



The investigations of possibility of capacity increase of the blast furnaces for lime burning in case of getting of lime of acceptable quality were carried out.

А. С. ЗАЯН, А. В. ОЛЕНЧЕНКО, С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА ИЗВЕСТИ РУП «БМЗ»

На РУП «БМЗ» начиная с 2003 г. наблюдается устойчивый рост выпуска продукции, потребовавший увеличения производственных мощностей электросталеплавильного производства. При этом с увеличением производства стали растет потребность в основном шлакообразующем и рафинирующем материале для сталеплавильного производства – свежееобожженной извести, расход которой составляет от 40 до 60 кг на 1 т выплавляемой стали. Опережающий рост производительности сталеплавильных агрегатов привел к возникновению дефицита извести. Частичная замена извести необоженными материалами – сырым доломитом и известняком – не решает проблемы, так как увеличение их доли в шихте приводит к снижению технико-экономических показателей работы дуговых сталеплавильных печей.

Целью проведенных в апреле–июне 2007 г. испытаний было исследование возможности повышения производительности шахтных печей для обжига извести при условии получения извести приемлемого качества.

На Белорусском металлургическом заводе свежееобожженную известь получают в прямоточно-противоточных регенеративных (ППР) печах: № 1 – конструкции фирмы «Мерц» и № 2 «Фалек» – конструкции фирмы «Фэст-Альпине». Комплекс прямоточно-противоточной регенеративной шахт-

ной печи включает в себя оборудование для подготовки известняка и транспортировки извести и составляет участок обжига известняка (УОИ).

Основными технологическими особенностями печей данной конструкции являются обжиг извести в прямотоке и высокая степень регенерации физического тепла извести и отходящих печных газов. Данные печи не требуют дополнительных устройств подогрева сырья и воздуха и утилизации тепла отходящих печных газов (теплообменников, подогревателей и т.п.). Поэтому производство извести в печах ППР характеризуется по сравнению с традиционными противоточными шахтными и вращающимися трубчатыми печами обжига известняка более высоким тепловым КПД, низким удельным расходом топлива и электроэнергии и меньшими эксплуатационными затратами. К недостаткам печей данного типа следует отнести повышенные требования к качеству известняка и негибкий режим работы, т.е. невозможность существенно повышать или снижать производительность агрегата в зависимости от потребностей ЭСПЦ из-за резкого ухудшения технологических показателей.

Расчетные технические характеристики прямоточно-противоточных регенеративных печей № 1 и 2, заложенные в проектной документации, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные технические параметры работы УОИ-1,2

Показатель	УОИ-1	УОИ-2
Расход природного газа, м ³ /ч	692–775	375–405
Расход воздуха на горение, м ³ /ч	7958–8912	4875–5625
Давление природного газа, бар	2,8–3,0	2,8–3,0
Расход воздуха на охлаждение извести, м ³ /ч	5570–6238	2725–3200
Давление воздуха на сжигание, мбар	205–290	130–165
Температура в переливном канале, °С	780–800	880–900
Давление в переливном канале, мбар	130–180	50–90
Температура отходящих газов, °С	65–100	90–135
Температура выгружаемой извести, °С	60–145	90–150
Удельный расход природного газа, м ³ /т извести	110–124	100–108
Удельный расход воздуха на горение, м ³ /м ³ природного газа	11–12	13–15
Удельный расход воздуха на охлаждение извести, м ³ /т	891,2–998,08	726,6–853,3
Производительность печи (номин.), т/сут	150	90
Продолжительность цикла, с	650	1200

Заложенный проектной документацией расход тепла на обжиг известняка составляет 860 ккал/кг, или 122,85 кг у.т. на 1 т извести. При средней теплоте сгорания природного газа 8000 ккал/м³ проектный удельный расход природного газа составляет 107,5 м³/т извести.

Эффективность работы ППР печей для обжига известняка зависит от следующих факторов:

- качества известняка (прочности, химического, минералогического и гранулометрического состава);

- оптимального выбора режимных параметров работы печи: расхода газа, давления и расхода воздуха на горение и охлаждение и длительности цикла обжига.

Кроме того, на производительность агрегатов и качество извести влияют такие внешние факторы, как теплопроводная способность топлива, температура и влажность сырья и воздуха.

За время эксплуатации УОИ-1,2 опытным путем подобраны режимы работы, позволяющие получать известь требуемого качества (90–92% CaO+MgO, <5% п.п.п.) при минимальных удельных расходах природного газа. Для УОИ-1 наиболее оптимальный с точки зрения экономичности режим работы достигнут при производительности 150 т/сут с почасовым расходом природного газа ≈600 м³/ч; для УОИ-2 – 90 т/сут с

почасовым расходом ≈375 м³/ч. Проектная и нормативная документация предусматривают возможность работы печи ППР-2 с производительностью 100 и 120 т/сут с расчетным удельным расходом газа соответственно 415–450 и 500–540 м³/ч. Однако до 2007 г. из-за снижения качества извести и увеличения удельного расхода природного газа печь в данных режимах не эксплуатировалась.

Характеристика используемого сырья и топлива

Известняк. Для получения качественной извести используемый известняк должен удовлетворять следующим требованиям: размер основной фракции от 40 до 80 мм, отсутствие посторонних примесей и песчано-глинистых загрязнений на поверхности куска, прочность на сжатие должна быть не менее 60 МПа.

В качестве сырья для производства извести на РУП «БМЗ» используется известняк производства ОАО «Комсомольское рудоуправление». Данный известняк характеризуется высоким (до 55%) содержанием CaO+MgO и низким содержанием примесей (менее 2%). Кроме того, он отличается повышенной механической прочностью, что позволяет избежать потерь, связанных с повышенной долей отсева известняка и извести. Средний химический состав известняка приведен в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав проб известняка ОАО «Комсомольское рудоуправление»

Массовая доля, %							
CaO+MgO	MgO	S	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P
55,5	0,55	0,01	43,1	0,35	0,25	0,1	0,1

За время проведения испытаний по результатам испытаний входного контроля 34 проб поступавших партий известняка средняя массовая доля (CaO+MgO) составила 55,79%. Практически весь поступающий известняк производства ОАО «Комсомольское рудоуправление» соответствует требованиям действующей НД по химическому составу и прочности. К недостаткам поступающего известняка можно отнести повышенную долю фракции размером более 80 мм и наличие кусков пустой породы, периодически выявляемых при отборе проб извести.

Природный газ. Основным параметром, характеризующим качество используемого топлива, является удельная теплотворная способность, являющаяся по НД от 7900 до 8100 ккал/м³. В период проведения испытаний измеренная удельная теплотворная способность в марте составила 7988 ккал/м³, в апреле – 7989 ккал/м³.

Режимы работы УОИ-1,2

Рост производительности печей достигался путем сокращения длительности цикла обжига: на УОИ-1 – с 650 до 610 с, на УОИ-2 – с 1200 до 1030 с (105 т/сут) и 980 с (110 т/сут). При этом для получения извести требуемого качества уве-

личивали расходы природного газа на горелки и воздуха на горение. Эффективность процесса обжига контролировали путем поддержания оптимального температурного режима обжига. При увеличении температуры газов в переливном канале до значений более 900 °С снижали расход природного газа; при повышении температуры выгружаемой извести до значений более 120 °С повышали расход воздуха на охлаждение. Качество извести определяли ежемесячно путем отбора проб извести для визуального контроля и определения химического состава. Основные параметры работы печей в период проведения испытаний приведены в табл. 3, 4.

Средневзвешенный удельный расход природного газа по участку обжига извести в период проведения испытаний при производительности 265 т/сут составил 92,05 м³/т; при производительности 270 т/сут – 92,2 м³/т.

По результатам испытаний было принято решение о целесообразности повышения производительности УОИ-1,2. С июня 2007 г. заданная производительность УОИ-1 составляет 160 т/сут, УОИ-2 – 110 т/сут. Прирост производства извести составил более 10 т/сут (табл. 5), что при норме расхода в 50 кг/т позволяет дополнительно

Таблица 3. Основные параметры работы УОИ-1 в период проведения испытаний

Показатель	Значения*
Производительность печи (номин.), т/сут	160
Расход природного газа, м ³ /ч	685–720 760
Расход воздуха на горение, м ³ /ч	7600–7850 7720
Расход воздуха на охлаждение извести, м ³ /ч	5750–7250 6925
Температура в переливном канале, °С	720–790 760
Давление, мбар	140–170 148
Температура отходящих газов, °С	60–95
Температура выгружаемой извести, °С	70–146
Удельный расход природного газа, м ³ /т извести	87,1 (89,7)
Удельный расход воздуха на горение, м ³ /м ³ природного газа	11,0
Удельный расход воздуха на охлаждение извести, м ³ /т	1087
Продолжительность цикла, с	610

*Примечание: числитель – экстремальные, знаменатель – средние значения; в скобках указан общий по УОИ удельный расход с учетом дополнительной горелки подогрева отходящих газов.

Таблица 4. Основные параметры работы УОИ-2 в период проведения испытаний

Показатель	База	Режим 1*	Режим 2*
Производительность печи (номин.), т/сут	90	105	110
Расход природного газа, м ³ /ч*	340–375	415–465 434	430–475 457
Расход воздуха на горение, м ³ /ч	4500–4800	5600–6400 5900	5800–6500 6100
Расход воздуха на охлаждение извести, м ³ /ч	2300–2700	2100–2700 2350	2300–2700 2520
Температура в переливном канале, °С	805–900	830–900 865	770–910 890
Давление, мбар	70–90	85–140 110	95–135 115
Температура отходящих газов, °С	90–135	90–145	100–140
Температура выгружаемой извести, °С	90–135	90–130	90–140
Удельный расход природного газа, м ³ /т извести	88,9	93,9(95,6)	94,2 (95,8)
Удельный расход воздуха на горение, м ³ /м ³ природного газа	12,8	12,9	13,4
Удельный расход воздуха на охлаждение извести, м ³ /т	922	650	588
Продолжительность цикла, с	1200	1030	980

*Примечание: числитель – экстремальные, знаменатель – средние значения; в скобках указан общий по УОИ удельный расход с учетом дополнительной горелки подогрева отходящих газов.

произвести до 6000 т стали ежемесячно без использования дорогостоящих покупных и необожженных шлакообразующих материалов.

Производство извести

Производство извести в марте–июне текущего года приведено в табл. 5.

Таблица 5. Баланс производства извести УОИ в марте–июне 2007 г.

Период	Расход известняка, т	Производительность, т/ч	Удельный расход природного газа, м ³ /т	Производство извести, т	Расходный коэффициент известняка
Март	15465,58	10,83	88,76	7815	1,979
Апрель	15228,70	11,07	92,09	7695	1,979
Май	15820,67	11,03	91,64	7994	1,978
Июнь	15567,70	11,28	89,55	7879	1,978

Как видно из таблицы, после проведения испытаний фактическая производительность УОИ-1,2 возросла с 10,83 т/ч (259,9 т/сут) в марте до 11,28 т/ч (270,7 т/сут) в июне (на 4%). При этом в ходе испытаний в апреле отмечен

значительный прирост удельного расхода природного газа (на 3,33 м³/т, или 3,75%). В мае–июне при работе печи в стабильном режиме произошло снижение удельного расхода природного газа.

Следует отметить, что рост удельного расхода природного газа (табл. 5) наглядно отражает снижение КПД обжиговой печи. Вместе с тем расчеты показывают, что при использовании известняка в ДСП затраты энергии на его нагрев, разложение и перегрев полученной извести до температуры шлакообразования значительно превышают суммарные затраты энергии на разложение известняка в ППР печи и нагрев извести до температуры шлакообразования в ДСП из-за разницы в тепловом КПД этих агрегатов. Кроме того, на разложение известняка в обжиговой печи затрачивается энергия сгорания первичного топлива – природного газа, цена на который ниже цены электроэнергии. При обжиге известняка на получение 1-й тонны извести теоретически необходимо затратить на диссоциацию 3185 МДж, или

885 кВт·ч энергии. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии составляет около 189 руб.; стоимость 1 кВт·ч энергии, полученной от сжигания природного газа, – менее 28 руб. Следовательно, при использовании известняка взамен извести для выплавки стали в ДСП дополнительные расходы на электроэнергию составляют 161 000 руб. на 1 т извести, что подтверждает экономическую целесообразность повышения производительности обжиговых печей.

Качество извести

Основными показателями качества извести являются суммарное содержание оксида кальция и магния (CaO+MgO) и остаточный процент потерь массы при прокаливании (п.п.п.). В ходе проведения работы отмечено некоторое ухудшение качества извести, производимой на УОИ-2 (табл. 6).

Таблица 6. Средний химический состав проб извести в марте–июне 2007 г.

Период	Массовая доля, %			
	CaO+MgO	MgO	п.п.п.	CaCO ₃
УОИ-1				
Март	92,4	1,2	3,5	8,0
Апрель	91,9	1,1	4,1	9,2
Май	91,9	1,0	3,9	8,9
Июнь	92,0	1,0	3,9	8,9
УОИ-2				
Март	92,1	1,2	3,8	8,6
Апрель	89,2	1,1	4,9	11,1
Май	89,0	1,1	5,1	11,5
Июнь	90,8	1,1	4,5	9,4

Объективно это связано со следующими причинами:

1. С работой печи в переходных режимах и горячими простоями печи. Во время проведения испытаний дважды печь переводилась на режим работы с производительностью 110 т/сут. Кроме того, имел место ряд простоев, связанных с наладкой оборудования и технологических простоев. Для стабилизации работы печи в зависимости от длительности простоя и количества теплотерь требуется от 1 до 3 сут, полный набор тепла футеровкой до достижения теплового равновесия может занять 5 сут и более. В этот период часть тепла расходуется на нагрев футеровки, что ухудшает КПД агрегата и качество производимой извести.

Во время простоев известь для предотвращения уплотнения столба материалов и снижения газопроницаемости должна периодически выгружаться, что дополнительно сокращает время обжига. После каждого простоя принимаются меры для ускоренного разогрева печи и шихты с целью недопущения получения некачественной извести («недопала», т.е. CaCO₃) – путем увеличения расхода природного газа и воздуха на горение. При этом с ростом расхода газа повышаются теплотери через футеровку, с отходящими газами и выгружаемой известью, что понижает КПД печи.

2. С уменьшением длительности пребывания известняка в зоне обжига. Сокращение цикла обжига при постоянных рабочем объеме печи и массе выгружаемой за цикл извести автоматически сокращает время пребывания куска (или слоя) известняка в зоне обжига. При этом возрастает вероятность получения недопала в кусках крупной фракции.

Как видно из таблицы, в извести производства УОИ-2 начиная с апреля 2007 г. по сравнению с мартом 2007 г. снижено на ≈3% содержание CaO+MgO и соответственно увеличено содержание CaCO₃ («недопала»), что связано с проведением испытаний по повышению производительности печи. Вместе с тем после смешения извести на главном конвейере вся поступающая в ЭСПЦ известь соответствовала требованиям ЗТУ840-12-2003 к марке ИС-1 по суммарному содержанию CaO+MgO (не менее 90%).

Выводы

1. В результате проведения работы подобраны режимы работы УОИ-1 с производительностью 160 т/сут, УОИ-2 – 105 и 110 т/сут.

2. При увеличении производительности прямоточно-противоточных регенеративных печей обжига, проводимой путем сокращения времени цикла и увеличения почасового расхода природного газа на обжиг известняка, наблюдается ряд

негативных явлений, понижающих степень регенерации тепла и КПД агрегатов: повышение температуры выгружаемой извести и отходящих газов, рост температуры в шахтах и переливном канале. При длительной работе обжиговой печи в устоявшемся температурном режиме происходит постепенное снижение удельного расхода топлива и улучшение качества обжига.

3. Средневзвешенный удельный расход природного газа по участку обжига извести в период проведения испытаний при производительности 265 т/сут составил 92,05 м³/т; при производительности 270 т/сут — 92,2 м³/т.

4. В ходе проведения испытаний фактическая производительность УОИ-2 возросла с 4,13 т/ч в марте до 4,48 т/ч в апреле (на 8,5%). После проведения испытаний суммарная фактическая производительность УОИ-1,2 увеличилась с 10,83 т/ч (259,9 т/сут) в марте до 11,28 т/ч (270,7 т/сут) в июне (на 4%).

5. Качество извести, полученной в ходе проведения испытаний и после повышения производительности обжиговых печей, соответствовало тре-

бованиям ЗТУ840-12-2003 к марке ИС (1-й сорт). Вся полученная известь использовалась в сталеплавильном производстве, что позволило сократить дефицит извести и дополнительно производить до 6000 т стали ежемесячно.

Литература

1. Котельников Ю.В. Состояние и перспектива развития производства извести // Строительные материалы. 2001. № 5. С. 37–38.
2. Монастырев А.В. Производство извести. М.: Высш. шк., 1978.
3. Казаков Б. С. Современные известково-обжигательные печи на жидком и газообразном топливе. М.: ВНИИЭСМ, 1975.
4. Седнин В.А., Кожевников А.Г., Мельников И.В. Анализ работы печи для обжига извести типа ППР Жлобинского металлургического завода // Наука — образованию, производству, экономике. Материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. В 2-х т. Т.1. С. 77–82.
5. Кожевников А.Г. Вопросы повышения производительности шахтных печей для обжига извести “РУП” БМЗ // Белорусский металлургический завод. Материалы междунар. науч.-техн. конф., посвященной 20-летию Белорусского металлургического завода “Металлургия XXI века”. 2004. С. 51–58.