

УДК 697.7

А. О. Мирам, Ю. В. Белов, В. М. Белов

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ОТ ЗАГОТОВОК МЕТАЛЛА ПОСЛЕ РАЗЛИВКИ В ЦЕЛЯХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Выполнен анализ использования вторичных энергоресурсов в черной металлургии, показана целесообразность проведения исследований в указанном направлении. Доказано, что утилизация теплоты от заготовок металла после машины непрерывной разливки стали для теплоснабжения позволяет уменьшить потребление природных энергоресурсов и снизить себестоимость производимой стали, а также улучшить экологическую обстановку на территории, примыкающей к промышленному предприятию.

К л ю ч е в ы е с л о в а: машина непрерывной разливки стали, пар, нестационарная теплопроводность, уравнение Шака, Ньютона — Рихмана, охлаждение, излучение.

The analysis of secondary energy resources use in the steel industry is carried out, the feasibility of conducting research in the specified direction is shown. The article proves that waste heat recovery from the billet of the metal after steel continuous casting machines for the needs of heat supply allows to reduce the consumption of natural energy resources and to reduce the costs of steel as well as to improve the ecological situation in the region adjacent to the industrial enterprise.

Key words: steel continuous casting machine, steam, unsteady heat conduction, equation Shaka, Newton-Richman, cooling, radiation.

Металлургия является одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности. При этом характерной особенностью металлургических процессов является то, что наиболее значительная часть (до 80...90 %) энергетических ресурсов тратится на процессы собственных технологических нужд.

Основные потребители энергоресурсов в черной металлургии — доменное (до 40 %) и прокатное (до 17 %) производства.

Такое состояние с энергоемкостью продукции диктует необходимость целенаправленной энергосберегающей политики. Стратегические подходы связаны, как правило, с реконструкцией производства, внедрением новых энергосберегающих технологических процессов. В этом плане следует отметить ряд мероприятий, которые успешно используются на металлургических предприятиях развитых стран.

В западных странах снизить себестоимость продукции позволяет широкое использование ряда передовых энергосберегающих технологий, среди которых:

непрерывная разливка стали, снижающая удельный расход энергии на производство стали на 20 %;

сухое тушение кокса (в зарубежной практике мокрое тушение кокса практически отсутствует);

испарительное охлаждение металлургических агрегатов, снижающее расход энергии в два-три раза по сравнению с оборотной (открытой) схемой охлаждения.

За последние двадцать лет удалось добиться значительного (более чем на 30 %) сокращения расходов энергоресурсов в металлургии. Например, показатель энергопотребления на главных европейских металлургических заводах полного цикла в настоящее время составляет менее 20 ГДж на 1 т жидкого металла, причем почти 100 % потребности в паре и электроэнергии могут покрываться за счет их выработки на базе металлургических газов.

Необходимость проведения активной политики энергосбережения в российской металлургии обосновывается в основном тем, что в настоящее время на производство и обработку металлов в нашей промышленности приходится более половины энергозатрат из общего их потребления.

Одна из определяющих причин такой тенденции – повышенные расходы топливно-энергетических ресурсов на единицу продукции для большинства отечественных металлургических предприятий по сравнению со среднемировыми показателями:

производство стали — 50 %;

производство стального проката — 80...100 %;

В металлургической промышленности при производстве металла широко используется утилизация вторичных энергоресурсов (ВЭР) на рис. 1 представлена структура и виды утилизации ВЭР на различных этапах при производстве металла. Эффективное использование ВЭР позволяет замещать покупные тепловые энергоресурсы, что значительно снижает энергоемкость и себестоимость продукции.

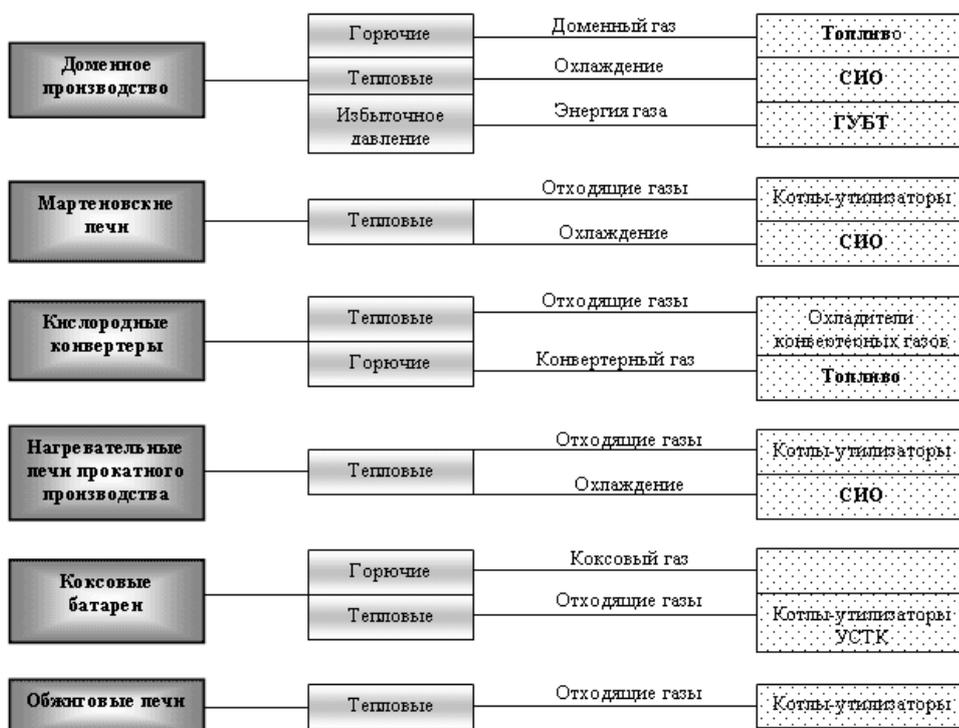


Рис. 1. Структура и виды использования ВЭР

Объем производства стали в мире представлен на рис. 2.

Десятка крупнейших стран-производителей сталь представлена на рис. 3.

По данным World Steel Association (WSA), мировое производство стали за 2013 г. выросло до 1,607 млрд т, что на 3,5 % выше уровня 2012 г.

На основании статистических данных прослеживается тенденция мирового увеличения производства металла, причем на долю российских заводов приходится значительный процент от мирового производства.



Рис. 2. Объемы производства стали в мире

	Страна	2012 г., млн. т	В % 2011 г.
1	Китай	716.5	103.1
2	Япония	107.2	99.7
3	США	88.6	102.5
4	Индия	76.7	104.3
5	Россия	70.6	102.5
6	Южная Корея	69.3	101.2
7	Германия	42.7	96.3
8	Турция	35.9	105.2
9	Бразилия	34.7	98.5
10	Украина	32.9	93.1

Рис. 3. Крупнейшие страны-производители стали в 2011—2012 гг. [1]

После машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) (т. е. полного цикла металлургического производства — прохождения кристаллизатора, зоны вторичного охлаждения и резки) металлические заготовки имеют температуру 900...1000 °С.

В настоящий момент металл (заготовки) после резки остывает на открытом воздухе или в некоторых случаях охлаждается водой (как в зоне вторичного охлаждения), т. е. тепло разогретого металла не утилизируется. Утилизация теплоты заготовок металла после МНЛЗ не используется в настоящий момент как на отечественных, так и на зарубежных заводах.

Предлагается после резки заготовки металла на длину регламентируемую производителем, предусмотреть устройство для утилизации теплоты нагретого металла.

Для этого устраивают минимум две периодически работающие (возможно, потребуется больше, в зависимости от производительности и требуемых параметров получаемого теплоносителя) горизонтальные емкости с длиной, равной длине порезанных заготовок, которыми заполняются емкости, затем указанная емкость герметически закрывается.

В емкость подается водяной пар (вода), который отбирает теплоту у нагретого металла, при этом получается перегретый пар, который используется для теплоснабжения предприятия и близлежащих жилых районов на нужды горячего водоснабжения и отопления или для других технологических целей.

При охлаждении 1 кг нагретого металла с 900 °С до 200 °С отбирается до 350 кДж теплоты [2, 3]:

$$Q = c (t_1 - t_2) m = 0,5(900 - 200)1 = 350 \text{ кДж},$$

что составляет 24 710 000 ГДж в год.

Получается, что при производительности металлургического производства 45 тыс. т заготовок в год можно утилизировать до 11 млн МВт теплоты в год, а согласно табл. 2 производство стали в России составляет более 70 млн т в год.

Если охлаждение выполнять сухим насыщенным паром при давлении 0,1 МПа и $t = 100$ °С с $i = 2674,9$ кДж/кг, при этом получать перегретый пар при таком же давлении и $t = 200$ °С, но уже с $i = 2875$ кДж/кг, то можно нагреть 1,75 кг пара. Объем пара увеличится в 1,3 раза, а процесс будет аналогичен процессу получения перегретого пара в котельном агрегате.

При охлаждении металла суммарный тепловой поток вычисляется как составляющая трех величин: нестационарной теплопроводности, излучения в газовой поглощающей среде (водяной пар) и теплоотдачи за счет свободной конвекции при смывании горизонтальной цилиндрической поверхности [4—6].

Нестационарная теплопроводность вычисляется по формуле

$$q = \pi R^2 \rho c_p (\bar{t} - \bar{t}_0),$$

где R — радиус цилиндра (если рассматривать в качестве заготовки после МНЛЗ цилиндр); ρ — плотность материала, кг/м³; c_p — удельная массовая теплоемкость; \bar{t}_0 и \bar{t} — среднеинтегральная температура цилиндра в моменты времени $\tau = 0$ и τ соответственно.

Излучение в газовой среде находится по уравнению Шака [7]:

$$q_{\text{H}_2\text{O}} = 3,75 P_{\text{H}_2\text{O}}^{0,8} l_{\text{эф}}^{0,6} \left[\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100} \right)^3 - \left(\frac{T_{\text{H}_2\text{O}}}{100} \right)^3 \right],$$

где $P_{\text{H}_2\text{O}}$ — парциальное давление водяных паров, равно давлению пара в емкости; $l_{\text{эф}}$ — эффективная длина луча; $T_{\text{ст}}$ и $T_{\text{H}_2\text{O}}$ — средняя температура стенки и пара соответственно.

Свободная конвекция находится по уравнению Ньютона — Рихмана [4, 5, 7]:

$$q = \pi D \alpha (t_{\text{ст}} - t_{\text{пара}}),$$

где D — диаметр цилиндра (заготовки); α — коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции при омывании горизонтальной цилиндрической поверхности; $t_{\text{ст}} - t_{\text{пара}}$ — температура стенки цилиндра и пара соответственно.

Указанный регенеративный теплообменник-утилизатор работает по принципу пароперегревателя парового котельного агрегата, позволяет получать в качестве промежуточного теплоносителя перегретый пар, который в дальнейшем нагревает воду для целей теплоснабжения.

Кроме того, указанный теплообменник-утилизатор позволяет частично решать экологические проблемы, как правило, неблагоприятных промышленных районов [8].

Таким образом, наглядно показана целесообразность использования вторичных энергетических ресурсов. Результат проведенного анализа свидетельствует об огромном потенциале неиспользуемых ВЭР в черной металлургии. Поэтому необходимо более внимательно и детально рассматривать вопросы утилизации теплоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колобков П. С., Осипенко В. Д. Использование вторичных энергоресурсов черной металлургии. Киев : Техника, 1979 г. 168 с.
 2. Розенблит Г. И. Энергоэффективность на предприятиях черной металлургии // Деловая слава России. 2006. № 4. С. 13—16.
 3. Яворский Ю. В. Повышение эффективности ТЭЦ-ПВС металлургического комбината при использовании парогазовых установок. М, 2007. 20 с.
 4. Никифоров Б. И., Заславец Г. В. Энергосбережение на металлургических предприятиях: моногр. Магнитогорск : МГТУ, 2000. 283 с.
 5. Смитас В. И., Султангузин И. А. Новый взгляд на решение задач черной металлургии. М. : ЛАГ Инжиниринг, 1990. С. 34—35.
 6. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М. : Энергия, 1977. 343 с.
 7. Основные концептуальные положения энергосбережения на предприятиях черной металлургии / А. А. Злобин, В. Н. Курятов, А. П. Мальцев, Г. А. Романов // Экологические системы. 2005. № 5. С. 3—15.
 8. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности / Н. А. Семененко, Л. И. Куперман, С. А. Романовский, Н. М. Ицкович, Л. Н. Сидельковский, Л. К. Вукович. Киев : Высшая школа, 1979. 296 с.
1. Kolobkov P. S., Osipenko V. D. Ispol'zovanie vtorichnykh energoresursov chernoi metallurgii. Kiev : Tekhnika, 1979 g. 168 s.
 2. Rozenblit G. I. Energoeffektivnost' na predpriyatiyakh chernoi metallurgii // Delovaya slava Rossii. 2006. № 4. S. 13—16.
 3. Yavorskii Yu. V. Povyshenie effektivnosti TETs-PVS metallurgicheskogo kombinata pri ispol'zovanii parogazovykh ustanovok. M, 2007. 20 s.
 4. Nikiforov B. I., Zaslavets G. V. Energoberezhenie na metallurgicheskikh predpriyatiyakh: monogr. Magnitogorsk : MGTU, 2000. 283 s.
 5. Smitas V. I., Sultanguzin I. A. Novyi vzglyad na reshenie zadach chernoi metallurgii. M. : LAG Inzhiniring, 1990. S. 34—35.
 6. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. Osnovy teploperedachi. M. : Energiya, 1977. 343 s.
 7. Osnovnye kontseptual'nye polozheniya energoberezheniya na predpriyatiyakh chernoi metallurgii / A. A. Zlobin, V. N. Kuryatov, A. P. Mal'tsev, G. A. Romanov // Ekologicheskie sistemy. 2005. № 5. S. 3—15.
 8. Vtorichnye energoresursy i energotekhnologicheskoe kombinirovanie v promyshlennosti / N. A. Semenenko, L. I. Kuperman, S. A. Romanovskiy, N. M. Itskovich, L. N. Sidel'kovskiy, L. K. Vukovich. Kiev : Vysshaya shkola, 1979. 296 s.

© Мирам А. О., Белов Ю. В., Белов В. М., 2014

Поступила в редакцию
в ноябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Мирам А. О., Белов Ю. В., Белов В. М. Целесообразность утилизации теплоты от заготовок металла после разливки в целях теплоснабжения // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 4(35). Ст. 20. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

Miram A. O., Belov Yu. V., Belov V. M. [Feasibility of waste heat recovery for the purpose of heat supply from the billet of the metal after casting]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 4(35), paper 20. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>