

його з твердого стану в рідкий. Це дає можливість регулювати час переходу з рідкого стану в твердий, тобто підтримувати існування агрегатного стану матеріалу.

Висновки. Обробка розплаву струмом у багато разів підвищує швидкість розчинення металевих домішок і інших компонентів в розплаві, що є центрами кристалізації, що забезпечує не лише дрібнокристалічну структуру, але і підвищує гомогенність металу відливання.

Тимчасовий опір розриву підвищився на 10-20 %. Підвищення механічних властивостей є наслідком подрібнення тих, що становлять мікроструктури.

Обробка електричним струмом чинить сприятливий вплив на процес кристалізації розплавів металів при литві, що істотно покращує структуру зливка і його механічні властивості.

Список літератури

1. **Зимокос Г. Н., Адаменко Л.А., Іванова Л.Х.** Вплив хімічного складу на властивості високомарганцевої сталі у відливаннях бронєю конусних дробарок. «Металургія і гірничорудна промисловість» Москва 2011
2. **Кіщенко О. М., Ткач В. В., Орел Т. В.** Поліпшення якості відливань електричним струмом в процесі кристалізації. Збірка конференцій ПІТ Кривий Ріг 2010.- Вип.10.-С. 25
3. **Кіщенко О.М., Ткач В. В.** «Behandlung von flüssigem Metall elektrischen Strom» Вісник ДВНЗ «Національний гірський інститут» Дніпропетровськ 2012 р
4. **Башмакова Н.В.** Особливості кристалізації алюмінієвих сплавів, виплавлених на основі вторинних шихтових матеріалів// V регіональна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих учених. Доповіді аспірантів і молодих учених. - Новокузнецьк, 2005. С. 28-50

Рукопис подано до редакції 24.02.13

УДК 662.749:067.5

В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф.,

В.П. СОКОЛОВА, И.А. ЛЯХОВА, Д.А. КАССИМ, кандидаты техн. наук, доц.,

Е.О. ШМЕЛЬЦЕР, ст. преподаватель, КМИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

О РАЦИОНАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ДРОБЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШИХТ ДЛЯ КОКСОВАНИЯ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖИРНЫХ УГЛЕЙ

Промышленными испытаниями показана необходимость повышения степени дробления угольных шихт с содержанием жирных углей более 70 % для увеличения прочности кокса. Однако более рационально не допускать высокого содержания жирных углей в шихте и их переизмельчения, частично заменяя жирные угли оптимальным количеством газовых углей для обеспечения качества кокса для современной доменной плавки на уровне как минимум $M_{25} = 90\%$, $M_{10} = 6\%$.

Проблема и ее связь с практическими задачами. В работах [1-8] неоднократно анализировались причины снижения качества кокса КХП ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» (АМКР). К ним относятся: большое число поставщиков угольных концентратов; высокая нестабильность угольной базы коксования (количество перешихтовок в отдельные месяцы доходило до 60-80); неточности в выборе оптимальной степени дробления угольной шихты (содержания класса 0-3 мм), из-за чего насыпная масса шихты и содержание «отощающего» класса -0,5 мм в шихте не соответствовали оптимальным значениям при изменяющемся марочном составе шихты; низкая степень смешивания шихты после дробилок, а по некоторым показателям, например, содержанию «отощающего» класса -0,5 мм, очень низкая; повышенная влажность и зольность шихты, идущей на коксование; высокая колеблемость показателей качества углей и шихт и др.

К числу недостаточно исследованных относится проблема выбора оптимальной степени дробления угольной шихты с очень высоким содержанием жирных углей. В шихтах КХП АМКР, идущих на коксование, например, в 2011 г. в соответствии с петрографическим анализом, содержание угля марки Ж изменялось в диапазоне от 56 до 89 %.

Анализ исследований и публикаций Анализ информационных источников с высокой степенью объективности показывает, что в большинстве публикаций указывается нецелесообразность очень тонкого дробления жирных углей [9-14 и др.]. Так в работе [9] отмечается, что при значительном участии в шихтах жирных углей целесообразно дробить только крупный

концентрат при общем уровне помола 75-80 %. Для получения кокса оптимального качества необходимо угли марок Ж и К измельчать до 75 %, а угли марок Г и ОС - до 80 и 85 % содержания класса 0-3 мм [10]. На Криворожском КХЗ газовые угли и бинарную смесь (Г+Ж) измельчали до содержания класса 0-3 мм не ниже 80 %; бинарную смесь (ОС+Г) - не ниже 90 %, а угли марок Ж и К, при содержании в них класса 0-3 мм 76-77 %, вводили в шихту без дробления [11]. В последующем на Криворожском КХЗ в результате исследований измельчения шихты в диапазоне от 65 до 95 % содержания класса 0-3 мм было принято при базовой степени дробления шихты 75 % газовые угли измельчать до 75-76 %, отошающие – до 90-92 %, а угли марок Ж и К - до 60-70 % содержания класса 0-3 мм [12]. Авторы работы [13] считают, что нельзя переизмельчать хорошо спекающиеся угли вследствие снижения при нагревании выхода жидких термоустойчивых продуктов, спекающих остальные компоненты шихты. Изучая глубину взаимного проникновения продуктов термической деструкции разных углей, авторы работы [14] установили, что степень перемещения этих продуктов жирного угля, наиболее полно переходящего в жидкоподвижное пластическое состояние, во всех случаях резко снижается с уменьшением размера зерен. Именно поэтому и проявляется отрицательное влияние тонкого дробления жирного угля на качество кокса.

Необходимо заметить, что выше изложенное справедливо для типовых шихт, рекомендованных в качестве исходного сырья для производства доменного кокса удовлетворительного качества. В среднем, типовые шихты из углей различных бассейнов в своем составе имеют не более 30-55 % жирных углей, 35-20 газовых (соответственно, Донецкий и Карагандинский бассейны) [15].

Среди исследований, отражающих противоположное мнение, заслуживает внимания работа [16], авторы которой отмечают, что поскольку процесс коксования основан на взаимодействии разных по свойствам частиц угля, то при подготовке каждого из компонентов должны быть учтены свойства всех других компонентов и доля их в смеси. Если, например, очень тонко измельчать отощенный уголь, то его спекаемость может еще более понизиться вследствие эффекта “самоотощения” и, что не менее важно, его удельная поверхность может увеличиться до такой степени, что даже из его смеси с хорошо спекающимися углем удовлетворительный кокс не получится. Поэтому оптимальное, “сбалансированное” дробление должно быть таким, чтобы обеспечивались необходимые контакты между зёрнами, не снижая при этом спекаемость компонентов (не допускать “самоотощения”). Исходя из этого, авторы работы [16] считают, что относительно более тонкое измельчение жирных углей (в особенности умеренных по спекаемости или отощенных шихт) может обеспечить улучшение спекания смесей и повышение прочности кокса, т.е. дополнительное измельчение жирного угля не приведет к потере спекаемости и увеличит площадь контактов наиболее ценного компонента смеси с частицами угля других компонентов, что обеспечит большую прочность спекания. Спекания в лабораторной 2-кг печи, выполненные авторами работы [16], показали, что при содержании в шихте 60 % жирных углей и их более тонком дроблении до подачи в шихту можно получать кокс с более высокими показателями прочности.

Известно, что при избыточном содержании жирных углей в шихте появляется трещиноватость в коксе, и куски его становятся мелкими. Основное свойство жирных углей - принимать значительное количество отошающих присадок. Если отошающие компоненты в шихте присутствуют в недостаточном количестве, то при избытке жирных углей для предотвращения избыточной спекаемости, приводящей к снижению коксующести, необходимо прибегать к вынужденному самоотощению шихты путем ее переизмельчения.

Постановка задачи. Как уже было показано в шихтах КХП АМКР, идущих на коксование, содержание угля марки Ж доходило даже до 89 %. Дробление шихт в углеподготовительном цехе (УПЦ) КХП осуществляется по схеме ДШ, т.е. дробить отдельно даже часть угля марки Ж для его “самоотощения” до подачи его в шихту нет никакой возможности. В связи с тем, что в 2011 году степень дробления шихты в УПЦ КХП изменялась от 76 до 89 %, а содержание угля марки Ж от 56 до 89 %, представилась возможность выполнить анализ влияния этих двух факторов на качество кокса.

Изложение результатов исследований. На рис. 1 приведена зависимость показателя прочности кокса M_{25} от содержания в шихте КХП углей марки Ж в диапазоне от 56 до 89 % (по результатам петрографического анализа в 2011 г.).

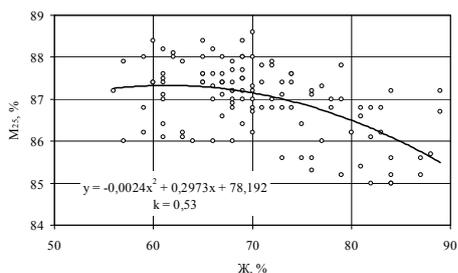


Рис. 1. Зависимость показателя прочности кокса M_{25} от содержания в шихте углей марки Ж 56-89 %

но самоотощением шихты.

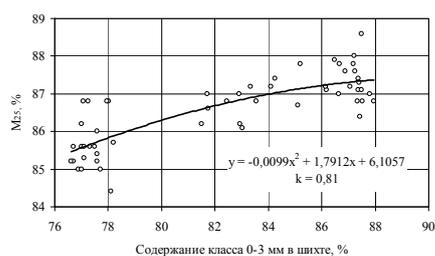
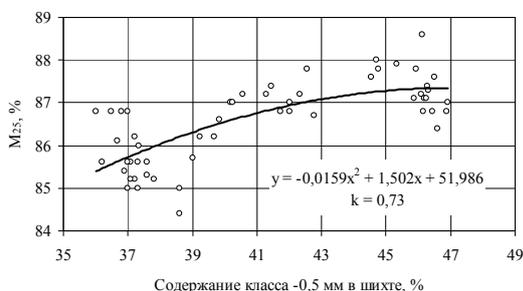


Рис. 2. Зависимость показателя прочности кокса M_{25} от степени дробления шихты при содержании в ней углей марки Ж 70-89 %

По данным рис. 3 видно, как изменялось содержание “отошающего класса” -0,5 мм при увеличении степени дробления шихты с содержанием жирных углей в диапазоне 70-89 %, а из рис. 4 следует, что и в производственных условиях при высокой жирности шихты ее “самоотощение” приводит к улучшению качества кокса. Так, повышение содержания в шихте отошающего класса -0,5 мм от 37 до 47 %, в среднем, приводит к повышению M_{25} 85,6 до 87,3 %.



В угольных шихтах необходимо поддерживать оптимальное содержание угля марки Ж на уровне не выше 40-50 % [17] и дополнительно вводить в шихту до 30 % уголь марки Г. Одним из наиболее наглядных примеров такой технологии может служить опыт Баглейского коксохимического завода, где в свое время провели промышленные коксования шихт различного состава с увеличенной до 70 % долей углей пониженной спекаемости. Количество газового угля увеличили с 29,5 до 56 % при снижении содержания углей марок Ж и К с 39 до 21 % и с 17 до 9 %, соответственно. Количество угля марки ОС изменялось в пределах 13-18 %. Степень измельчения шихты по содержанию класса 0-3 мм была 78,2-80 %. Качество кокса при увеличении доли углей пониженной спекаемости ухудшалось, но своевременная корректировка степени измельчения шихты позволила сохранить качество кокса на достаточно высоком уровне. Так, при содержании марки Г 29,5 % качество кокса было M_{25} – 88,7 %, M_{10} – 5,5 %, а при содержании Г 56 % качество кокса снизилось до M_{25} – 85,3 %, M_{10} – 7,3 % [18].

Из рисунка следует, что при изменении степени дробления шихты в диапазоне от 76 до 89 % увеличение в шихте углей марки Ж более 60-70 % приводит к снижению показателя прочности кокса M_{25} . В то же время, если проанализировать зависимость показателя прочности кокса M_{25} от степени дробления шихты в указанном диапазоне (рис. 2) при содержании в шихте углей марки Ж 70-89 %, то видно, что прочность кокса растет с увеличением степени дробления шихты.

Такое повышение прочности кокса обусловле-



Рис. 3. Зависимость содержания отошающего класса -0,5 мм от степени дробления шихты при содержании в ней углей марки Ж 70-89 %

Рис. 4. Зависимость показателя прочности кокса M_{25} от содержания класса -0,5 мм в шихте при содержании в ней углей марки Ж 70-89 %

Необходимо подчеркнуть, что снижение спекаемости ценного угля марки Ж путем его “самоотощения” для повышения качества кокса является вынужденной мерой в случае его переизбытка в шихте, а не рекомендуемым рациональным методом подготовки угольной шихты к коксованию. Если шихта отличается повышенной спекаемостью, то ее можно уменьшить, используя в смесях отошающие добавки и петрографически неоднородные угли. Как известно, с жирными углями целесообразно сочетать газовые угли. Кроме того, в настоящее время при дефиците углей марки ОС, увеличение доли газовых углей в шихте является целесообразным.

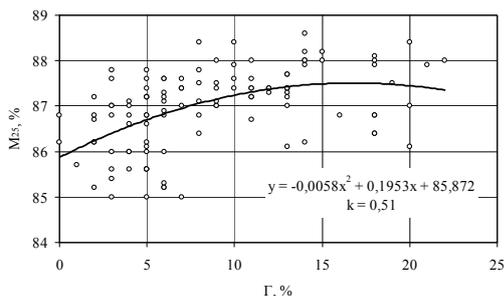


Рис. 5. Зависимость показателя прочности кокса M_{25} от содержания в шихте углей марки Г 0-22 %

В 2011 г. в шихте КХП АМКР содержание угля марки Г по результатам петрографического анализа изменялось, в основном, от 0 до 22 % и, как это следует из рис. 5, увеличение содержания этого угля в шихте до 15 % приводило к повышению показателя M_{25} при снижении высокой степени “ожирения” шихты.

Выводы. В промышленных условиях показано, что при избыточном содержании жирных углей в шихте (более 70 %) можно достичь увеличения прочности кокса повышением степени дробления шихты (содержания класса 0-3 мм до 88 %) вследствие ее самоотошения. Однако этот путь повышения качества кокса не является рациональным из-за вынужденного ухудшения свойств ценной марки угля Ж и дополнительного расхода электроэнергии на дробление. В шихту необходимо вводить оптимальное количество газовых и жирных углей при рациональной степени дробления, обеспечивая при этом оптимальную спекаемость компонентов для достижения качества кокса для современной доменной плавки на уровне, как минимум, до $M_{25} = 90\%$ и $M_{10} = 6\%$.

Список литературы

1. Влияние снижения влажности угольной шихты на качество кокса / В.А. Шерemet, В.П. Лялюк, А.В. Кекух и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009. – №5. – С. 16-19.
2. Повышение качества кокса для доменной плавки путем увеличения насыпной массы угольной шихты / В.А. Шерemet, В.П. Лялюк, П.И. Оторвин и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №1. – С. 27-31.
3. Организация рационального дробления угольной шихты – путь к повышению качества кокса для доменной плавки / В.А. Шерemet, В.П. Лялюк, А.В. Кекух и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №2. – С. 48-52.
4. Оценка однородности угольной шихты / В.П. Лялюк, В.А. Шерemet, А.В. Кекух и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №4. – С. 18-21.
5. Изменение петрографического состава угольной шихты при ее дроблении / В.П. Лялюк, В.А. Шерemet, А.В. Кекух и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – №2. – С. 13-17.
6. Качество подготовки шихты для коксования / В.П. Лялюк, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова и др. // *Кокс и химия*. – 2011. – №8. – С. 2-19.
7. Стабильность качества кока для доменной плавки / В.П. Лялюк, В.П. Соколова, И.А. Ляхова и др. // *Кокс и химия*. – 2012. – № 8. – С. 19-24.
8. Влияние влажности угольной шихты на качество кокса / В.П. Лялюк, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова и др. // *Кокс и химия*. – 2012. – № 9. – С. 2-8.
9. Глушенко И.М. Прогноз качества кокса. – М.: *Металлургия*, 1976. – 200 с.
10. Марголис А.Р. Исследование влияния измельчения углей на изменение насыпной массы шихты и качество кокса // А.Р. Марголис, Д.Н. Кравченко, В.И. Самойлов, Ю.А. Смирнов // *Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб.* – К.: *Техника*, 1977. – Вып. 54. – С. 50-53.
11. Оптимизация гранулометрического состава угольной шихты с целью увеличения ее насыпной массы / В.Г. Иваницкий, С.В. Щеголев, Г.Д. Соловьев и др. // *Кокс и химия*. – 1976. – №7. – С. 4-6.
12. Обоснование выбора степени измельчения угольных шихт с помощью экономических показателей / А.П. Фомин, А.Л. Довгая, И.З. Шатоха, Н.А. Мазуренко // *Кокс и химия*. – 1986. – №2. – С. 44-46.
13. Совершенствование техники и технологии подготовки углей и шихт к коксованию способом их рационального измельчения / П.П. Хархардин, А.Г. Дюканов, М.Я. Берлин и др. // *Кокс и химия*. – 1982. – №12. – С. 21-24.
14. Влияние степени измельчения углей и шихты при коксовании / С.Г. Аронов, Л.П. Светлорусова // *Кокс и химия*. – 1958. – №1. – С. 5-11.
15. Глушенко И.М. Химическая технология горючих ископаемых – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 447 с.
16. Степень измельчения углей повышенной спекаемости и прочности кокса / Е.М. Тайц, Г.И. Еник, В.В. Ризаев // *Кокс и химия*. – 1987. – №11. – С. 37-39.
17. Влияние оптимизации состава угольной шихты на качество кокса / В.П. Лялюк, Д.А. Кассим, И.А. Ляхова, В.П. Соколова // *Кокс и химия*. – 2012. – №12. – С. 13-19.
18. Влияние состава угольной шихты и особенностей их подготовки к коксованию на качество кокса / В.М. Гуляев, Ю.С. Нагорный, Л.И. Глушенко // *Кокс и химия*. – 1992. – №11. – С. 11-13.

Рукопись поступила в редакцию 26.02.13