ua

**A. P. Verzilov**, Candidate of Engineering Sciences, Researcher, e-mail: verzilovalex@gmail.com

**Yu.Yu. Kulish**, Junior Researcher, e-mail: deathrob@gmail.com

**D. I. Goyda**, Leading Engineer, e-mail: goydadanil@gmail.com

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

### PHYSICAL MODEL OF A DOUBLE-CHAMBER TUNDISH WITH MAGNETIC STIRRING

*In world practice, there is a tendency to create metallurgical micro-mill, which have fundamental differences in technological terms in comparison with mini-plants and traditional metallurgical plants. The technological chain of such microstage-production excludes out-of-furnace metal processing between the melting unit and casting due to the small volume of furnaces. In this regard, the intermediate ladle of continuous (CCM) or semi-continuous (SCCM) casting machines undergoes significant structural changes associated with the transfer of part of the steel processing operations to the casting site. In this regard, there is a need to study the processes of metal outflow in the intermediate ladles of continuous casting and continuous casting machines used in modern metallurgical micro-plants. The physical model was developed and a choice of working media was made that provides a combined assessment of the dynamics of the outflow of flows inside a two-chamber tundish using electromagnetic stirring, which is used in continuous casting machines and continuous casting machines in a modern micro-plants. The choice of two-chamber tundishes for metallurgical micro-plants explains the need to separate part of the technological operations inside the tundish. Also, the technology of rotational movement of flows in the centrifugal chamber of the tundish has certain advantages over other methods, which include high processing efficiency in terms of removing non-metallic inclusions, reliable operation and ease of maintenance, and also allows you to adapt this technology to the conditions of operating tundishes of continuous casting machines, SCCM. The developed physical model makes it possible to evaluate the efficiency of using various designs of metal detectors, to evaluate the nature of the rotation of the modeling fluid in the chamber with a change in the rotation speed and the position of the force application zone, and also to evaluate the residence time and removal efficiency of various inclusions. The physical model is made of organic glass, which makes it possible to visualize the characteristic stages of the observed processes.*

**Keywords:** metallurgical micro-plants, two-chamber tundish, magnetic mixing, magnetic hydrodynamics, metal receiver, inclusions.