

**А.В. Остапенко**, н.с.

**С.А. Шевченко**, к.т.н., с.н.с., ORSID 0000-0002-9287-9177

**В.Г. Кисляков**, к.т.н., с.н.с., зав. отделом, ORSID 0000-0002-1775-5050

**И.А. Маначин**, к.т.н., с.н.с., ORSID 0000-0001-9795-6751

*Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины*

## **ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ ПОТОКА НА РАВНОМЕРНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА НА ОСНОВЕ ЗЕРНИСТОГО МАГНИЯ**

**Аннотация.** Целью работы являлось изучение, с помощью лабораторной установки, влияния существующей конструкции переключателя потока на равномерность движения двухфазного потока, состоящего из зернистого магния и сжатого газа. На основе типичной схемы компоновки инжекционных систем для вдувания зернистого магния на установках десульфурации чугуна в ковшах создана лабораторная установка, позволяющая сгенерировать устойчивый равномерный поток зернистого магния в струе сжатого воздуха. Поток пропускали через прозрачную натурную модель стандартного узла переключения потока на три фурмы, при этом изменялся угол наклона самого устройства, переключателя потока. Процесс фиксировали видеосъемкой. Покадровый анализ полученного видеоизображения позволил изучить влияние существующей конструкции переключателя потока при разных углах наклона на равномерность движения двухфазного потока по тракту инжекционной системы в процессе ковшевой десульфурации расплава чугуна зернистым магнием. Представленные исследования позволили установить основные причины и выявить механизм зарождения пульсаций в полости исследуемого узла переключателя потока. Показано, что объем полости переключателя способствует накоплению в нем магния и при наклоне более  $22^\circ$  к горизонту возникает самопроизвольное ссыпание скопившегося магния в полости, что и являет собою основную причину возникновения пульсаций. Разработанные на основе результатов исследований рекомендации и реализация их на действующей установке десульфурации чугуна в 100 тонных ковшах нового сталзавода Циндаоского меткомбината (г. Циндао, КНР, 2016 г.) позволили снизить бурность во время обработки и обеспечить устойчивый ввод реагента с двукратной интенсивностью.

**Ключевые слова:** чугун, переключатель потока, зернистый магний, пульсация

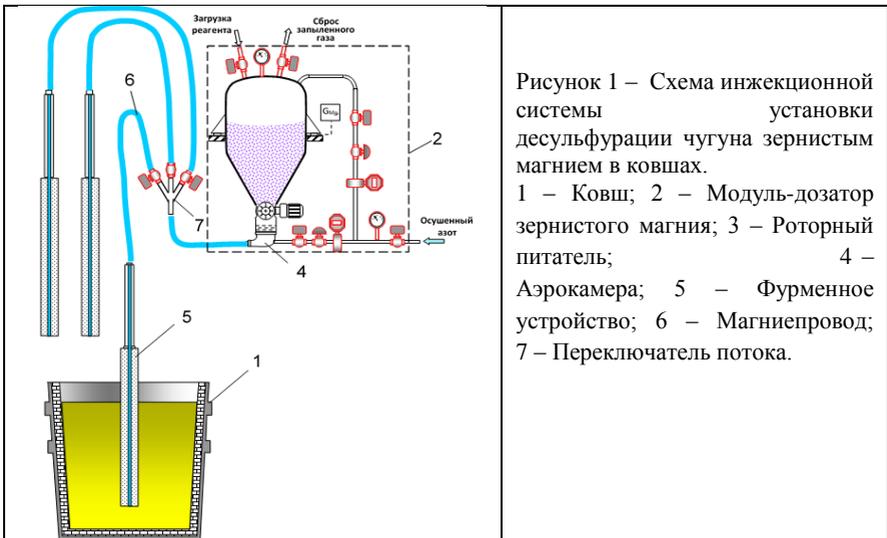
**Ссылка для цитирования:** *Ostapenko A.V., Shevchenko S.A., Kislyakov V.G., Manachin I.A.* Effect of a flow switch on the uniformity of a two-phase flow based on granular magnesium. //«*Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*». – 2019. - Вып.33. – С.98-105. (In Russian). DOI 10.52150/2522-9117-2019-33-98-105

**Состояние вопроса.** При проектировании инжекционных систем для

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії»*. – 2019. - Вып.33  
*«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy»*. – 2019. – Collection 33  
ISSN 2522-9117 *«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii»*. – 2019. – Выпуск

десульфурации расплава чугуна зернистым магнием в ковшах особое внимание уделяется равномерности дозирования и ввода реагента на глубину расплава. Поскольку лишняя порция магния, моментально испаряясь, может привести к бурному барботажу ванны и появлению опасных выплесков металла из ковша [1]. Поэтому для дозирования зернистого магния используют только устройства с роторным питателем [2], обеспечивающее равномерную, стабильную выдачу реагента с заданной интенсивностью независимо от изменений параметров транспортирующего газа: расход, давление. Тракт инжекционной системы комплектуется исходя из условий устойчивого пневмотранспортирования зернистого магния, когда скорость газового потока значительно выше скорости витания твердых частиц, при этом исключаются уступы, резкие повороты, препятствия, все что может мешать свободному движению частиц [3].

На рис. 1 приведена схема инжекционной системы для вдувания зернистого магния под уровень расплава с возможностью подключения трёх фурменных устройств, которая была реализована на ряде современных комплексах десульфурации чугуна в ковшах по технологии Института черной металлургии [4].



В основе схемы находится дозирующее устройство, обеспечивающее стабильную и равномерную выдачу магния из бункера. Зернистый магний и подаваемый транспортирующий газ, смешиваясь в азрокамере,

образуют равномерный двухфазный поток, который по тракту магниепровода подводится непосредственно к фурме. Поскольку на УДЧ к одному дозирующему устройству подключено, как правило, два или три фурменных устройства, то для подачи газо-магниевого смеси на определенную фурму используется переключатель потока, оснащенный соответствующим количеством отсечных клапанов. Конструкция существующего переключателя потока на три фурмы приведена на рис. 2.

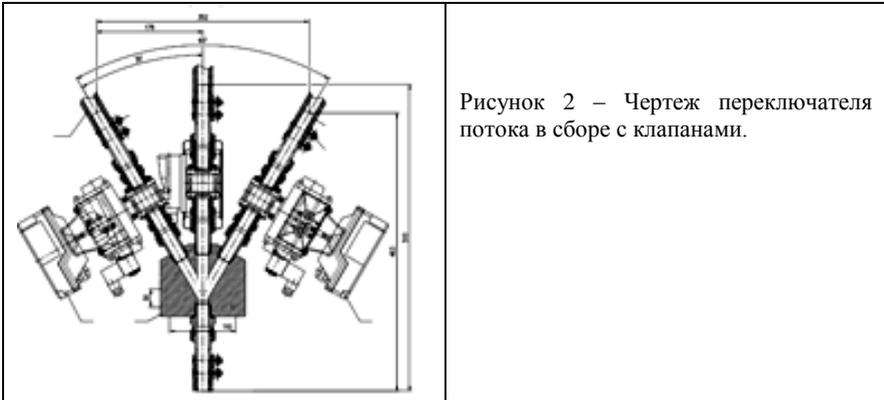


Рисунок 2 – Чертеж переключателя потока в сборе с клапанами.

Из рисунка видно, что тракт переключателя потока имеет переменное сечение, расширение в 2 – 3 диаметра и внезапное сужение на диаметр выходного отверстия, дополнительно происходит поворот направления движения потока на 10 – 20° и наличие 1 – 2 тупиковых отводов. Такая геометрия тракта может оказывать существенное влияние на движение твердых частиц в потоке. В связи с этим, данная работа направлена на изучение, с помощью лабораторной установки, влияния существующей конструкции переключателя потока на равномерность движения двухфазного потока на основе зернистого магния.

**Целью работы** являлось изучение, с помощью лабораторной установки, влияния существующей конструкции переключателя потока на равномерность движения двухфазного потока на основе зернистого магния.

**Описание эксперимента.** Для проведения исследований был собран лабораторный стенд (Рис. 3) включающий в себя блок подготовки воздуха, дозирующее устройство зернистого магния, модель участка магниепровода с переключателем потока на три фурмы, улавливатель зернистого магния. Переключатель потока выполнен из прозрачного материала и имеет три отвода, с углом отклонения (для боковых отводов) 30°. Не задействованные отводы закрыты съемными заглушками. Стенд

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33*

*«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33*

ISSN 2522-9117 *«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk 33*

позволяет изменять угол наклона переключателя потока от 0 до  $90^\circ$  к горизонту. Процесс движения зернистого магния через переключатель фиксировался цифровой камерой с частотой изображения 24 кадра/с в течении 10 секунд, в последующем осуществлялась раскадровка видео изображения на отдельные кадры. В результате получено 10 серий изображения, где рассмотрены варианты осевого и бокового подключения отвода потока при различных углах наклона плоскости, к которой прикреплен переключатель потока: 0, 22, 45 и  $90^\circ$  к горизонту.

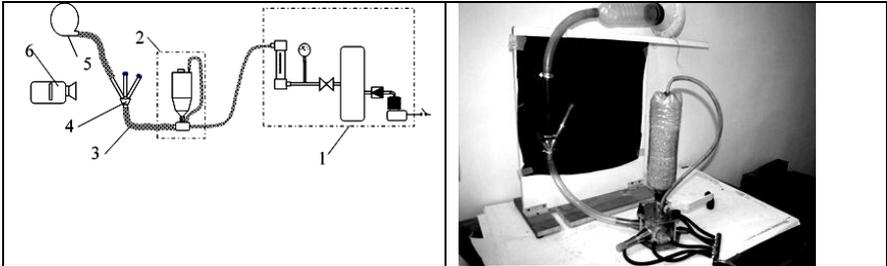


Рисунок 3 – Схема и вид лабораторной установки. 1 – блок управляемой подачи сжатого газа, 2 – дозирующее устройство для твердой фазы, 3 – материалопровод, 4 – переключатель потока, 5 – улавливатель твердой фазы, 6 – цифровая видеокамера.

**Анализ результатов.** Анализ изображения показал, что при углах наклона 0 –  $22^\circ$  в процессе прохождения двухфазного потока через переключатель потока происходит накопление в полости тупиковых отводов твердой фазы независимо от позиции рабочего отвода, по центру или с боку. Заполнив полость тупиковых отводов, при указанных углах наклона, твердая фаза остается неподвижной и практически не вносит пульсации в действующий поток. При наклоне плоскости с углом более  $22^\circ$  накапливаемый магний в тупиковых отводах ссыпается, внося значительную неравномерность в существующий поток. В том числе, при угле  $90^\circ$  видна пульсация концентрации твердой фазы в полости тупиковых отводов независимо от позиции рабочего отвода, по центру или с боку (рис. 4).

Установленное в ходе эксперимента явление указывает на то, что при компоновке инъекционных систем рафинирования расплава чугуна зернистым магнием необходимо обеспечивать наклон плоскости переключателя потока не более  $22^\circ$  к горизонту. В противном случае, полость переключателя будет являться источником пульсаций концентрации реагента в потоке, что в итоге приведет к повышению бурности процесса обработки и выплескам чугуна из ковша. Логичной является взаимосвязь, чем больше объем полости переключателя, тем

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вип.33*

*«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33*

ISSN 2522-9117 *«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk 33*



Подтверждением полученного результата исследований является имеющийся опыт при выполнении пусконаладочных работ по настройке инжекционной системы установки десульфурации чугуна в 100 тонных ковшах нового сталзавода Циндаоского меткомбината [4] (г. Циндао, КНР, 2016 г.), где переключатель потока имел три отвода на фурмы и в силу ограниченности площади под проектирование УДЧ, был расположен в вертикальной плоскости. В результате чего, характер обработок был бурным с периодическими выплесками чугуна из ковша. Допустимая интенсивность подачи магния была ниже 5 кг/мин. После выявления причины, благодаря представленным исследованиям, переключатель потока был установлен в горизонтальном положении, что позволило избавиться от бурного характера обработки и поднять интенсивность ввода магния до 10-12 кг/мин. Но, при этом, после обработки в отводах переключателя остается скопившейся магний, что может создавать проблему в случае длительного простоя УДЧ.

**Выводы.** Представленные исследования позволили выявить механизм влияния элементов трассы материалопровода, в частности переключателя потока, на равномерность движения двухфазного потока на основе зернистого магния при инжестировании его в расплав на установках ковшевой десульфурации чугуна. Промышленный опыт показал, что расположение существующей конструкции переключателя потока в вертикальной плоскости приводит к повышению бурности обработки, выплескам чугуна из ковша и вынужденному снижению интенсивности подачи реагента.

Полученные результаты исследований позволили получить рекомендации по рациональному расположению переключателя потока, реализация которых в промышленных условиях позволила снизить бурность во время обработки и обеспечить устойчивый ввод реагента с двукратной интенсивностью.

**Библиографический список**

1. *Воронова Н.А.* Десульфурация чугуна магнием. – М.: Металлургия, 1980. – 239 с.
2. *Пат. 67533 А Украины (UA) 7 С21С1/02.* Установка для десульфурации чугуна гранулированным магнием в большегрузном ковше. [В.И. Большаков, А.П. Белый, В.А. Александров и др.]. Заявитель и патентодержатель Институт черной металлургии НАН Украины. – 15.06.2004 Бюл. № 6.
3. *Шевченко С.А.* Разработка научных положений и технологии инъекционного процесса десульфурации чугуна диспергированным магнием в большегрузных ковшах. Канд. диссертация. Днепропетровск. – 2010. – 217 с.
4. Шевченко А.Ф., Вергун А.С. Башмаков А.М. Особо глубокая десульфурация чугуна (0,001 – 0,002% серы) и высокая производительность вдуванием зернистого магния. [А.Ф. Шевченко, А.С. Вергун, А.М. Башмаков и др.] // *Металл и литье Украины* – 2018. – № 3-4 – С. 3–8.

**Reference**

1. *Voronova N.A.* (1980). Desulfuraciya chuguna magniem [Desulfurization of cast iron with magnesium]. Moskva: Metallurgiya, 1980, 239 p. (In Russian).
2. *Boľshakov V.I., Belyj A.P. & Aleksandrov V.A. et al.* (2004). Ustanovka dlya desulfuracii chuguna granulirovanny`m magniem v bol'shegruznom kovshe [Installation for desulphurization of cast iron with granular magnesium in a heavy-duty ladle.] UA Patent 67533. Institut chernoj metallurgii NAN Ukrainy` (2004), (In Russian).
3. *Shevchenko S.A.* (2010). *Razrobotka nauchny`kh polozhenij i tekhnologii inzhekcijonogo proczessa desul`furacii chuguna dispergiovanny`m magniem v bol'shegruzny`kh kovshakh.* [Development of scientific provisions and technology for the injection process of desulfurization of cast iron with dispersed magnesium in heavy-duty ladles]. (Kand. Dissertaciya). Dnepropetrovsk, 2010, 217 p. (In Russian).
4. *Shevchenko A.F., Vergun A.S. & Bashmakov A.M. et al.* (2018). Osobo glubokaya desul`furacziya chuguna (0,001 – 0,002% sery`) i vy`sokaya proizvoditel`nost` vduvaniem zernistogo magniya [Extra deep desulfurization of cast iron (0.001 - 0.002% sulfur) and high productivity by blowing granular magnesium]. *Metall i lit`e Ukrainy`* [Metal and casting of Ukraine], 2018, 3-4, 3–8. (In Russian).

**О.В. Остапенко**, н.с.

**С.А. Шевченко**, к.т.н., с.н.с., ORSID 0000-0002-9287-9177

**В.Г. Кисляков**, к.т.н., с.н.с., зав. відділом, ORSID 0000-0002-1775-5050

**І.О. Маначин**, к.т.н., с.н.с., ORSID 0000-0001-9795-6751

**Вплив перемикача потоку на рівномірний рух двофазного потоку на основі зернистого магнію**

**Анотація.** Метою роботи було вивчення за допомогою лабораторної установки впливу існуючої конструкції перемикача потоку на рівномірність руху двофазного потоку, що складається з зернистого магнію і стисненого газу. На основі типової схеми компоновання інжекційних систем для вдування зернистого магнію на установках десульфуратції чавуну в ковшах створено лабораторну

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вип.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk 33

установку, що дозволяє згенерувати стійкий рівномірний потік зернистого магнію в струмені стисненого повітря. Потік пропускали через прозору натурну модель стандартного вузла перемикача потоку на три фурми, при цьому змінювався кут нахилу самого пристрою перемикача потоку. Процес фіксували шляхом відеозйомки. По кадровий аналіз відеозображення що отримано дозволив вивчити вплив існуючої конструкції перемикача потоку при різних кутах нахилу на рівномірність руху двофазного потоку по тракту інжекційної системи в процесі ковшової десульфурзації розплаву чавуну зернистим магнієм. Представлені дослідження дозволили встановити основні причини та виявити механізм зародження пульсацій в порожнинах досліджуваного вузла перемикача потоку. Показано, що обсяг порожнини перемикача сприяє накопиченню в ньому магнію і під кутом нахилу більше  $22^\circ$  до горизонту виникає мимовільне зсипання магнію що скупчився в порожнині, що і являє собою основну причину виникнення пульсацій. Розроблені на основі результатів досліджень рекомендації та реалізація їх на діючій установці десульфурзації чавуну в 100 тонних ковшах нового сталезаводу Циндаоського меткомбінату (м Циндао, КНР, 2016 р.) дозволили знизити бурхливість під час обробки і забезпечити стійкий введення реагенту з інтенсивністю збільшеною в двічі.

**Ключові слова:** чавун, перемикач потоку, зернистий магній, пульсація.

A.V. Ostapenko, Researcher

S.A. Shevchenko, Ph.D., Senior Researcher, ORSID 0000-0002-9287-9177

V.G. Kislyakov, PhD (Engin.), Senior Researcher, Head of Department, ORCID 0000-0002-1775-5050

I.O. Manachin, PhD (Engin.), Senior Researcher, ORCID 0000-0001-9795-6751

*Iron and Steel Institute named after Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine*

**Effect of flow switch on two phase flow evenness based on granular magnesium.**

The aim of the work was to study, with the help of a laboratory setup, the influence of the existing design of the flow switch on the uniformity of movement of a two-phase flow, consisting of granular magnesium and compressed gas. On the basis of a typical layout of injection systems for the injection of granular magnesium at the pig iron desulphurization plants in the ladles, a laboratory installation has been created that allows the generation of a stable uniform flow of granular magnesium in a stream of compressed air. The stream was passed through a transparent full-scale model of a standard unit for switching the flow into three lances, while the angle of inclination of the device itself, the flow switch, changed. The process was recorded by video. The frame-by-frame analysis of the video image made it possible to study the effect of the existing design of the flow switch at different angles of inclination on the uniformity of the movement of the two-phase flow along the path of the injection system during ladle desulfurization of the molten iron with granular magnesium. The presented studies made it possible to establish the main causes and reveal the mechanism of the generation of pulsations in the cavity of the studied node of the flow switch. It is shown that the volume of the switch cavity contributes to the accumulation of magnesium in it and when tilting more than  $22^\circ$  to the horizon, spontaneous pouring of the accumulated

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk 33

magnesium in the cavity occurs, which is the main reason for the occurrence of pulsations. The recommendations developed on the basis of the research results and their implementation on the existing cast iron desulfurization unit in 100 ton buckets of the new steel plant of the Qingdao Steel Plant (Qingdao, PRC, 2016) made it possible to reduce roughness during processing and ensure stable reagent injection with a double intensity.

**Key words:** cast iron, flow switch, granular magnesium, pulsation.

**For citation:** *Ostapenko O.V., Shevchenko S.A., Kyslyakov V.H., Manachyn .O.* Vplyv peremykacha potoku na rivnomirny rukh dvofaznoho potoku na osnovi zernystoho mahniyu. [Influence of flow switch on uniform motion of two-phase flow based on granular magnesium.]. «*Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii*». [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy] 2020, 34. 98-105. (In Russian). DOI 10.52150/2522-9117-2019-33-98-105

*Статья поступила в редакцию сборника 19.10.2019 года,  
прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания  
редакционной коллегии сборника №2 от 23 декабря 2019 года)*