

УДК 669.18

Женин Е.В., Шаповалов А.Н.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИДКОГО ЧУГУНА ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ

Аннотация. Выполнен анализ условий и показателей работы гибкой модульной печи (ГМП) в различных режимах работы. Показано влияние доли жидкого чугуна в составе металлошихты на показатели выплавки стали в ГМП. Установлены причины, ограничивающие эффективность использования жидкого чугуна при выплавке стали: значительные колебания химического состава и температуры заливаемого чугуна; отсутствие достоверной информации о массе залитого чугуна. Результатом является невозможность проведения корректных балансовых расчетов, что осложняет ведение плавки и приводит к перерасходу кислорода, и получению переокисленного стального полупродукта. Сформулированы первоочередные мероприятия по повышению эффективности выплавки стали в результате стабилизации температуры и химического состава жидкого чугуна.

Ключевые слова: гибкая модульная печь, жидкий чугун, длительность плавки, расход кислорода, температура чугуна, однородность химического состава.

Введение

Одним из направлений повышения эффективности сталеплавильного производства является увеличение доли жидкого чугуна в составе металлошихты, что подтверждается тенденциями развития электросталеплавильного производства [1, 2]. При этом эффективность применения чугуна определяется как параметрами самого чугуна, так и конструктивными и технологическими особенностями сталеплавильного агрегата. С точки зрения вариативности доли чугуна в металлошихте, наиболее универсальным сталеплавильным агрегатом является гибкая модульная печь (ГМП) от компании «Тепова». Конструктивные особенности позволяют ГМП работать как в режиме дуговой печи с минимальным расходом чугуна, так и в режиме кислородного конвертера (с нулевым расходом электроэнергии) с использованием жидкого чугуна с расходом не менее 80 %. Такие возможности позволяют оптимизировать издержки производства в зависимости от конъюнктуры рынка чугуна и лома, добиваясь повышения эффективности производства. С 2019 года ГМП успешно эксплуатируются в электросталеплавильном цехе (ЭСЦ) одного из комбинатов Южного Урала [3].

Усредненные показатели работы ГМП в различных режимах работы представлены в табл. 1.

Разнообразие условий проведения плавки стали (см. табл. 1) позволяет исследовать влияние доли жидкого чугуна в широком диапазоне значений.

Анализ производственных данных и их обсуждение

За исследованный период (2019 год) при работе ГМП в режиме ДСП расход жидкого чугуна в среднем составлял 48,6%, изменяясь в широком диапазоне от 19,8 до 78,9%. При работе ГМП с нулевым электропотреблением (режим конвертера) доля жидкого чугуна в металлошихте превышала 90% при минимальном расходе в 84,1%.

Статистический анализ производственных данных за 2019 год позволил установить, что с увеличением расхода жидкого чугуна, несмотря на значительное поступление тепла в печь, продолжительность плавки в режиме ДСП достигает минимума (рис. 1) при расходе чугуна 60 т/плавку, а при работе в режиме кислородного конвертера наблюдается устойчивое увеличение продолжительности плавки (рис. 2), что, очевидно, связано с увеличением длительности окислительного рафинирования при ограниченной мощности кислородных фурм.

Таблица 1

Усредненные показатели работы ГМП

Показатели		Режим ДСП		Режим конвертера	
		диапазон	среднее	диапазон	среднее
Длительность плавки, мин	всего	40–70	55	30–70	56
	под током	11–37	26	0	0
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т		102–314	214	0	0
Расход металлошихты на плавку, т		91,8–160,0	129,3	80,7–168,0	128,3
Доля чугуна, %		19,8–78,9	48,6	84,1–99,3	90,5
Содержание кремния в чугуне, %		0,34–1,25	0,71	0,41–1,16	0,66
Расход кислорода на плавку, м ³		4603–9901	6619	4120–10550	7168,7
Содержание углерода в стальном полупродукте, %		0,02–0,13	0,05	0,02–0,14	0,05

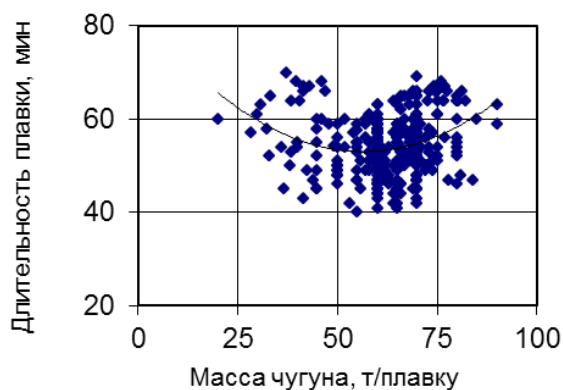


Рис. 1. Влияние расхода жидкого чугуна на продолжительность плавки стали в режиме ДСП

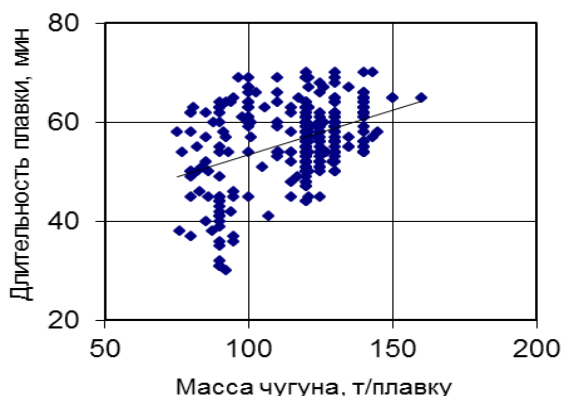


Рис. 2. Влияние расхода жидкого чугуна на продолжительность плавки стали в режиме конвертера

Дополнительным фактором, способствующим увеличению длительности плавки при повышенной доле чугуна в составе металлошихты является сопутствующий рост расхода флюсов, вызванный повышенным содержанием кремния в чугуне.

Очевидно, что с ростом расхода чугуна на плавку увеличивается количество окисляющихся примесей [4-6]. Однако анализ производственных данных свидетельствует об отсутствии статистически значимой взаимосвязи между расходами жидкого чугуна и кислорода на плавку стали как в режиме ДСП, так и в режиме кислородного конвертера (рис. 3 и 4). Одной из причин является нестабильность химического состава чугуна (см. табл. 1), который поступает в ЭСПЦ без усреднения. Другой причиной является неудовлетворительное состояние чугуновозных ковшей (наличие донных «козлов» и частичное зарастание горловины), не обеспечивающее полный слив чугуна. Последнее ведет к значительным колебаниям расхода металлошихты на плавку. Кроме того, вследствие несовершенства логистических схем транспортировки чугуна и значительных простоев ковшей, наблюдаются значительные колебания температуры заливаемого чугуна [7], что отражается на тепловых условиях плавки [8] и подтверждается широким диапазоном расхода электроэнергии на плавку.

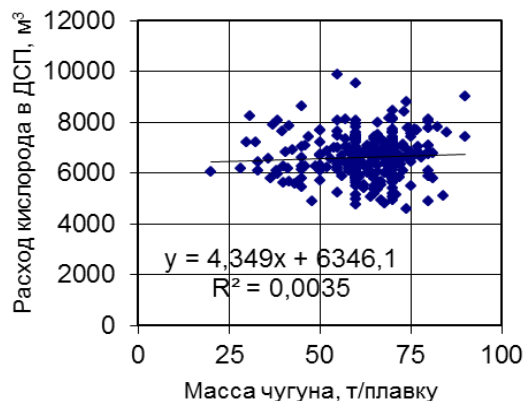


Рис. 3. Взаимосвязь расходов жидкого чугуна и кислорода на плавку стали в режиме ДСП

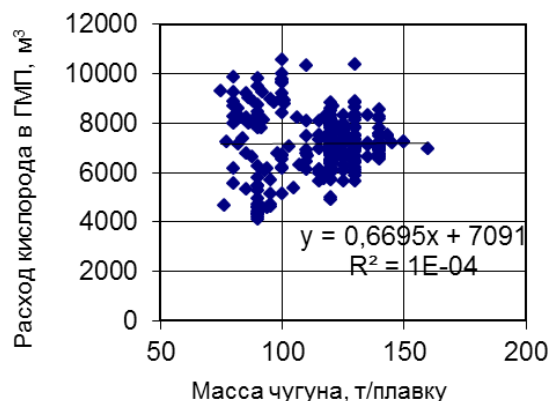


Рис. 4. Взаимосвязь расходов жидкого чугуна и кислорода на плавку стали в режиме конвертера

В условиях значительных колебаний химического состава чугуна и отсутствия достоверной информации о массе залитого чугуна технологический персонал ведет продувку с перерасходом кислорода до остаточного содержания углерода в стальном полупродукте 0,05 %. Такая технология гарантированно обеспечивает требуемый уровень дефосфорации металла, однако требует дополнительного перегрева металла, а также проведение его науглероживания. Кроме того, побочным результатом перерасхода кислорода на плавку является переокисление металла, следствием чего является увеличение расхода раскислителей и повышение загрязненности стали неметаллическими включениями [9]. Также следует учитывать, что получение низкоуглеродистого полупродукта не только требует дополнительного перегрева металла, но и сопровождается формированием шлака с повышенной окисленностью, что в совокупности приводит к снижению стойкости футеровки печи [10-12].

Таким образом, проведенный анализ производственных данных о работе ГМП с повышенной долей жидкого чугуна показал, что эффективность его применения сдерживается рядом обстоятельств:

- нестабильный химический состав чугуна, поступающего в ЭСПЦ в чугуновозных ковшах без усреднения;

– нестабильная температура чугуна вследствие несовершенства логистических схем транспортировки чугуна и значительных простоев чугуновозных ковшей в ЭСПЦ;

– отсутствие точной информации о массе чугуна в чугуновозных ковшах вследствие значительных колебаний массы порожнего ковша из-за наличия донных «козлов»;

– отсутствие точной информации о массе залитого в ГМП чугуна вследствие частичного зарастания горловины, не обеспечивающего полный слив чугуна.

Решение указанных проблем и, соответственно, повышения эффективности использования жидкого чугуна обеспечивается при наличии в ЭСПЦ миксера для промежуточного хранения и усреднения чугуна. Оценочные данные по эффективности установки миксера в ЭСПЦ приведены в табл. 2.

Таким образом, оснащение ЭСПЦ миксером для хранения чугуна обеспечит стабильность и повысит управляемость работы ГМП, а также улучшит условия эксплуатации чугуновозных ковшей, сократит количество их капитальных ремонтов и потери чугуна в виде скрапа. Подача в ГМП чугуна известной температуры и состава обеспечит стабильные условия плавки, а также позволит завершать продувку при требуемом остаточном содержании углерода, исключая «передувы» и связанные с этим негативные последствия. В результате повышения температуры заливаемого чугуна улучшится тепловой баланс плавки как в режиме дуговой печи, так и в режиме кислородного конвертера с нулевым расходом электроэнергии.

Список литературы

1. Шишимиров М.В., Сосонкин О.М. Ресурсосбережение и резервы повышения эффективности выплавки стали в ДСП // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. 2015. Т.15. № 3. С.70-79.
2. Сериков В.А. Современное состояние и пути развития сверхмощных дуговых сталеплавильных электропечей // Главный энергетик. 2017. № 3. С. 21-30.
3. Егорова А.Н. Выплавка стали в гибкой модульной печи // Наука и производство Урала. 2020. №16. С.27-29.
4. Совершенствование технологии выплавки стали в ДСП ЭСПЦ ОАО «ММК» / Сарычев А.В., Бигеев В.А., Ивин Ю.А., Алексеев Л.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 71-73.
5. Особенности работы дуговых сталеплавильных печей с применением жидкого чугуна (ОАО «ММК») / Ю.А. Ивин, А.Б. Великий, Н.В. Саранчук и др. // Сталь. 2008. № 7. С. 49-50.
6. Алексеев Л.В., Столяров А.М. Особенности выплавки полупродукта в сверхмощной дуговой сталеплавильной печи с различным расходом жидкого чугуна // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 4 (24). С. 69-72.
7. Данильченко Е.Ю., Шаповалов А.Н. Оценка динамики тепловых потерь при транспортировке жидкого чугуна // Наука и производство Урала. 2015. №11. С.47-50.
8. Сергеев Д.Ю., Колесников Ю.А. Структура теплового баланса кислородно-конвертерной плавки при различной доле чугуна в металлошихте // Теория и технология металлургического производства. 2017. №2(21). С. 4-6.
9. Шаповалов А.Н., Шевченко Е.А., Басков С.Н. Совершенствование технологии предварительного раскисления стали в условиях АО «Уральская Сталь» // Черные металлы, 2019. №8(1052). С.10-16.
10. Шевченко Е.А., Шаповалов А.Н., Братковский Е.В. Повышение стойкости футеровки дуговых сталеплавильных печей путем совершенствования шлакового режима с применением магнийсодержащих материалов // Черные металлы, 2018. №9(1041). С.16–21.
11. Влияние технологических параметров плавки на стойкость футеровки дуговой сталеплавильной печи в условиях АО «Уральская Сталь» / Шевченко Е.А., Шаповалов А.Н., Дёма Р.Р., Колодин А.В. // Новые огнеупоры. 2019. №7. С.3-7.
12. О влиянии способов интенсификации электроплавки на стойкость футеровки ДСП-135 ОАО «Северский трубный завод» / М.В. Зуев, О.Ю. Шешуков, А.И. Степанов и др.//Сталь. 2011. № 7. С. 46-48.

Таблица 2

Показатели оценки эффективности

Показатели	До внедрения миксерного отделения	После внедрения миксерного отделения
Простои ГМП по подаче чугуна	Имеет риски	Отсутствуют
Простои чугуновозных ковшей в ЭСПЦ, ч	До 4,5	Отсутствуют
Однородность химического состава чугуна	Низкая	Высокая
Температура заливаемого чугуна, °С	1250–1320	Не менее 1350
Образование скрапа в чугуновозном ковше, кг/т чугуна	Более 15	До 7,5
Количество капитальных ремонтов чугуновозных ковшей, шт./год	13	6
Снижение расхода электрической энергии при выплавке стали в режиме ГМП, кВт·ч/т	–	5-10

Сведения об авторах

Женин Евгений Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий и оборудования, Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк, Россия. E-mail: evzhenin@mail.ru.

Шаповалов Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлургических технологий и оборудования, Новотроицкий филиал НИТУ МИСиС, г. Новотроицк, Россия. E-mail: alshapo@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF LIQUID PIG IRON IN STEEL MELTING

Zhenin Evgeniy V. – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Metallurgical Technologies and Equipment Department, Novotroitsk branch of the National Research Technological University «MISiS», Novotroitsk, Russia. E-mail: evzhenin@mail.ru.

Shapovalov Alexey N. – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Head of Metallurgical Technologies and Equipment Department, Novotroitsk branch of the National Research Technological University «MISiS», Novotroitsk, Russia. E-mail: alshapo@yandex.ru.

Annotation. The analysis of the conditions and performance indicators of the flexible modular furnace (FMF) is carried out. The effect of liquid pig iron consumption on the indicators of steelmaking in the FMF is shown. The problems in the effective use of liquid pig iron in steelmaking have been established. One of the main problems is the unstable composition and temperature of pig iron due to the lack of homogenizing equipment and the different duration of storage of pig iron in ladles. Another problem is that the pig iron is not completely drained from the ladle due to the overgrowth of the neck, which makes it difficult to make steel due to the lack of accurate information about the mass of pig iron. A set of measures has been developed to improve the efficiency of steel smelting as a result of stabilization of the temperature and chemical composition of liquid iron.

Key words: flexible modular furnace, liquid iron, melting time, oxygen consumption, iron temperature, chemical composition homogeneity.

Ссылка на статью:

Женин Е.В., Шаповалов А.Н. Повышение эффективности использования жидкого чугуна при выплавке стали // Теория и технология металлургического производства. 2022. №4(43). С. 27-30.
Zhenin E.V., Shapovalov A.N. Increasing the efficiency of the use of liquid pig iron in steel melting. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2022, vol. 43, no. 4, pp. 27-30.