

4. Пат. 103410 Україна, МПК С21С5/44(2006.01), С21С5/48 (2006.01), F27D1/16(2006.01). Спосіб нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертера та фурма для його здійснення / Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Чубін К.І., Чубіна О.А.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № а 2012 03224; заявл. 19.03.2012; опубл. 10.10.2013, Бюл. №19.

Поступила в редколегію 27.01.2014.

УДК 669.184.244.66

ПАНТЕЙКОВ С.П., к.т.н, доцент
КИРЬЯНОВА М.А., студентка
ПАНТЕЙКОВА Е.С., студентка

Днепродзержинский государственный технический университет

О ВЛИЯНИИ НА ДОЛЮ ЛОМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ДУТЬЯ ДЛЯ ДОННОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА В КОНВЕРТЕРЕ

Введение. Первые попытки применения нагретого дутья в плавильных процессах получения железа были осуществлены около 1827 г. – Ботфильд, а затем Дево и Каброль во Франции впервые пробовали использовать горячее дутьё в доменной печи, пытаясь предварительно нагревать вдуваемый в домну воздух под колосниками топки.

В Англии шотландский изобретатель Джеймс Бомон Нилсон, начав проводить опыты по вдуванию в доменную печь горячего воздуха, получил в 1828 г. патент на применение горячего дутья в горнах и вагранках (его доменный воздухонагреватель представлял собой нагреваемый ящик с трубами). Это привело к значительному снижению удельного расхода топлива, поэтому все домны Шотландии после этого были оборудованы установками для нагрева дутья, а затем предварительный подогрев дутья для доменных печей начали осуществлять и в других странах мира.

Английский механик и изобретатель Генри Бессемер изобрёл революционный конвертерный *„процесс передела жидкого чугуна в литую сталь без затраты топлива путём продувки через него струями воздуха или пара”*, получив на него патент Англии № 2321 от 17 октября 1855 г., который описывал сущность процесса так: *„Струи воздуха или пара, лучше в сильно нагретом состоянии, должны пропускаться между частями расплавленного чугуна или рафинированного чугуна до тех пор, пока металл, оставаясь ещё в жидком состоянии, не примет свойств стали”*. Таким образом, ещё в 1855 г. Г.Бессемер указал на целесообразность использования в конвертерах предварительного нагрева дутья до относительно высоких температур.

Тепловой баланс первых конвертерных процессов был очень напряжён: холодное воздушное дутьё ухудшало тепловой баланс плавки и практически исключало переработку лома в конвертере, так как для нагрева балластного азота, являющегося при данных процессах основным компонентом дымовых газов, требовалось значительное количество тепла (~ 20 % от общей потребности на процесс – при средней температуре дымовых газов 1450°C расходуется около 110 ккал на 1 кг продуваемого чугуна). Несомненно, что предварительный подогрев донного дутья позволил бы осуществлять процессы выплавки стали в конвертерах с воздушным дутьём более горячо, предоставил бы возможность применения более „холодных” (как физически, так и химически) передельных чугунов, устранил бы необходимость разработки и применения в России „русских” способов бессемерования Чернова Д.К. (с 1872 г.) и Поленова К.П. (с 1875 г.), а также (при прочих равных условиях) позволил бы переплавлять металлолом в хо-

де конвертерних плавок. Однак, ні в бессемеровському, ні в наступному за ним томасовському процесі, розробленим Томасом Сідні Джилкристом в 1876-78 г.г. (запатентован ім 26 марта 1878г. в Німеччині), підігрів донного дуття так і не був здійснений.

Повищення фізического тепла повітря (паралельно з топливом) шляхом його попереднього підігріву в регенераторах допомогло П'єру Мартену і його отцю Емілю Мартену (соответственно, директору і власнику залізничного заводу в Фуршамбо) во Франції досягти в робочому просторі своїм (мартеновським) печі необхідним для розплавлення твердого металічного лома високої температури, котрою при використанні холодного повітря (і топлива) не удавалось їм (як і багатьом іншим дослідникам) досягти в ході проведення ними тривалих (длительних) експериментів, починаючи з 1840 г. Новий процес виробництва сталі був запатентований П.Мартеном в 1864 г. майже паралельно во Франції (10 апреля) і в Англії (15 августа), котрому суджено було стати першим світовим способом виплавки якісної сталі в період наступних майже 150 років, завдяки успішному рішенням сім'ї Мартенов використовувати для виплавки сталі в відражальній регенеративній печі винахід братів Фрідріха і Вільгельма Сіменсів – принципу регенерації тепла, запатентованого (1856 г.) і застосованого ними раніше в печах скляного виробництва.

Конвертерний же процес, минувши підігрів повітряного дуття, пішов по іншому шляху розвитку. Для підвищення теплового балансу конвертерних плавок замість попереднього підігріву донного повітряного дуття його спочатку почали збагачувати (збільшувати в ньому частку кисню), а потім почали застосовувати технічно чистий кисень. Це дозволило значно підвищити тепловий баланс конвертерних плавок, використовуючи в металізаваці до 20-25% твердого металічного лома.

Використання технічного кисню привело до виникненню ряду конвертерних процесів: з верхньої продувкою кисневими струями, з донною продувкою топливно-кисневими струями, а також з різними варіантами комбінованих продувок. Однак, во всьому цьому різноманітності кисневих і топливно-кисневих конвертерних процесів, як і в перших конвертерних процесах з продувкою повітрям, кисневий дутьє і/або дутьє, подаване на донне перемішування, вдувалось в рідкий расплав непідігрітим.

Перші розробки по попередньому підігріву донного дуття в кисневих конвертерах з комбінованою продувкою були здійснені [1, 2] в 80-х роках минулого (XX) століття кафедрою металургії сталі Дніпродзержинського індустріального інституту спільно з Західно-Сибірським металургічним комбінатом (г. Новокузнецьк). Згідно даним розробкам, попередній підігрів донного дуття здійснювався шляхом раціонального використання власних ресурсів конвертерного процесу – теплового стану агрегату і фізического тепла відходящих газів – шляхом укладання витків трубопроводу для подачі дуття по декільким варіантам: між кожухом конвертера і його футеровкою по всій висоті агрегату [3], в об'ємі верхньої частини кожуха горловини конвертера і на внутрішній поверхні нижньої частини каміна [4], в об'ємі шлемової частини горловини конвертера [5]. При русі по витках таких трубопроводів продувочний газ нагрівався за рахунок тепла, накопиченого в шарі огнеупорної футеровки і/або за рахунок тепла відходящих з агрегату газів, а потім подавався до донним фурмам, через котрі вдувався в расплавлену ванну знизу.

Постановка задачі. Дані розробки були направлені на зменшення теплових втрат конвертерної ванни, зв'язаних з охолоджуючим ефектом подаваного в расплав холодного донного дуття в результаті неминувості його фізического нагріву теплом расплава до температури ванни по ходу продувки. Зменшення витрат тепла на

нагрев донного дутья осуществлялось путём предварительного подогрева газа, подаваемого на донное перемешивание, до температур 400-700°C, хотя возможен и более сильный подогрев дутья – до температур свыше 1000°C. В связи с этим, необходимо рассчитать возможное повышение доли металлического лома в шихте кислородных конвертеров в связи с увеличением приходной части теплового баланса за счёт применения горячего донного дутья, предварительно подогретого до температур 500-1400°C.

Результаты работы. Оценка потерь тепла на нагрев донного дутья до температуры конвертерной ванны была выполнена применительно к условиям работы 250-т конвертеров ПАТ „Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э.Дзержинского” (г.Днепропетровск) с помощью известного балансового уравнения [6]:

$$Q = C_{cp} \cdot \Delta t \cdot q \cdot \tau, \quad (1)$$

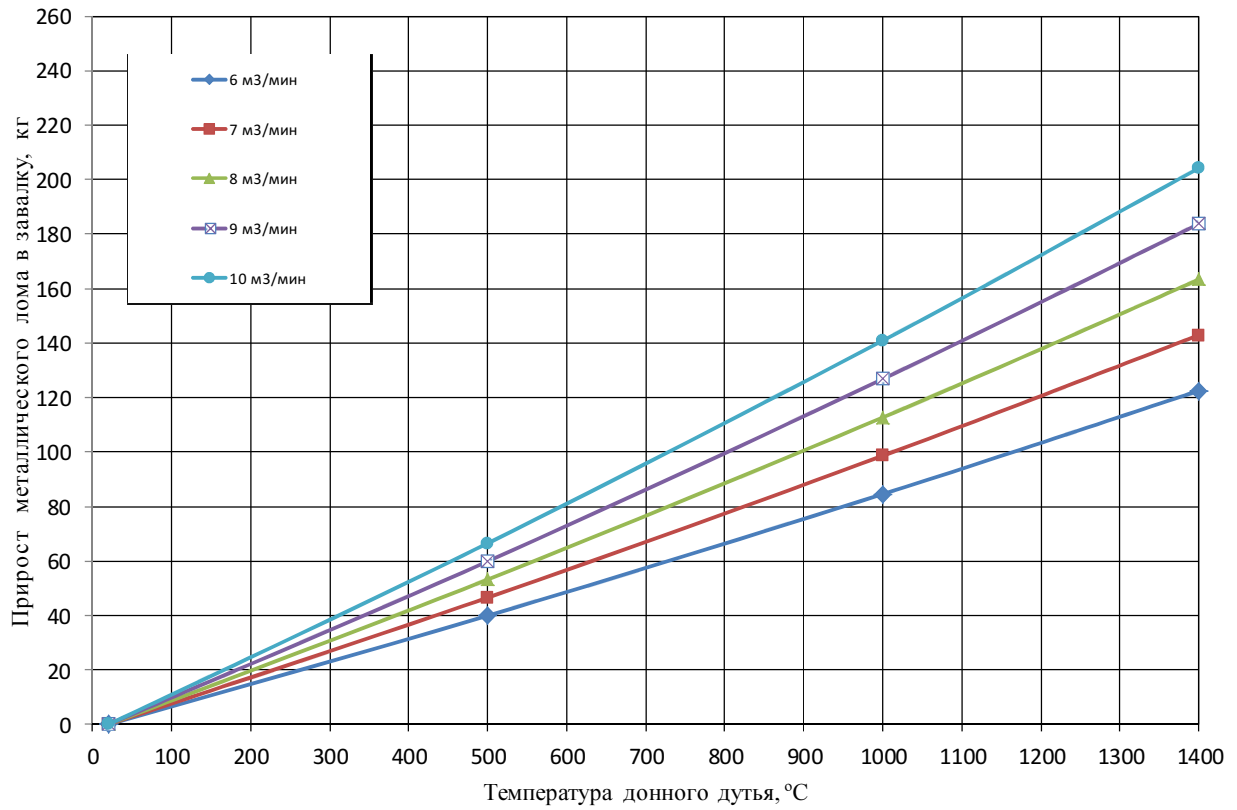
где C_{cp} – средняя удельная теплоёмкость газа в интервале температур Δt , кДж/(м³·°C) [5]; Δt – разность температур между температурой ванны и температурой дутья, °C; q – расход донного дутья, м³/мин; τ – время процесса, мин.

Были оценены потери тепла на нагрев азота до температуры ванны в период продувки расплава при температурах газа 20, 500, 1000, 1400°C в интервале расходов донного дутья 6...10 м³/мин. Температура заливаемого в конвертер жидкого чугуна составляла 1280°C, температура готовой стали в конце продувки – 1650°C.

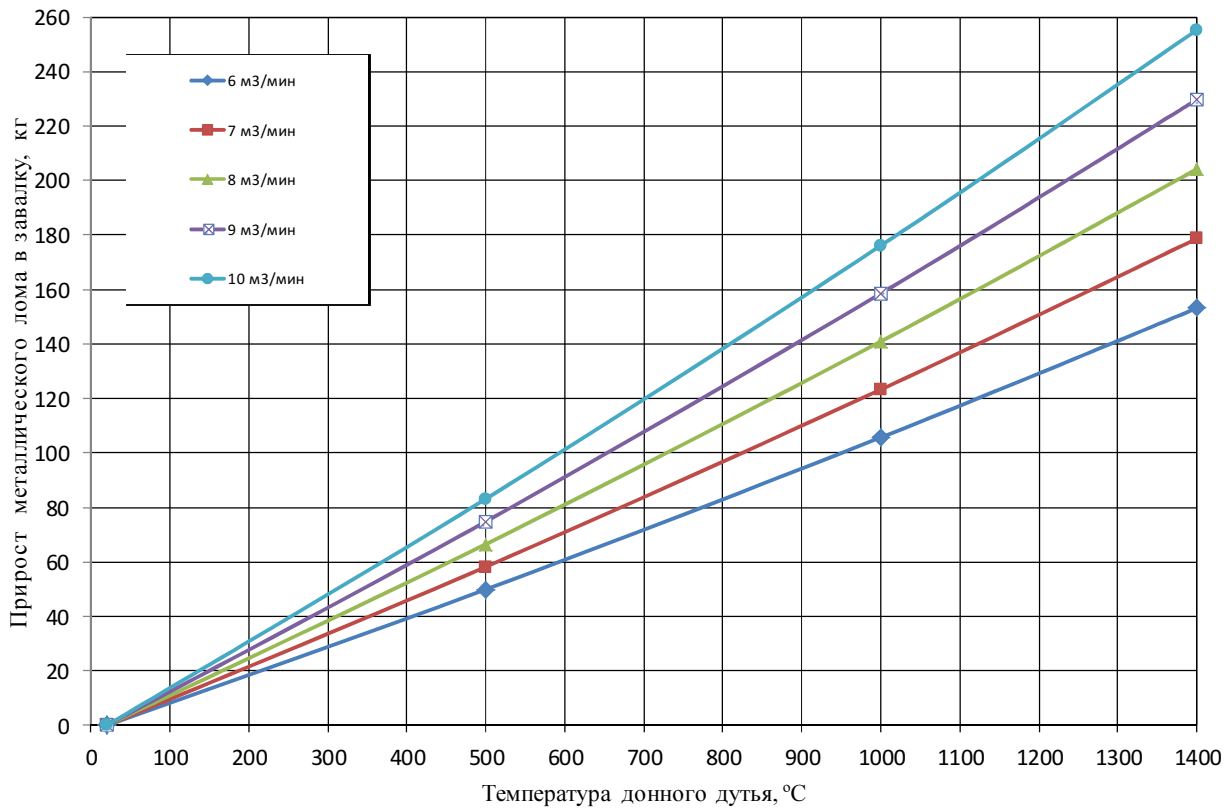
Охлаждающее действие 1 кг металлолома составляет 1410 кДж [7]. Расчётами установлено, что благодаря предварительному подогреву донного дутья (азота) можно дополнительно переработать 40-83,2; 84,6-176,2; 122,5-255,3 кг металлолома на плавку соответственно при температурах предварительного подогрева дутья 500, 1000, 1400°C в интервале расходов донного дутья 6-10 м³/мин за 16-20 минут продувки (рис.1).

Согласно расчётам газовой динамики в каналах донных устройств для продувки расплава нейтральными газами, проведенными [8-10] одним из авторов, подогрев перемешивающего газа (азота) позволяет, при сохранении одинаковой скорости истечения дутья из донных фурм, уменьшить расход донного дутья в среднем в 1,6-1,8 раз. Принимаем, что при температуре подогрева азота 500°C его расход уменьшается в 1,6 раза, при 1000°C – в 1,7 раза, при 1400°C – в 1,8 раза (назовём его *эквивалентным снижением расхода перемешивающего газа* при каждой определённой температуре подогрева газа). Тогда потери тепла на нагрев донного дутья до температуры ванны также уменьшатся согласно эквивалентному снижению перемешивающего газа при указанных температурах его предварительного подогрева. Благодаря эквивалентному снижению расхода газа (в результате его предварительного подогрева) масса дополнительно переработанного лома возрастёт до 73,3-152,7; 85,5-214,2; 125,3-261,1 кг на плавку (рис.2) соответственно при температурах подогрева дутья 500°C (эквивалентный расход дутья составил 3,75-6,25 м³/мин), 1000°C (эквивалентный расход дутья равен 3,53-5,88 м³/мин) и 1400°C (эквивалентный расход дутья 3,33-5,56 м³/мин); кроме того, в результате эквивалентного снижения расхода дутья соответственно экономится продувочный азот в количествах 36-75 м³, 39,52-82,4 м³ и 42,72-88,8 м³ за продувку (16-20 мин).

Выводы. Установлено, что благодаря предварительному подогреву азота (идущего на донное перемешивание расплава во время его кислородной продувки) от 20°C до 1400°C *удельный расход лома* (т.е. на каждый 1 м³ вдуваемого газа) увеличивается с 0 до 1,276 кг (рис.3, линия 1). При этом снижение расхода азота на каждый 1 м³ дутья, в том числе в условиях его эквивалентного снижения (связанного с температурой предварительного подогрева дутья), позволяет увеличивать удельный расход лома в пределах 1,343-0,066 кг при соответствующих температурах донного дутья от 20°C до 1400°C (рис.3, линия 2).

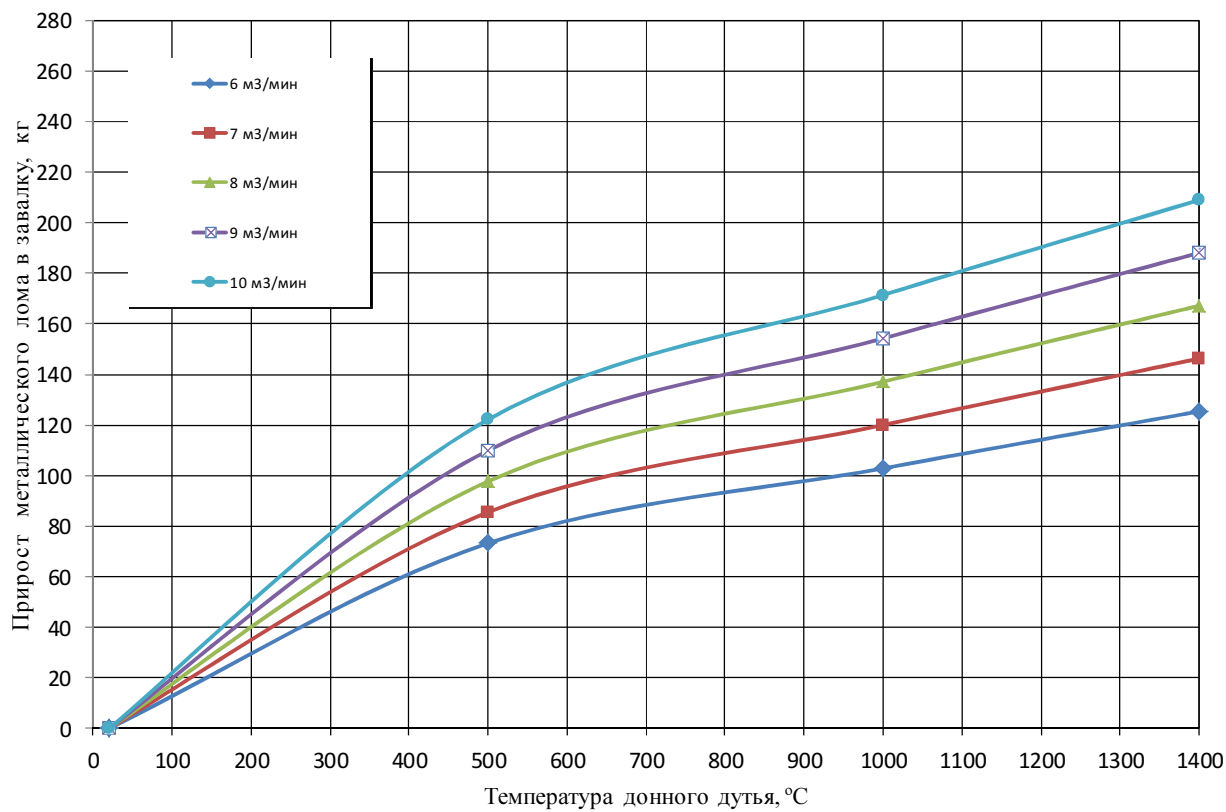


а)

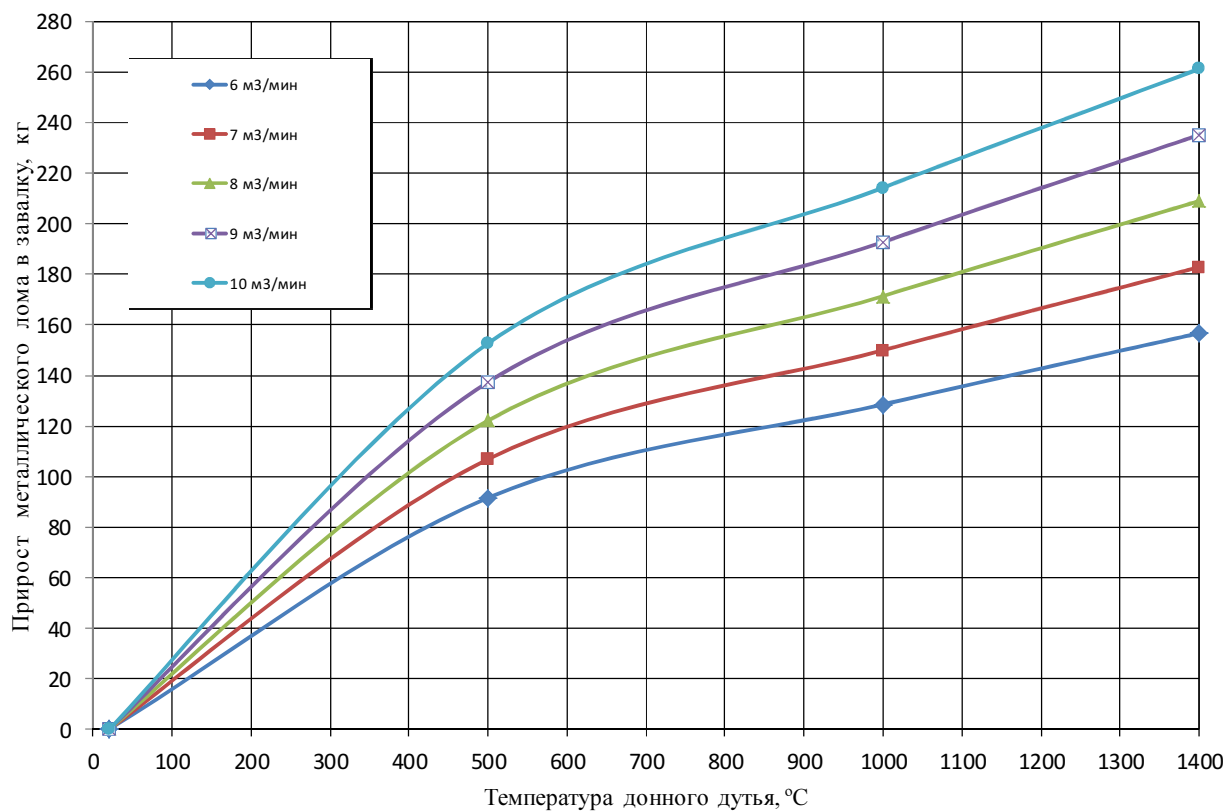


б)

Рисунок 1 – Прирост доли лома в завалку 250-т конвертеров в зависимости от температуры донного дуття для времени продувки 16 (а) и 20 (б) минут



а)



б)

Рисунок 2 – Приріст доли лома в завалку 250-т конвертерів в залежності від температури донного дуття при еквівалентному зниженні його расхода для часу продувки 16 (а) і 20 (б) минут

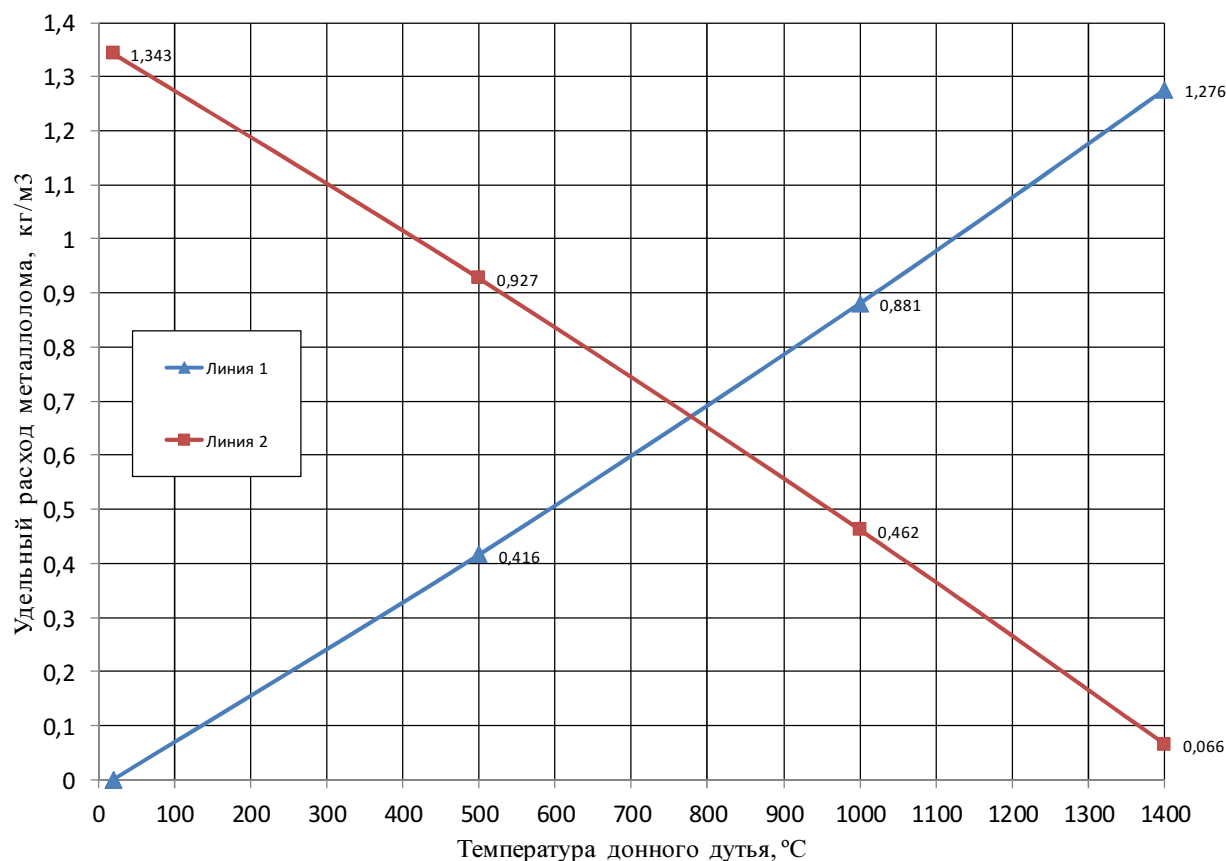


Рисунок 3 – Зависимости повышения удельного расхода лома (кг на 1 м³ газа) при повышении температуры дутья (линия 1) и снижения удельного расхода лома при эквивалентном снижении расхода дутья в результате его предварительного подогрева (линия 2)

Кроме того, предварительный подогрев донного дутья для кислородных конвертеров также имеет огромное значение с точки зрения повышения стойкости донных дутьевых устройств за счёт благоприятного влияния предварительного подогрева газа на снижение возникающих в теле донных фурм (блоков) термомеханических напряжений, приводящих к возникновению в огнеупорных материалах трещин с последующим разрушением дутьевых устройств. Изучение тепловых условий работы конвертерных огнеупорных блоков для донной подачи газов в жидкий расплав и их термонапряжённого состояния по разработанным математическим моделям [11-16] является задачей дальнейших исследований с целью увеличения стойкости донных дутьевых устройств и днищ кислородных конвертеров в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Предварительный подогрев нейтрального газа на конвертерах с комбинированной продувкой / А.Г.Чернятевич, Р.С.Айзатулов, Л.М.Учитель и др. // Чёрная металлургия. Бюл. НТИ. – 1986. – № 11. – С.47-48.
2. О подогреве перемешивающего газа для комбинированной продувки конвертерной ванны / А.Г.Чернятевич, Е.В.Протопопов, В.Р.Джувага и др. // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1987. – № 8. – С.17-21.
3. А.с. 1074907 СССР, МКИ С 21 С 5/42. Конвертер / А.Г.Чернятевич, Р.С.Айзатулов, Л.М.Учитель и др. – № 3426203/22-02; заявл. 19.04.82; опубл. 23.02.84, Бюл. № 7.

4. А.с. 1245599 СССР, МКИ С 21 С 5/42. Конвертер (его варианты) / А.Г.Чернятевич, В.И.Баптизманский, Б.А.Кустов и др.– № 3758654/22-02; заявл. 25.06.84; опубл. 23.07.86, Бюл. № 27.
5. А.с. 1348375 СССР, МКИ С 21 С 5/42. Конвертер / А.Г.Чернятевич, Е.В.Протопопов, Р.С.Айзатулов и др. – № 4068510/31-02; заявл. 05.03.86; опубл. 30.10.87, Бюл. № 40.
6. Краснощёков Е.А. Задачник по теплопередаче / Краснощёков Е.А., Сукомел А.С. – М.:Энергия, 1980. – 288с.
7. Якушев А.М. Справочник конвертерщика / Якушев А.М. – Челябинск: Metallurgia, 1990. – 448с.
8. Пантейков С.П. Численные исследования газовой динамики в каналах конвертерного многоканального фурменного блока для донного перемешивания расплава / Пантейков С.П. // Проблемы математического моделирования: міждерж. наук.-метод. конф., 29-31 травня 2002 р.: тези доповідей. – Дніпродзержинськ, 2002. – С.113.
9. Пантейков С.П. Численные исследования газовой динамики в канале донной кольцевой фурмы конвертеров комбинированного дутья /Пантейков С.П. // Современные проблемы производства стали и управление качеством подготовки специалистов: междунар. науч.-метод. конф., посвящённая 90-летию со дня рождения учёного-металлурга Меджибожского М.Я.: материалы. – Мариуполь, 2002. – С.159.
10. Пантейков С.П. Численные исследования газовой динамики в огнеупорном одноканальном донном блоке конвертеров комбинированной продувки / Пантейков С.П. // Автоматизированные печные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии: 2-ая междунар. науч.-практ. конф.: материалы. – М: МИСиС, 2002. – С.489.
11. Пантейков С.П. Математическая модель тепловой работы многоканального фурменного блока для донного перемешивания расплава в конвертере / Пантейков С.П. // Комп'ютерне моделювання: міждерж. наук.-метод. конф., 1997 р.: тези доповідей. – Дніпродзержинськ, 1997. – С.43.
12. Пантейков С.П. Математическая модель тепловой работы кольцевой фурмы в днище конвертера комбинированного дутья / Пантейков С.П.// Теория и практика кислородно-конвертерных процессов: IX Междунар. науч.-техн. конф.: труды. – Днепропетровск, 1998. – С.59.
13. Пантейков С.П. Математическая модель тепловой работы одноканального фурменного блока в днище конвертера комбинированного дутья / Пантейков С.П. // Азовсталь-99: науч.-техн. конф. молодых специалистов, 1999 г.: тезисы докладов. – Мариуполь, 1999. – С.22.
14. Пантейков С.П. Математическая модель термонапряжённого состояния одноканального огнеупорного фурменного блока для подачи нейтрального газа на донное перемешивание расплава в кислородном конвертере / Пантейков С.П. // Комп'ютерне моделювання: міждерж. наук.-метод. конф., 1999 р.: тези доповідей. – Дніпродзержинськ, 1999.– С.88-89.
15. Пантейков С.П. Математическая модель термонапряжённого состояния многоканального фурменного блока в днище конвертера комбинированного дутья / Пантейков С.П. // Теория и практика кислородно-конвертерных процессов: IX Междунар. науч.-техн. конф., 1998 г.: труды. – Днепропетровск, 1998. – С.59.
16. Пантейков С.П. Математическая модель термонапряжённого состояния фурменного блока кольцевой фурмы для донного перемешивания расплава в конвертере комбинированного дутья / Пантейков С.П. // // Азовсталь-99: науч.-техн. конф. молодых специалистов, 1999 г.: тезисы докладов. – Мариуполь, 1999. – С.23.

Поступила в редколлегию 04.02.2014.