

А. Л. Чайка, А. Г. Чернятевич, А. А. Сохацкий, А. А. Москалина,
Т. С. Голуб, Л. С. Молчанов

**ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА И
ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НА
ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
«ДОМЕННАЯ ПЕЧЬ – КИСЛОРОДНЫЙ КОНВЕРТЕР»**

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

Целью работы является исследование влияния пылеугольного топлива на энергетические показатели технологической системы производства стали «доменная печь – кислородный конвертер». Выполнен анализ энергоиспользования в технологической системе за лучшие фактические периоды работы доменной печи (ДП) при применении только природного газа, ПУТ и совместного вдувания ПУТ с природным газом. Показано что технология применения ПУТ улучшает технико-экономические показатели и положительно влияет на распределение эксергетических потоков, эксергетические КПД и экологические показатели в системе «доменная печь – кислородный конвертер». Сопоставительный теплоэнергетический и эксергетический анализ фактических периодов применения ПУТ в количестве 135 кг/т чугуна в сравнении с вдуванием только природного газа в количестве 35 м³/т чугуна показал, что вдувание ПУТ приводит к уменьшению расхода кокса на ~25% за счет вдувания ПУТ. Эксергетический анализ прогнозных конвертерных плавков показал, что вдувание ПУТ в ДП приводит к уменьшению суммарной подводимой эксергии на ~7%, а в случае совместного применения ПУТ с природным газом эксергии уменьшаются на ~2%. Анализ эксергетических балансов конвертерной плавки показал, что изменение расхода ПУТ и природного газа в доменном производстве незначительно влияет на изменение эксергетических КПД (до 0,4%). В целом показано, что технология применения ПУТ улучшает технико-экономические показатели и положительно влияет на распределение эксергетических потоков, эксергетические КПД и экологические показатели в системе «доменная печь–кислородный конвертер».

Ключевые слова: доменная печь, кислородный конвертер, природный газ, пылеугольное топливо, эксергия, расход кокса

Введение. Применение пылеугольного топлива (ПУТ) и природного газа отдельно и совместно, в доменном производстве, приводит к изменению показателей тепловой работы доменной печи (ДП) и ее эксергетических показателей, что может сказываться на энергопотреблении при производстве стали в технологической цепи «доменная печь – кислородный конвертер» [1-5].

Целью работы является исследование влияния пылеугольного топлива на энергетические показатели технологической системы производства стали «доменная печь – кислородный конвертер».

Поэтому выполнено составление и расчет тепловых и эксергетических балансов доменной плавки, конвертерной плавки и системы

*«Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»,
Сборник научных трудов ИЧМ. – 2018. - Вып.32*

«доменная печь–кислородный конвертер» за лучшие фактические периоды работы ДП при применении отдельно природного газа, ПУТ и совместного применения ПУТ с природным газом (табл. 1-3, рис. 1).

Изложение основных результатов исследования.

Эксергетический баланс доменной печи. Влияние применения только природного газа (35 м³/т чугуна), ПУТ (135 кг/т чугуна) и совместного вдувания ПУТ с природным газом (100 кг/т и 35 м³/т соответственно) на технико-экономические и эксергетические показатели ДП за ее лучшие фактические периоды работы приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Сопоставительный теплоэнергетический и эксергетический анализ фактических периодов применения ПУТ в количестве 135 кг/т чугуна (период 2 табл. 1) в сравнении с вдуванием только природного газа в количестве 35 м³/т чугуна (период 1 табл. 1) на технико-экономические и эксергетические показатели ДП показал, что вдувание ПУТ приводит к:

- увеличению производительности печи на ~20% за счет увеличения расхода дутья и содержания в нем кислорода;
- уменьшению расхода кокса на ~25% за счет вдувания ПУТ;
- уменьшению расхода условного и суммарного топлива на ~5÷6%;
- уменьшению выхода ВЭР потребителям на ~15%;
- уменьшению финансовых затрат на топливо до 38\$/т чугуна за счет меньшей стоимости ПУТ;
- уменьшению подводимой эксергии на ~10% за счет уменьшения удельного расхода дутья и меньшей химической эксергии ПУТ в сравнении с природным газом;
- уменьшению потерь эксергии на ~35% в том числе за счет меньшей химической эксергии ПУТ (31,5 МДж/кг) в сравнении с природным газом (42 МДж/м³≈53,8 МДж/кг) на ~70%;
- увеличению эксергетических КПД на 4÷5%;
- сохранению показателя экологоемкости на постоянном уровне и улучшению показателей ресурсоемкости (-5%) и коэффициента экологичности (+5%);

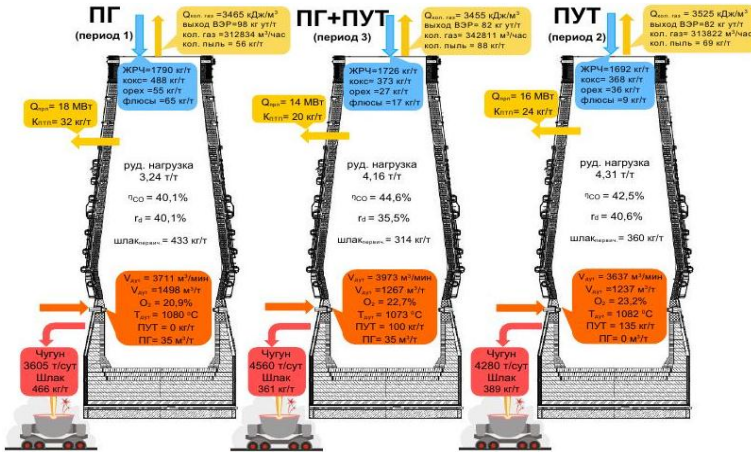
Таблица 1 – Технико-экономические и эксергетические показатели ДП при применении ПУТ и природного газа

Периоды	Размерность	1	2	3
расход ПУТ	кг/т	0	135	100
расход природного газа	м³/т	35	0	35
Технико-экономические показатели:				
производительность печи	т чугуна/сут	3605	4280	4560
расход кокса	кг/т	543	400	404
расход условного топлива	кг/т	583	552	551
расход суммарного топлива	кг/т	571	536	525
выход ВЭР потребителям	кг/т	98	82	82

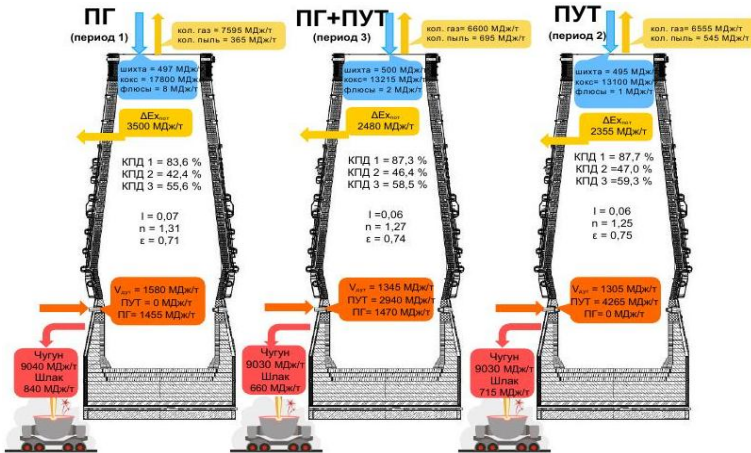
финансовые затраты на топливо	\$/т чугуна	216	178	179	
Параметры чугуна:					
Температура чугуна	⁰ С	1475	1475	1475	
Химический состав чугуна:					
Si	%	0,75	0,71	0,78	
Mn	%	0,17	0,12	0,11	
P	%	0,075	0,060	0,056	
C	%	4,59	4,11	4,36	
S	%	0,016	0,015	0,014	
Параметры шихты:					
доля агломерата/окатышей	%	66/34	65/35	67/33	
содержание Fe в ЖРЧ шихты	%	55,4	56,2	56,8	
Параметры дутья:					
- расход	нм ³ /мин	3710	3640	3975	
- температура	°С	1080	1082	1073	
- содержание кислорода в дутье	%	20,9	23,2	22,7	
Параметры колошникового газа:					
- выход сухого газа	м ³ /т	2090	1765	1810	
- теплота сгорания	кДж/м ³	3465	3525	3455	
- степень использования газа	%	40,1	42,5	44,6	
Выход шлака	кг/т	465	390	360	
Эксергетический баланс:					
Приход эксергии					
термическая* эксергия дутья	МДж/т	1580	1305	1343	
Природный газ	физ	МДж/т	5	0	5
	хим	МДж/т	1450	29	1460
Химические эксергии:					
- кокса;	МДж/т	17800	13102	13215	
- ПУТ;	МДж/т	0	4263	2940	
- железорудных материалов	МДж/т	497	496	501	
- известняка;	МДж/т	8	1	2	
Всего приход эксергии	МДж/т	21340	19195	19465	
Термическая эксергия продуктов плавки:					
чугун	физ	МДж/т	894	894	894
	хим	МДж/т	8148	8134	8138
шлак	физ	МДж/т	621	519	481
	хим	МДж/т	218	197	179
колошниковый газ	физ	МДж/т	510	457	478
	хим	МДж/т	7086	6097	6120
колошниковый пыль	физ	МДж/т	3	4	5
	хим	МДж/т	364	539	691
Всего эксергия продуктов плавки	МДж/т	17845	16840	16985	
Потери эксергии	МДж/т	3495	2355	2480	
Эксергетические КПД:					
термодинамическое совершенство доменного процесса	%	83,6	87,7	87,3	

технологический КПД	%	42,4	47,0	46,4
обобщенный КПД производства чугуна	%	55,6	59,3	58,5
Экологические показатели:				
экологоемкость	доли	0,07	0,06	0,06
ресурсоемкость	доли	1,31	1,25	1,27
коэффициент экологичности	доли	0,71	0,75	0,74

* сумма физической и химической эксергий



а



б

Рисунок 1 – Технико-экономические (а) и эксергетические показатели (б) ДП при применении ПУТ и природного газа

Сопоставительный теплоэнергетический и эксергетический анализ фактических периодов совместного применения ПУТ в количестве 100 кг/т чугуна с природным газом в количестве 35 м³/т чугуна (период 3 табл. 1) в сравнении с вдуванием только ПУТ в количестве 135 кг/т чугуна (период 2 табл. 1) на технико-экономические и эксергетические показатели доменного цеха показал, что вдувание ПУТ приводит к:

- увеличению производительности печи на ~7% за счет увеличения расхода дутья и содержания в нем кислорода;
- уменьшению расхода суммарного топлива на ~2%;
- сохранению выхода ВЭР потребителям;
- увеличению подводимой эксергии на ~1÷2% за счет большей химической эксергии природного газа в сравнении с ПУТ;
- увеличению потерь эксергии на ~5% в том числе за счет большей химической эксергии природного газа в сравнении с ПУТ (≈53,8 МДж/кг и 31,5 МДж/кг соответственно);
- уменьшению эксергетических КПД на ~0,4÷0,9%;
- сохранению экологических показателей на постоянном уровне.

Эксергетический баланс конвертера. Прогнозный эксергетический баланс конвертера емкостью 350 т по фактическим данным работы ДП при отдельном применении природного газа, ПУТ и совместного вдувания ПУТ с природным газом приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Прогнозный эксергетический баланс конвертерного цеха

Периоды работы ДП		Размерность	1	2	3
Расход ПУТ в ДП		кг/т	0	135	100
Расход природного газа в ДП		м ³ /т	35	0	35
Температура чугуна	на выпуске с ДП	°С	1475	1475	1475
	перед заливкой в конвертер	°С	1375	1375	1375
Доля чугуна в конвертере		%	83,5	87,0	84,8
Материальный баланс:					
Удельные расходы материалов (кг /т жидкой стали):					
чугуна		кг/т стали	834	868	847
дома		кг/т стали	246	213	234
плавикового шпата		кг/т стали	3,3	3,3	3,3
известки		кг/т стали	77	74	80
миксерного шлака		кг/т стали	0,8	0,9	0,8
футеровки		кг/т стали	2,7	2,7	2,7
кислорода		м ³ /т стали	51	48	50
Образуется продуктов плавки (кг/т жидкой стали):					
конечного шлака		кг/т стали	121	116	124
отходящих газов		м ³ /т стали	75	75	75
потери железа со шлаком в виде корольков и газами в виде пыли		кг/т стали	41	40	41

Эксергетический баланс:					
Приход эксергии:					
чугун	физ	МДж/т	678	705	688
	хим	МДж/т	6822	6973	6879
миксерный шлак	физ	МДж/т	1	1	1
	хим	МДж/т	0,4	0,5	0,5
кислород	физ	МДж/т	12	11	12
	хим	МДж/т	6	6	6
Химические эксергии:					
лом		МДж/т	1808	1622	1723
известь		МДж/т	128	124	133
плавиковый шпат		МДж/т	3	3	3
футеровка		МДж/т	5	5	5
Всего приход эксергии		МДж/т	9464	9451	9451
Термическая* эксергия продуктов плавки:					
сталь		МДж/т	7785	7789	7793
шлак		МДж/т	255	246	262
отходящие газы		МДж/т	893	893	893
окислы железа пыли		МДж/т	19	19	19
корольки шлака		МДж/т	74	71	75
выносы		МДж/т	86	85	86
Всего эксергия продуктов плавки		МДж/т	9112	9103	9128
Потери эксергии		МДж/т	352	348	323
Эксергетические КПД:					
термодинамическое совершенство конвертерного процесса		%	96,3	96,3	96,6
технологический КПД		%	82,3	82,4	82,5
Экологические показатели:					
экологоемкость		доли	0,16	0,16	0,16
ресурсоемкость		доли	1,22	1,21	1,21
коэффициент экологичности		доли	0,69	0,69	0,69

* сумма физической и химической эксергий

Эксергетический анализ прогнозных конвертерных плавов показал, что в случае применения ПУТ в доменном производстве в сравнении с вдуванием только природного газа:

- уменьшаются потери эксергии на $\sim 1 \div 2\%$;
- сохраняется термодинамическое совершенство конвертерного процесса;
- увеличивается технологический КПД на $\sim 0,1\%$;
- сохраняются на постоянном уровне экологические показатели;

Эксергетический анализ прогнозных конвертерных плавов показал, что в случае применения совместного применения ПУТ с природным газом в доменном производстве в сравнении с вдуванием только ПУТ:

- уменьшаются потери эксергии на $\sim 8\%$;

- увеличивается термодинамическое совершенство конвертерного процесса на ~0,3%;
- увеличивается технологический КПД на ~0,1%;
- сохраняются на постоянном уровне экологические показатели;

С использованием составленных эксергетических балансов по доменной печи и конвертеру выполнен их синтез и составлен эксергетический баланс системы «доменная печь–кислородный конвертер» который приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Эксергетический баланс системы «доменная печь – кислородный конвертер»

Периоды работы ДП		Размерность	1	2	3
расход ПУТ в ДП		кг/т	0	135	100
расход природного газа в ДП		м ³ /т	35	0	35
Температура чугуна	выпуск из ДП	°С	1475	1475	1475
	загрузка в конвертер	°С	1375	1375	1375
Приход термической эксергии*, МДж/т стали:					
дутье		МДж/т	1321	1135	1139
природный газ		МДж/т	1217	25	1244
кокс		МДж/т	14870	11393	11203
ПУТ		МДж/т	0	3707	2492
железорудных материалов		МДж/т	415	431	425
известняк		МДж/т	7	1	2
миксерный шлак		МДж/т	2	2	2
кислород		МДж/т	18	17	18
лом		МДж/т	1808	1622	1723
известь		МДж/т	128	124	133
плавиковый шпат		МДж/т	3	3	3
футеровка		МДж/т	5	5	5
Всего приход эксергии		МДж/т	19795	18465	18387
Термическая эксергия продуктов плавки*, МДж/т стали:					
доменный шлак		МДж/т	701	622	559
доменный газ		МДж/т	6346	5699	5594
пыль в доменном газе		МДж/т	306	472	590
сталь		МДж/т	7785	7789	7793
конвертерный шлак		МДж/т	255	246	262
отходящие газы		МДж/т	893	893	893
окислы железа пыли		МДж/т	19	19	19
корольки шлака		МДж/т	74	71	75
выносы		МДж/т	86	85	86
Всего эксергии продуктов плавки		МДж/т	16465	15895	15870
Потери эксергии		МДж/т	3330	2570	2515
Эксергетические КПД:					
термодинамическое совершенство		%	83,2	86,1	86,3
технологический КПД		%	39,3	42,2	42,4

Экологические показатели**:				
экологоемкость	доли	0,17	0,18	0,19
ресурсоемкость	доли	1,40	1,37	1,37
коэффициент экологичности	доли	0,60	0,60	0,60

* сумма физической и химической эксергий

Сопоставительный эксергетический анализ применения ПУТ в сравнении с вдуванием только природного газа в доменном производстве на эксергетические показатели системы «доменная печь–кислородный конвертер» показал, что вдувание ПУТ приводит к:

- уменьшению подводимой эксергии на ~7%;
- уменьшению потерь эксергии на ~24% (760 МДж/т стали), что эквивалентно уменьшению расхода условного топлива на ~26 кг у.т./т стали;
- увеличению термодинамического совершенства на ~3%;
- увеличению технологического КПД на ~3%;
- увеличению экологоемкости на ~5÷10%;
- уменьшению показателя ресурсоемкости на ~2%;
- сохранению коэффициента экологичности.

Сопоставительный эксергетический анализ применения ПУТ совместно с природным газом в сравнении с вдуванием только ПУТ в доменном производстве на эксергетические показатели системы «доменная печь – кислородный конвертер» показал, что совместное вдувание ПУТ с природным газом приводит к:

- уменьшению подводимой эксергии на ~0,5%;
- уменьшению потерь эксергии на ~2% (55 МДж/т стали), что эквивалентно уменьшению расхода условного топлива на ~2 кг у.т./т стали;
- увеличению термодинамического совершенства и технологического КПД на ~0,2%;
- увеличению экологоемкости на ~5%;
- сохранению показателей ресурсоемкости и коэффициента экологичности на постоянном уровне.

Выводы. Выполнен анализ энергоиспользования в технологической системе «доменная печь – кислородный конвертер» за лучшие фактические периоды ДП при применении в доменном производстве только природного газа, только ПУТ и совместного вдувания ПУТ с природным газом.

Сопоставительный анализ фактических периодов применения только ПУТ в доменном производстве (135 кг/т чугуна) в сравнении с вдуванием только природного газа (35 м³/т) показал, что вдувание ПУТ приводит к:

- увеличению производительности печи на ~20%;
- уменьшению расхода кокса на ~25%;

*«Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»,
Сборник научных трудов ИЧМ. – 2018. - Вып.32*

- уменьшению расхода суммарного и условного топлив на $5\div 6\%$;
- увеличению эксергетических КПД на $4\div 5\%$;
- улучшению показателей ресурсоемкости (-5%) и коэффициента экологичности ($+5\%$), сохранению на постоянном уровне показателя экологоемкости.

Сопоставительный анализ применения ПУТ совместно с природным газом в доменном производстве (100 кг/т и 35 м³/т соответственно) в сравнении с вдуванием только ПУТ в количестве 135 кг/т показал, что совместное вдувание ПУТ с природным газом приводит к:

- увеличению производительности печи на $\sim 7\%$;
- уменьшению расхода суммарного топлива на $\sim 2\%$;
- уменьшению эксергетических КПД на $0,4\div 0,9\%$;
- сохранению экологических показателей на постоянном уровне.

Анализ эксергетических балансов конвертерной плавки показал, что изменение расхода ПУТ и природного газа в доменном производстве незначительно влияет на изменение эксергетических КПД (до 0,4%).

Сопоставительный эксергетический анализ применения ПУТ в сравнении с вдуванием только природного газа в доменном производстве на эксергетические показатели системы «доменная печь – кислородный конвертер» показал, что вдувание ПУТ приводит к:

- уменьшению подводимой эксергии на $\sim 7\%$;
- уменьшению потерь эксергии на $\sim 24\%$ (760 МДж/т стали), что эквивалентно уменьшению расхода условного топлива на ~ 26 кг у.т./т стали;
- увеличению эксергетических КПД на $\sim 3\%$;
- ухудшению показателя экологоемкости ($+5\div 10\%$), улучшению показателя ресурсоемкости ($+2\%$) и сохранению на постоянном уровне коэффициента экологичности.

Сопоставительный эксергетический анализ применения ПУТ совместно с природным газом в сравнении с вдуванием только ПУТ в доменном производстве на эксергетические показатели системы «доменная печь – кислородный конвертер» показал, что совместное вдувание ПУТ с природным газом приводит к:

- уменьшению подводимой эксергии на $\sim 0\div 1\%$;
- уменьшению потерь эксергии на $\sim 2\%$ (55 МДж/т стали), что эквивалентно уменьшению расхода условного топлива на ~ 2 кг у.т./т стали;
- незначительному увеличению эксергетических КПД на $\sim 0,2\%$;
- ухудшению показателя экологоемкости ($+5\%$), сохранению показателей ресурсоемкости и коэффициента экологичности на постоянном уровне.

Библиографический список

1. *Большаков В.И.* Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива в доменном производстве Украины / Большаков В.И., Чайка А.Л., Лебедь В.В., Сохацкий А.А. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2015. – № 2. – С. 6-11.
2. *Исследование* влияния химического состава пылеугольного топлива на тепловые и эксергетические показатели доменной плавки / А.Л. Чайка, А.А. Сохацкий, А.А. Москалина, Б.В. Корнилов, К.С. Цюпа, В.Ю. Шостак // *Экология и промышленность.* – 2017. – № 3-4. – С. 76-84.
3. *Полный* энергетический баланс доменной плавки с применением ПУТ в условиях Украины / А.Л. Чайка, А.А. Сохацкий, А.А. Москалина, Б.В. Корнилов, В.Ю. Шостак, К.С. Цюпа, Р.В. Авдеев // *Теория и практика металлургии.* – 2017. – № 3-4. – С. 5-9.
4. *Домна* в энергетическом измерении / Бородулин А.В., Горбунов А.Д., Романенко В.И., Суцев С.П. – Днепродзержинск: ДГДУ, 2006. – 542 с.
5. *Exergy analysis of charcoal charging operation of blast furnace* / H. Nogami, J. Yagi, R.S. Sampaio // *ISIJ International*, Vol. 44 (2004), № 10, PP. 1646-1652.

Reference

1. *Bol'shakov V.I.* Opyt i perspektivy primeneniya pyleugol'nogo topliva v domennom proizvodstve Ukrainy / Bol'shakov V.I., Chayka A.L., Lebed' V.V., Sokhatskiy A.A. // *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'.* – 2015. – № 2. – С. 6-11.
2. *Issledovaniye vliyaniya khimicheskogo sostava pyleugol'nogo topliva na teplovyye i eksergeticheskiye pokazateli domennoy plavki* / A.L. Chayka, A.A. Sokhatskiy, A.A. Moskalina, B.V. Kornilov, K.S. Tsyupa, V.YU. Shostak // *Ekologiya i promyshlennost'.* – 2017. – № 3-4. – С. 76-84.
3. *Polnyy energeticheskiy balans domennoy plavki s primeneniym PUT v usloviyakh Ukrainy* / A.L. Chayka, A.A. Sokhatskiy, A.A. Moskalina, B.V. Kornilov, V.YU. Shostak, K.S. Tsyupa, R.V. Avdeyev // *Teoriya i praktika metallurgii.* – 2017. – № 3-4. – С. 5-9.
4. *Domna v energeticheskom izmerenii* / Borodulin A.V., Gorbunov A.D., Romanenko V.I., Sushchev S.P. – Dneprodzerzhinsk: DGDU, 2006. – 542 s.
5. *Exergy analysis of charcoal charging operation of blast furnace* / H. Nogami, J. Yagi, R.S. Sampaio // *ISIJ International*, Vol. 44 (2004), № 10, PP. 1646-1652.

О. Л. Чайка, А. Г. Чернятевич, О. А. Сохацкий, А. О. Москалина, Т. С. Голуб, Л. С. Молчанов

Вплив застосування пиловугільного палива та природного газу в доменному виробництві на ексергетичні показники технологічної системи «домenna піч – кисневий конвертер»

Метою роботи є дослідження впливу пиловугільного палива (ПВП) на енергетичні показники технологічної системи виробництва стали «домenna піч-кисневий конвертер». Виконано аналіз енерговикористання в технологічній системі за кращі фактичні періоди роботи доменної печі (ДП) при застосуванні тільки природного газу, ПВП і спільного вдування ПВП з природним газом. Показано що технологія застосування ПВП покращує техніко-економічні показники і позитивно впливає на розподіл ексергетичної потоків, ексергетичної

ККД і екологічні показники в системі «доменна піч-кисневий конвертер». Порівняльний теплоенергетичний і ексергетичний аналіз фактичних періодів застосування ПВП в кількості 135 кг / т чавуну в порівнянні з вдуванням тільки природного газу в кількості 35 м³ / т чавуну показав, що вдування ПВП призводить до зменшення витрат коксу на ~ 25%. Ексергетичний аналіз прогнозних конвертерних плавок показав, що вдування ПВП в ДП призводить до зменшення сумарної ексергії на ~7%, а в разі спільного застосування ПВП та природного газу втрати ексергії зменшуються на ~ 2%. Аналіз ексергетичної балансів конвертерної плавки показав, що зміна витрати ПВП і природного газу в доменному виробництві незначним чином впливає на зміну ексергетичного ККД (до 0,4%). В цілому показано, що технологія застосування ПВП покращує техніко-економічні показники і позитивно впливає на розподіл ексергетичної потоків, ексергетичного ККД і екологічні показники в системі «доменна піч-кисневий конвертер».

Ключові слова: доменна піч, кисневий конвертер, природний газ, пилувугільне паливо, ексергія, витрати коксу

A.L. Chaika, A.G. Cherniatevych, A.A. Sokhatsky, A.A. Moskalina, T.S. Golub, L.S. Molchanov

Influence of the application of pulverized coal and natural gas in blast furnace on exergy indicators of technological system «blast furnace-oxygen converter»

The aim of the work is to study the effect of pulverized coal (PCI) on the energy indicators of the technological system of steel production «blast furnace-oxygen converter». The analysis of energy use in the technological system for the best actual periods of operation of the blast furnace (BF) using only natural gas, pulverized coal and co-injection of pulverized coal with natural gas is performed. It is shown that the technology of using PCI improves technical and economic indicators and has a positive effect on the distribution of exergic flows, exergic efficiency and environmental indicators in the system «blast furnace-oxygen converter». Comparative heat and energy and exergy analysis of actual pulverized coal consumption in the amount of 135 kg/t of pig iron compared to blowing only natural gas in the amount of 35 m³/t of pig iron showed that pulverized coal leads to a decrease in coke consumption by ~ 25% due to pulverized coal. An exergetic analysis of the predicted converter heats showed that the injection of pulverized coal to the pulpwood leads to a decrease in the total exergy supplied by ~7%, and in the case of co-application of pulverized coal with natural gas, the exergy decreases by ~ 2%. Analysis of the exergy balance of converter melting showed that a change in the consumption of pulverized coal and natural gas in the blast furnace production slightly affects the change in the exergic efficiency (up to 0.4%). In general, it is shown that the technology of using PCI improves technical and economic indicators and positively affects the distribution of exergic flows, exergic efficiency and environmental indicators in the blast furnace – oxygen converter system.

Keywords: blast furnace, oxygen converter, natural gas, pulverized coal , exergy, coke consumption

Статья поступила в редакцию сборника 02.11.2018 года, прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания редакционной коллегии сборника №1 от 26 декабря 2018 года) Рецензенты: д.т.н., проф. А.О.Еремин; к.т.н. А.Е.Меркулов «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», Сборник научных трудов ИЧМ. – 2018. - Вып.32