



In the article there are examined the possible variants of modernization of the operating melting furnaces with the aim of increase of their efficiency, economy and ecological features.

There are presented the joint developments in this direction of UP "Tsentrolit" and department of "MiTLP" named after P.O.Suchoj. There is given the experience of the operating cupolas modernization, implemented at Minsk automobile plant.

Л. Е. РОВИН, ГГТУ имени П. О. СУХОГО,
С. Л. РОВИН, УП «ТЕХНОЛИТ», БНТУ

УДК 621.745

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Большинство литейных цехов Беларуси и стран СНГ нуждается в обновлении, а порой и замене плавильного оборудования. Парк плавильных печей не только изношен, но и в значительной мере морально устарел.

Основные задачи модернизации — повышение качества жидкого металла (точный химический состав и требуемая температура перегрева), снижение удельных энергозатрат и себестоимости в целом, улучшение экологических характеристик плавки.

В чугуноплавильных цехах основным плавильным агрегатом является вагранка. В большинстве развитых стран ее доля, включая дуплекс-процесс, составляет от 60 до 90% общего производства чугуна. Остальной объем производства приходится на электрические индукционные и дуговые печи. Имеется также опыт использования пламенных печей, газовых шахтных печей («газовых вагранок») и др.

Технический прогресс в области плавки позволяет получить высококачественный металл практически из агрегата любого типа. Поэтому выбор определяется в основном экономическими и экологическими параметрами, естественно с учетом технологической адаптации к характеру и условиям производства, надежности, безопасности и т. п.

Улучшения технико-экономических показателей ваграночной плавки можно достичь, используя ряд апробированных решений: раздельное дутье; горячее дутье; дутье, обогащенное кислородом; частичная замена кокса природным газом; дополнительный подогрев жидкого металла в копильнике; комбинированные (из перечисленных выше) методы.

Кроме того, используются технические решения, улучшающие эксплуатационные параметры качества печей: водяное охлаждение корпуса, выносные компрессионные шлакоотделители, устройства грануляции шлака, герметизация и уменьшение завалочного окна, автоматизация контроля и управления процессом ваграночной плавки и т. п.

В таблице приведены опытные и литературные данные, позволяющие сопоставить эффективность основных методов интенсификации плавки в расчете на вагранку производительностью 10 т/ч. Варианты 1–9 отражают следующие методы: 1 — традиционная коксовая вагранка; 2 — то же с раздельным дутьем; 1–3, 8 — холодное дутье; 4–7, 9 — горячее дутье, причем в варианте 7 используют плазменный подогрев; 2, 3, 6, 8 — обогащенное дутье; 8 — дополнительный подогрев жидкого металла; 5, 7, 9 — использование электроэнергии для подогрева дутья; 4, 5, 9 — использование рекуператоров; 1–7 коксовые вагранки; 8–9 безкоксовые вагранки; 3 — коксогозовая вагранка с заменой 30 % кокса.

Экономические показатели нужно рассматривать как относительные, так как они изменяются во времени, а абсолютные величины стоимости материалов и энергии различны в разных странах. Кроме того, здесь не приведены данные по расходу и стоимости шихты.

Наиболее рациональным способом повышения эффективности ваграночной плавки является использование подогрева дутья за счет тепла отходящих газов (рекуперация). С использованием рекуператоров выполнена большая часть современных вагранок. К сожалению, в Беларуси все вагранки работают на холодном дутье с удельным расходом кокса 16–18 % и более на 1 т жидкого чугуна.

Среди применяемых в мировой практике рекуператоров наиболее распространены выносные радиационного, конвективного и комбинированного типов. Вагранка при этом оснащается узлом отбора газов ниже завалочного окна, системой охлаждения и очистки до рекуператора, затем камерой дожигания с использованием природного газа и после этого одно- или двухступенчатой системой подогрева дутья и утилизацией тепла. Термический к.п.д. таких ваграночных копильников достаточно высок и достигает 65–67%, в то время как вагранки холодного дутья имеют к.п.д. в лучшем случае 40–45%.

Технико-экономические характеристики методов интенсификации плавки

Показатель	Вариант процесса по характерным признакам								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Затраты энергоносителей:									
кокс, кг/т	164	134	95	110	102	105	91	—	—
природный газ, м ³ /т	2	2	42	2	2	2	2	53	75
электроэнергия, кВт·ч/т	20	20	22	25	82	25	175	105	30
Затраты материалов:									
кислород, м ³ /т	—	4	4	—	—	6	—	1,5	—
огнеупоры, кг/т	4,3	6,3	6,3	4,3	4,3	7,3	9,3	8	14
керамические огнеупорные материалы, кг/т	—	—	—	—	—	—	—	12,0	12,0
карбид кремния, кг/т	13,7	18,1	18,1	18,1	15,4	13,7	13,7	17,3	17,3
графит, кг/т	—	—	—	—	—	—	—	12,0	12,0
Температура дутья, °С	20	20	20	500	750	500	1450	20	500
Удельные затраты, у.е./т:									
кокс	36	29	21,5	24,5	23	22,5	20,5	—	—
природный газ	0,3	0,3	5,3	0,3	0,3	0,3	0,3	7,0	9,5
электроэнергия	1,8	1,8	1,8	2,2	7,2	2,2	15,3	9,2	1,8
кислород	—	3,8	5,0	—	—	4,3	—	1,4	—
карбид кремния	5,0	6,5	6,5	6,5	5,5	5,0	5,0	6,0	6,0
графит	—	—	—	—	—	—	—	6	6
огнеупоры	2,0	2,8	2,8	2,0	2,0	3,5	5,0	6	11
керамические огнеупорные материалы	—	—	—	—	—	—	—	10	10
Суммарные затраты	45,1	44,2	40,9	35,5	38,0	37,8	46,1	45,6	44,3

Однако строительство таких комплексных установок требует значительных капитальных затрат и применения надежной быстродействующей автоматики. Последняя необходима для предотвращения образования взрывоопасной смеси ваграночных газов с воздухом при нарушениях режима работы систем аспирации газов и загрузки шихты.

Учитывая сложное экономическое положение литейного производства, в настоящее время в Беларуси и странах СНГ представляется наиболее рациональным решение задачи оптимизации ваграночной плавки путем оснащения действующих печей рекуператорами встроенного типа. Такие рекуператоры были разработаны УП «Технолит», БНТУ и кафедрой «Машины и технология литейного производства» ГГТУ им. П.О.Сухого для ряда действующих вагранок производительностью от 5 до 20 т/ч.

В 2003 г. подобный рекуператор впервые внедрен на вагранке производительностью 10–12 т/ч в цехе серого чугуна Минского автозавода (фото 1). Уже первые плавки показали, что он обеспечивает подогрев дутья до 450°С и тем самым позволяет существенно улучшить теплотехнические и металлургические параметры модернизированной вагранки, в том числе снизить расход кокса до 11–13% от металлозавалки, поднять температуру расплава на желобе до 1420–1440°С, повысить маневренность в печи и управляемость плавки и т. д.

Рекуператор представляет собой двухходовой целевой аппарат высотой 12 м, встроенный в корпус вагранки выше завалочного окна. Для того чтобы его разместить в трубе вагранки и одновременно обеспечить дожигание ваграночных газов в рабочей зоне рекуператора (уменьшить подсосы холодного воздуха, улучшить условия работы на калашниковой площадке), была изменена система завалки шихты. Ранее вагранка загружалась шаржирным краном через окно высотой 3,5 м (фото 2). Благодаря специально разработанному опрокидывающемуся лотку с пневмоприводом высота окна была уменьшена до



Фото 1. Выпуск первого металла из модернизированной вагранки в литейном цехе серого чугуна РУП «МАЗ»



Фото 2. Завалочное окно на 20-тонной вагранке в ЛЦСЧ до модернизации печи

0,8 м, а завалочное окно дополнительно перекрыто качающейся шторкой (фото 3). Это позволило полностью ликвидировать выбросы газов и пыли через завалочное окно, что характерно для всех вагранок открытого типа. Оптимальный подсос воздуха, необходимого для горения отходящих газов (СО), обеспечивает

стабильно высокую температуру горения на уровне 1000–1100°C и быстрый выход рекуператора на рабочий режим — через 25–30 мин после включения дутья, температура дутьевого воздуха достигает 350–450°C.



Фото 3. Оборудование завалочного окна на модернизированной вагранке: автоматизированный узел дожигания, опрокидывающийся лоток с пневмоприводом, завалочное окно, перекрытое качающейся шторкой, коллектор отбора горячего дутьевого воздуха от рекуператора

Для разогрева рекуператора при розжиге вагранки или после длительной остановки и для поджигания ваграночных газов в случае погасания установлены два автономных узла дожигания с горелками производительностью по 50 м³/ч. Узлы имеют специальные запальные устройства и форкамеры для стабилизации факела. При выходе вагранки на заданный режим горелки автоматически отключаются. Таким образом, суммарный расход природного газа на модернизированной вагранке меньше, чем при использовавшейся ранее постоянно работающей горелке производительностью 30 м³/ч.

Загрузка шихты может производиться по команде завальщика или вагранщика с пульта управления или автоматически с помощью системы контроля уровня шихты в вагранке. Система такого типа также впервые была установлена на чугуноплавильной печи. Она базируется на приборах контроля давления с несущим начальным противодавлением, что устраняет забивание и перегрев датчиков.

Вагранка оснащена системой КИПиА, обеспечивающей контроль и стабилизацию основных параметров режима плавки (фото 4), в том числе расход и температуру дутья, температуру в вагранке и рекуператоре, уровень шихты в вагранке и т. д. Окупаемость реализованных технических решений, согласно предварительным данным, составит 5–7 мес.

Подобными системами и узлами могут быть оснащены вагранки любой мощности, причем внедряться они могут поагрегатно и изготавливаться собственными силами предприятия или заказываться в УП «Технолит».

Встроенный рекуператор обеспечивает безопасность работы при любых режимах плавки и более высокий уровень дожигания СО. К его достоинствам относится возможность использования как физического, так и химического тепла отходящих газов. Вме-

сте с тем при необходимости и наличии ресурсов такая система может быть дополнена второй ступенью подогрева дутья с помощью выносного конвективного рекуператора. Это позволит повысить температуру дутьевого воздуха до 600–700°C и соответственно сократить дополнительное количество кокса.

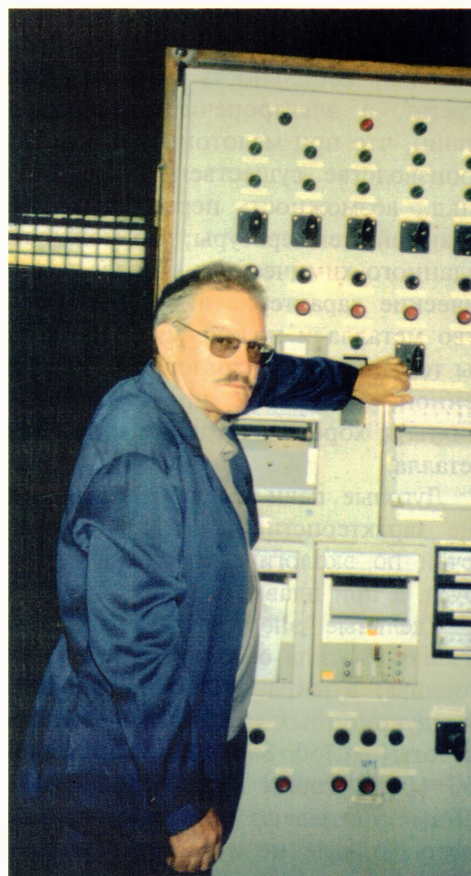


Фото 4. Один из двух щитов автоматизации контроля и управления работой модернизированной вагранки

Проект двухступенчатой рекуперации отходящих газов с системой очистки выбросов был разработан УП «Технолит» для блока вагранок Могилевского металлургического завода в рамках выполнения региональной научно-технической программы «Развитие Могилевской области».

Традиционно предлагаемые системы очистки для вагранок выполняются по двум основным схемам: мокрая с трубами Вентури (ТВ) или дезинтеграторами (ДИ) и сухая с тканевыми фильтрами. Кафедрой МиТЛП ГГТУ им П.О.Сухого и УП «Технолит» разработана и апробирована на практике система очистки, основанная на использовании конденсационного эффекта. Система имеет при той же эффективности удельные энергозатраты в 3–5 раз меньше, чем при ТВ и ДИ, и на порядок меньшую стоимость, чем тканевые фильтры. При работе на вагранке, спроектированной УП «Технолит» с использованием указанной системы очистки (3–5-тонная вагранка ОАО «САНТЭП» г. Гомель), конечные концентрации в отходящих газах составили: по пыли – 0,08–0,10 г/м³, СО – 0,002–0,05 %, SO₂ – 2–15 мг/м³, NO_x – 5–40 мг/м³, что соответствует жестким санитарным требованиям.

При обновлении парка чугуноплавильных агрегатов зачастую возникает вопрос выбора: вагранка или электропечь. В пользу второго варианта с использованием индукционных среднечастотных тигельных печей говорят такие преимущества, как мобильность (вагранка – непрерывный агрегат, а электропечи – периодического действия), что при малотоннажном и мелкосерийном производстве существенно; достаточно высокий к.п.д.; возможность перегрева металла до любой заданной температуры; возможность получения заданного химического состава и хорошие экологические характеристики. Однако высокое качество металла и низкие уровни выбросов возможны только при использовании чистой и подготовленной, например, промытой или подогретой шихты и хорошем входном и выходном контроле металла.

Дуговые печи имеют хорошие металлургические характеристики, но уступают другим типам печей по экологическим параметрам и условиям труда, а при плавке чугуна – по технологичности.

Удельные энергозатраты на плавку в печах различного типа соизмеримы. Так, расход энергии (топлива) в вагранках составляет 800–900 кВт·ч/т, в индукционных тигельных печах промышленной частоты – 750–800 кВт·ч/т, средней частоты – 560–600, дуговых печах – 600–700 кВт·ч/т. Эти данные учитывают не только прямые затраты на нагрев, плавление и перегрев металла (около 400 кВт·ч/т при 1450–1500°C), но и практические данные по дополнительным затратам на доводку, науглероживание и выдержку металла, технологические операции, потери и т. п.

Однако при этом необходимо учитывать стоимость 1 кВт·ч (или 1 кДж) энергии, получаемой от сжигания топлива или преобразования электроэнергии. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии в Беларуси составляет 66,6 руб., то же количество тепловой энергии от сжигания газа – 8,28 руб., кокса – 20,7 руб. В разных странах эти соотношения сильно отличаются, что следует учитывать при использовании и оценке зарубежного опыта. Так, стоимость энергии, полученной от сжигания природного газа из расчета за 1000 кВт·ч, может составлять от 6,9 долл. в США до 28,7 долл. в ФРГ, стоимость электроэнергии в зависимости от времени суток может колебаться от 40 до 100 долл. США за 1000 кВт·ч (в ФРГ).

Печи средней частоты, по данным ежегодного обзора Giesserei (6/2003), имеют по сравнению с печами промышленной частоты меньшие удельные затраты энергии на 3–8 %. По данным того же обзора, стоимость плавки 1 т высокопрочного чугуна в Германии в вагранке примерно на 15 % ниже, чем в среднечастотной электропечи. В расчете учтены затраты на энергию, шихтовые материалы, присадки, заработную плату и прочее за исключением амортизационных отчислений.

В условиях Беларуси и стран СНГ при плавке в электропечах чугуна и стали значительного эффекта по сокращению энергозатрат и себестоимости жидкого металла можно достичь за счет предварительного подогрева шихты до 550–750°C с помощью природного газа или за счет тепла отходящих газов. Последний вариант пригоден только для крупных дуговых печей. Учитывая 8-кратную разницу в стоимости тепловой энергии, подогрев шихты в газовых установках простейшего типа, например в загрузочных корзинах или стендах, позволяет при сокращении расхода электроэнергии на 25–30 % получить экономию от 15 до 30 тыс. руб. на 1 т расплава. Здесь учитывается, что к.п.д. электропечей при подогреве шихты наиболее низкий (~ 30 % и менее), сокращаются время плавки, угар металла, расход электродов и т. п. Кроме того, работа с подогретой шихтой повышает безопасность эксплуатации печей, особенно в осенне-зимний период, а также улучшает экологические параметры электроплавки за счет локализации и очистки вредных выбросов.

Кафедра МиТЛП ГГТУ имени П.О.Сухого и УП «Технолит» имеют определенный опыт по разработке и эксплуатации подобных установок, в частности для индукционных тигельных печей емкостью 30 т и дуговых печей ДС-6.

Использование горелок природного газа для подогрева шихты непосредственно в рабочем пространстве печи менее эффективно, так как продукты горения проникают в слой шихты незначительно, что снижает термический к.п.д. газовой горелки до 10–12 %.

Среди других методов повышения эффективности работы печей можно отметить все более расширяющееся применение кислорода как при ваграночной, так и электроплавке. Обогащение дутья кислородом до 23–25 % позволяет при прочих равных условиях повысить температуру жидкого металла на 30–50°C. Особенно эффективно использование кислорода при необходимости быстрого подъема температуры после остановок вагранки, в начале плавки и т.п.

В электропечах кислород используют для продувки жидкой ванны по аналогии с конвертерным процессом. При плавке стали на высокоуглеродистой шихте этот метод дает существенный рост производительности печи и экономию электроэнергии за счет экзотермических реакций, прежде всего окисления углерода.

При значительной разнице в стоимости энергоносителей перспективным является использование комбинированных источников тепла. приме-

ром такого подхода служат коксо-газовые вагранки. Замена кокса природным газом производится по тепловому эквиваленту. Наибольший эффект, как показала практика, достигается при замене 30–35 % кокса газом с расходом 25–30 м³/т. В этом случае технология плавки и конструкция вагранки мало изменяются (несколько повышается производительность), но это позволяет соответственно снизить себестоимость металла. В то же время замена кокса природным газом приводит к необходимости создания принципиально нового плавильного агрегата.

Во всех случаях реконструкции плавильных печей, интенсификации процесса плавки целесообразно оснащение их системами КИПиА, так как управление режимом плавки, оперативный контроль состава и температуры жидкого металла позволяют обеспечить стабильное ведение процесса, повышение качества металла, а, следовательно, и качества получаемых отливок.