

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.162.1

[https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2\(57\)-4-10](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2(57)-4-10)

Женин Е.В., Шаповалов А.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ КРУПНОСТИ ИЗВЕСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Аннотация. Представлены результаты лабораторных экспериментов по исследованию влияния крупности извести, вводимой в смесь железорудных компонентов агломерационной шихты, на показатели аглопроцесса и качество агломерата.

Установлено, что при относительно постоянных условиях проведения экспериментов показатели окомкования, аглопроцесса и прочности агломерата при использовании более крупной извести (10-20 мм) ухудшаются. Полученные результаты объясняются, главным образом, повышением неравномерности распределения извести по объему шихты, что отражается на результатах окомкования (увеличении доли крупных фракций 5-10 и +10 мм) и снижении прочности гранул (как в сыром состоянии, так и в процессе спекания). Прямым следствием является повышенная усадка слоя спекаемой шихты и падение газопроницаемости, что отражается как на вертикальной скорости спекания и удельной производительности, так и на тепловых условиях спекания и прочностных показателях агломерата.

Ключевые слова: агломерационная шихта, агломерационный процесс, крупность извести, результаты окомкования, показатели спекания, качество агломерата

Введение

В настоящее время на металлургических предприятиях России и мира агломерат производят с применением извести [1-4], наличие которой в агломерационной шихте повышает её комкуемость, способствуя упрочнению гранул и увеличению газопроницаемости слоя спекаемой шихты, следствием чего является повышение скорости спекания и производительности агломашин.

В зависимости от шихтовых условий, свойств и технологии введения извести существует оптимальный её расход в агломерационную шихту, который для различных предприятий составляет от 20 до 80 кг/т [1-11]. При этом эффективность использования извести зависит от её химического и гранулометрического состава, способа введения и расхода, а также гранулометрического и вещественного состава шихты и условий её подготовки к спеканию. Поэтому в различных шихтовых и технологических условиях повышение удельной производительности агломашин при увеличении расхода извести может изменяться от 1,5 до 6 отн.% [1-11] на каждые 10 кг/т дополнительно введенной извести. Кроме интенсификации аглопроцесса, увеличение расхода извести ведет к снижению расхода известняка, что позволяет сократить расход твердого топлива на 0,5-1,5% на каждые 10 кг/т дополнительно введенной извести [1-3]. Кроме того, введение извести в концентрат на горно-обогатительных комбинатах позволяет решить задачу по предотвращению смерзания влажных концентратов при их транспортировке в зимних условиях [12-14].

Таким образом, оптимальные условия использования извести подбираются в каждом конкретном

случае индивидуально, с учетом качественных характеристик извести (крупности и степени обжига), получаемого эффекта и дополнительных затрат.

Постановка задачи исследования

Качество извести определяется её способностью к образованию мельчайших (менее 10 мкм) частиц гидрата, обладающих вяжущими свойствами и адсорбирующих на своей поверхности воду. Вяжущие свойства извести определяются продолжительностью гашения и выходом при гашении известкового теста. В свою очередь, указанные факторы зависят, главным образом, от степени завершенности процесса диссоциации карбоната кальция (степени обжига извести), то есть содержания активного СаО [2, 5, 15]. При этом при постоянстве состава известняка качество извести, оцениваемое в первую очередь содержанием активного СаО, определяется технологическими возможностями обжигового агрегата, в зависимости от которого содержание активного СаО может колебаться от 60-70% при использовании конвейерных обжиговых машин до 85% и более при обжиге извести во вращающихся печах и печах кипящего слоя [3]. Поэтому на практике добавка извести невысокого качества в количестве 4-5% от массы шихты (50-60 кг/т спека) позволяет повысить производительность агломашин максимум на 12-15% [2, 11, 15, 16], в то время как применение высококачественной извести с расходом до 6% (до 70 кг/т спека) обеспечивает практически пропорциональное увеличение производительности аглопроцесса на 40-45% [1-5] (до 6% на каждые дополнительные 10 кг/т извести). При этом дальнейшее увеличение расхода извести мало влияет на прирост производительности, что, с одной стороны, связано с достижением предела по упрочнению гранул и повышению газопроницаемости, а с другой – обусловлено ухудшением температурно-временных усло-

вий формирования агломерата и снижением выхода годного.

Другим, не менее важным, показателем качества извести является её крупность. Данные о влиянии начальной крупности извести на показатели аглопроцесса и качественные характеристики агломерата свидетельствуют о прогрессивном их улучшении с уменьшением крупности [1, 2, 5-7, 17]. Кроме того, агломерат, полученный с использованием крупнокусковой извести (до 10 мм и более), включает значительное количество неусвоенных расплавом частиц (крупностью 1-1,5 мм), что негативно сказывается на его прочностных свойствах и атмосферной стойкости. При этом при выборе крупности извести приходится учитывать технологические ограничения обжигового агрегата, а также затраты на дробление. Кроме того, дробление известняка и извести сопряжено с пылеобразованием. Таким образом, применение извести без учета её качества не только не обеспечивает ожидаемого роста производительности и качества агломерата, но и может негативно отразиться на показателях производства. Поэтому целью настоящей работы является изучение влияния крупности извести, вводимой в смесь железорудных компонентов агломерационной шихты, на показатели аглопроцесса и качество агломерата при спекании руд и концентратов Курской магнитной аномалии (КМА).

Методика исследования

В соответствии с целью настоящего исследования спланирован комплекс лабораторных экспериментов, предусматривающий проведение опытов по окомкованию и спеканию агломерационной шихты с использованием извести различной крупности (0-10 и 10-20 мм), вводимой в смесь железорудных компонентов агломерационной шихты с расходом 45 кг/т, что соответствует современной практике потребления извести [1-11, 18-22]. Смешивание железорудных материалов с известью осуществляли в барабанном окомкователе в течение 3 мин (до однородного цвета) с последующей выдержкой штабеля в течение 3 сут при температуре 25°C в герметичной таре.

Лабораторные эксперименты проводили с использованием материалов, состав которых представлен в табл. 1.

Состав опытной шихты рассчитывали исходя из получения агломерата с основностью по отношению CaO/SiO_2 на уровне 1,9 ед. при содержании MgO – 2,1%. Соотношение концентрата и аглоруды в рудной смеси – 80 и 20% соответственно. Расход коксика поддерживали на постоянном уровне, обеспечивающем содержание углерода в шихте на уровне 3,7% и получение агломерата с содержанием FeO на уровне 11-12%. Подготовку шихты к спеканию проводили в идентичных условиях по времени операций смешивания, окомкования и увлажнения с оценкой влажности окомкованной шихты и результатов окомкования: гранулометрический состав и прочность гранул на раздавливание в сыром состоянии и после нагрева до 300°C. Влажность окомкованной шихты доводили до оптимального уровня, обеспечивающего максимальную газопроницаемость слоя спекаемой шихты (при использовании холодной шихты). Спекание проводили в аглочаше диаметром 210 мм при поддержании постоянной высоты слоя шихты на уровне 500 мм. По завершении аглопроцесса и охлаждения спека до 100°C, производили его выгрузку из чаши с определением массы спека, гранулометрического состава, прочности на сбрасывание и во вращающемся барабане, а также химического состава агломерата. Таким образом обеспечивались сопоставимые условия окомкования и спекания, что позволяет проводить объективную оценку результатов исследования.

Результаты лабораторных экспериментов

Усредненные условия и результаты лабораторных экспериментов сведены в табл. 2-4. Представленные данные свидетельствуют о сопоставимых условиях проведения экспериментов, что подтверждается поддержанием постоянной влажности аглошихты, стабильными тепловыми условиями спекания (оценивались по максимальной температуре газов в конце спекания и содержанию FeO в агломерате) и низкими отклонениями от установленных параметров по основности и содержанию MgO в агломерате.

Таблица 1

Химический состав шихтовых материалов

Содержание, %	Концентрат	Руда	Доломит	Известняк	Известь
Fe	67,40	53,90	0,70	0,92	1,55
SiO_2	4,38	8,64	2,54	1,27	1,85
CaO	1,23	4,37	30,9	53,07	90,80
Al_2O_3	0,25	0,80	0,58	0,50	0,76
MgO	0,30	0,44	19,4	0,61	1,08
S	0,023	0,036	0,011	0,010	0,034
P_2O_5	0,025	0,046	0,022	0,040	0,051
П.п.п.	0,56	9,12	45,46	42,36	3,06

Таблица 2

Усредненные результаты окомкования

Наименование показателя		Значения показателей при крупности извести	
		0-10 мм	10-20 мм
Влажность аглошихты, %		7,64	7,67
Содержание классов, %	+10 мм	3,8	5,1
	5-10 мм	30,9	32,6
	3-5 мм	31,0	30,4
	1-3 мм	25,5	23,1
	0-1 мм	8,7	8,8
Средний диаметр гранул, мм		4,59	4,80
Прочность сырых гранул, гр.		142,9	138,2
Прочность сухих гранул, гр.		193,8	176,1

Таблица 3

Усредненные параметры и результаты спекания

Наименование показателя		Значения показателей при крупности извести	
		0-10 мм	10-20 мм
Относительная усадка слоя, %		11,1	11,3
Разрежение в вакуум-камере, кПа	до зажигания	8,7	8,6
	после зажигания	11,6	12,3
	в конце спекания	8,2	8,1
Максимальная температура в вакуум-камере, °C		425	413
Продолжительность спекания, мин		18,86	19,22
Скорость спекания, мм/мин		26,52	26,01
Выход годного (+5 мм) из спека после сбрасывания (по ГОСТ 25471-82), %		84,9	83,2
Производительность по годному агломерату (после сбрасывания), т/м ² в час		2,000	1,918

Таблица 4

Усредненные показатели гранулометрического состава, механической прочности и химического состава агломерата

Наименование показателя		Значения показателей при крупности извести	
		0-10 мм	10-20 мм
Фракционный состав агломерата после сбрасывания по ГОСТ 25471-82, %	+40 мм	22,11	19,74
	20-40 мм	20,32	20,19
	10-20 мм	24,08	23,09
	5-10 мм	18,38	20,15
	0-5 мм	15,11	16,84
Прочность по ГОСТ 15137-77, %	Удар	70,94	68,92
	Истирание	4,86	5,45
Фактический состав агломерата, %	Fe общ.	57,34	57,40
	FeO	12,35	11,95
	MgO	2,12	2,10
Основность по отношению CaO/SiO ₂ , ед.		1,92	1,91

На основании полученных результатов сделаны выводы по окомкованию и спеканию агломерационной шихты с применением извести различной крупности.

Выводы по результатам окомкования. Оценка гранулометрического состава окомкованной шихты при использовании извести различной крупности показывает, что применение более крупной извести ведет к росту доли фракций 5-10 и +10 мм при одновременном снижении доли фракций 1-3 и 3-5 мм. Ука-

занные изменения гранулометрического состава агломерационной шихты приводят к увеличению среднего диаметра гранул с 4,59 до 4,80 мм.

Влияние крупности извести на гранулометрический состав окомкованной шихты можно визуально оценить по фотоматериалам (рис. 1), на которых представлены характерные фотографии шихты, полученной при использовании извести крупностью 0-10 мм (рис. 1, а) и 10-20 мм (рис. 1, б).

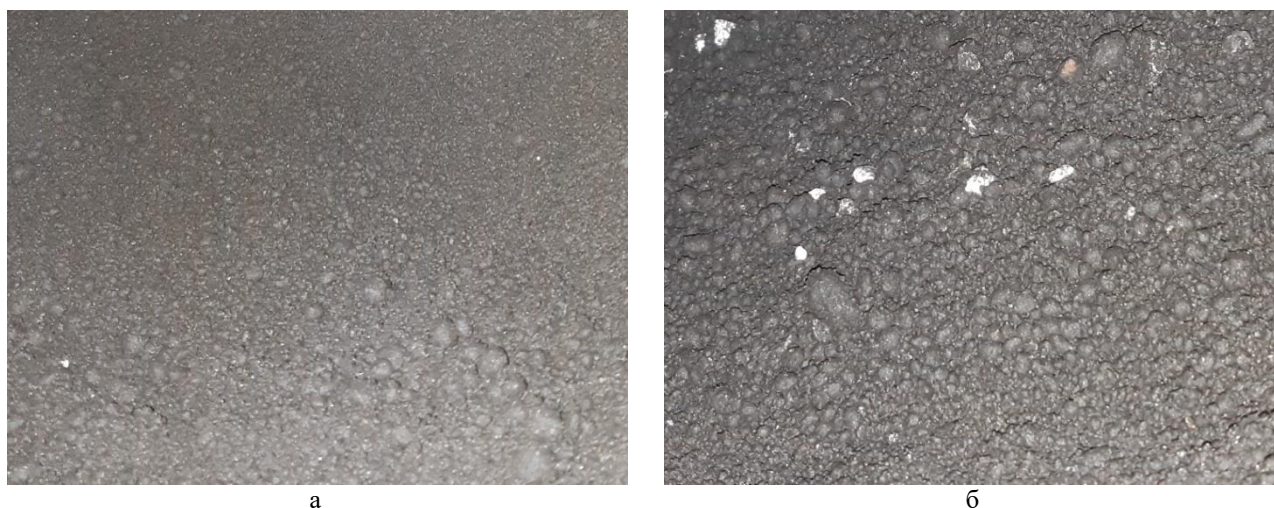


Рис. 1. Характерные фотографии окомкованной шихты при использовании извести крупностью 0-10 мм (а) и 10-20 мм (б)

Кроме явного увеличения доли крупных фракций, в агломерационной шихте с использованием крупной извести встречаются куски гашеной извести, не вовлеченной в процесс окомкования. Последнее свидетельствует о снижении равномерности распределения извести по объему шихты, что ухудшает эффективность работы извести в качестве интенсификатора окомкования. Соответственно, шихта с меньшим количеством извести имеет пониженную комковатость, однако это не приводит к увеличению доли мелочи (0-1 мм), а отражается в первую очередь в снижении средней прочности гранул. Так, средняя прочность на раздавливание сырых гранул снизилась с 142,9 до 138,2 гр., а «горячая» прочность гранул (после нагрева до 300°C) уменьшилась 193,8 до 176,1 гр. Подтверждением более высокой неравномерности распределения извести крупностью 10-20 мм по объему шихты является увеличение относительного колебания прочности гранул до 35 % (от средней величины), в то время как в экспериментах с известью 0-10 мм колебания прочности не превышали 20 отн. %.

Таким образом, основной причиной снижения средней прочности гранул шихты при использовании более крупной извести является уменьшение однородности распределения гидратированной извести по объему шихты. Это приводит к формированию малопрочных гранул с недостатком частиц коллоидных размеров, обеспечивающих пластичность шихты и плотную упаковку частиц в гранулах. А упрочнение гранул с избытком гидратов кальция ограничивается лабораторными условиями, а также постепенным приближением к максимальной плотности упаковки частиц в гранулах.

Выводы по результатам спекания. Влияние крупности извести на результаты окомкования шихты отразились на параметрах и показателях спекания. Так, увеличение среднего диаметра гранул и количества крупных фракций в окомкованной шихте при не-

значительном снижении прочности сырых гранул привело к повышению газопроницаемости слоя шихты до зажигания, о чем говорит уменьшение средней величины разрежения под колосниковой решеткой с 8,7 до 8,6 кПа. Однако после зажигания газопроницаемость слоя спекаемой шихты с крупной известью ухудшилась, о чем свидетельствует рост разрежения после зажигания с 11,6 до 12,3 кПа.

Основной причиной потери газопроницаемости в процессе спекания является снижение прочности гранул, следствием чего является уплотнение слоя шихты в результате воздействия динамического и статического давления газового потока и собственного веса шихты. Это подтверждается увеличением относительной усадки слоя шихты. Результатом уплотнения слоя шихты и падения газопроницаемости является снижение вертикальной скорости спекания с 26,5 до 26 мм/мин.

Повышенная усадка опытной шихты, приводящая к снижению газопроницаемости спекаемого слоя, приводит к неравномерности распределения газового потока и тепловых условий спекания по сечению агломерируемой шихты. Кроме того, из-за повышения доли крупных фракций в окомкованной шихте с использованием крупной извести увеличивается требуемое время для её прогрева и, соответственно, ухудшаются условия по вовлечению крупных гранул шихты в расплав. Все это в совокупности приводит к образованию в спекаемом слое участков непропека, обладающих пониженной прочностью, следствием чего является уменьшение выхода годного (после сбрасывания) и увеличение содержания мелочи. Так, выход годного агломерата из спека после сбрасывания уменьшился с 84,9 до 83,2 %.

Прямым следствием наблюдаемого уменьшения выхода годного и скорости спекания в экспериментах с более крупной известью является снижение удельной производительности по годному агломерату, которая

составила в среднем 1,92 против 2 т/м² в час в условиях использованием мелкой извести.

Барабанная прочность агломерата. Результаты опытных спеканий показывают, что при использовании извести крупностью 10-20 мм холодная прочность агломерата ухудшилась:

– средняя прочность на удар снизилась с 70,94 до 68,92 %;

– истираемость выросла с 4,86 до 5,45 %.

Причины ухудшения показателей барабанной прочности обусловлены менее благоприятными условиями пропекания агломерируемой шихты. Это связано, главным образом, с увеличением времени на прогрев более крупных гранул, результатом чего является неполное вовлечение спекаемой шихты в расплав и появление участков непропека.

Заключение

Сопоставление результатов лабораторных спеканий агломерационной шихты с применением извести различной крупности позволяет заключить, что при относительно постоянных условиях проведения экспериментов показатели окомкования, аглопроцесса и прочности агломерата при использовании более крупной извести (10-20 мм) ухудшаются. Полученные результаты объясняются, главным образом, повышением неравномерности распределения извести по объему шихты, что отражается на результатах окомкования (увеличении доли крупных фракций 5-10 и +10 мм) и снижении прочности гранул (как в сыром состоянии, так и в процессе спекания). Прямым следствием является повышенная усадка слоя спекаемой шихты и падение газопроницаемости, что отражается как на скорости спекания и производительности, так и на тепловых условиях спекания и прочностных показателях агломерата.

Поскольку процесс окомкования агломерационных шихт не поддается полному моделированию в лабораторных условиях, полученные в настоящем исследовании результаты необходимо рассматривать как ориентировочные, требующие уточнения в процессе опытно-промышленных испытаний. Вполне вероятно, что при более интенсивном энергетическом воздействии на агломерируемую шихту в производственных условиях, негативные моменты с ухудшением результатов окомкования (и спекания), отмеченные в лабораторных условиях, будут проявляться в значительно меньшей степени.

Список источников

1. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003. 400 с.
2. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Введение в технологии металлургического структурообразования. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 501 с.
3. Фролов Ю.А. Агломерация. Технология. Тепло-техника. Управление. Экология. М.: Металлургиздат, 2016. 672 с.
4. Жилкин В.П., Доронин Д.Н. Производство агломерата. Технология, оборудование, автоматизация. / под общ. ред. Г.А. Шалаева. Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2004. 292 с.
5. Применение извести на аглофабриках СССР. Обзорная информация / Смородинников А.В., Колесанов Ф.Ф., Климова Н.С. и др. М.: Черметинформация, 1978. Серия 3. Вып. № 2. С. 1-34.
6. Гурин П.И., Хлапонин Н.С., Осипенко А.М. Эффективность применения извести при агломерации шихты высокой основности // Сталь. 1981. № 9. С. 9-12.
7. Савельев С.Г., Чижилова В.М. Применение извести при окисковании железорудного сырья // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». 1986. № 3. С. 2-14.
8. Совершенствование технологии агломерации мелкозернистых концентратов / Бургов В.Н., Мирко В.А., Головкин В.К., Кабанов Ю.А. // Металлург. 1985. № 6. С. 22-24.
9. Шаповалов А.Н., Овчинникова Е.В. Совершенствование технологии использования извести в аглопроизводстве в условиях ОАО «Уральская Сталь» // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2014. Т.1. С.88-92.
10. Оптимизация расхода извести при вводе в аглошихту с целью повышения качества агломерата / С.В. Филатов, И.Ф. Курунов, О.А. Семенов и др. // Сталь. 2014. № 10. С. 7-9.
11. Исследование эффективности использования извести при производстве агломерата АО «Уральская Сталь» / Шаповалов А.Н., Зубов С.П., Майстренко Н.А., Берсенев И.С. // Сталь. 2017. № 6. С. 2-6.
12. Расчетно-теоретический анализ процесса профилирования известью железорудного концентрата / Пыхтеева К.Б., Тлеугабдулов Б.С., Волков Д.Н., Меламуд С.Г. // Черные металлы. 2016. № 4. С. 19-24.
13. Исследование возможности предотвращения смерзания концентрата путем его офлюсования / Федина В.В., Никитченко Т.В. Тимофеева А.С., Деева С.Г. // Металлург. 2020. № 11. С.18-23.
14. Шаповалов А.Н. Влияние предварительного известкования на смерзаемость железорудного концентрата // Теория и технология металлургического производства. 2024. №2(49). С. 27-32.
15. Применение в агломерационной шихте извести разной степени обжига / С.Г. Савельев, Р.Д. Каменев, О.Г. Федоров и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1980. №3. С.24-26.
16. Bao G. The Influence Analysis of Quicklime Quality on Output and Quality of Sinter in Bao Steel. Metallurgical Engineering, 2018, 5(3), 131-136.
17. Влияние фракционного состава извести на газодинамические свойства и прочность гранул окомкования.

- ванной агломерационной шихты / Чукин Д.М., Сысоев В.И., Юдин Д.В., Кургузов К.В., Магасу-мов Г.З., Щелоков Н.С., Шинкарук Б.Б., Куц А.А. // Технологии металлургии, машиностроения и ма-териалообработки. 2021. № 20. С. 13-21.
18. Шаповалов А.Н., Заводяный А.В., Братковский Е.В. Применение серпентинитомagnesитов хали-ловского месторождения в агломерационном про-изводстве // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 3. С. 25-29.
19. Влияние извести на спекание аглошихты / Куркин В.М., Табаков М.С., Кашкаров Е.А., Гуркин М.А., Деткова Т.В., Решеткин С.В. // Металлург. 2007. № 8. С. 49-52.
20. Пути использования местных минеральных ресур-сов в агломерационном производстве АО «Ураль-ская Сталь» / Ганин Д.Р., Дружков В.Г., Панычев А.А., Шаповалов А.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. № 1. С. 34-40.
21. Hao Zhou, Mingxi Zhou, Damien Paul O'Dea et al. Influence of Binder Dosage on Granule Structure and Packed Bed Properties in Iron Ore Sintering Process. ISIJ International. 2016, vol. 56, no. 11, pp. 1920-1928.
22. Демидова Н.В., Шаповалов А.Н., Овчинникова Е.В. Совершенствование технологии производства агломерата в условиях АО «Уральская Сталь» // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». 2017. Вып. 10 (1414). С.65-71.

Сведения об авторах

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

Шаповалов Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических тех-нологий и оборудования, Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС», Новотроицк, Россия.. E-mail: alshapo@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE INFLUENCE OF LIME SIZE ON THE AGGLOMERATION PROCESS RESULTS

Zhenin Evgeniy V. – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Metallurgical Technologies and Equipment Depart-ment, Novotroitsk branch of University of Science and Technology MISIS, Novotroitsk, Russia. E-mail: evzhen-in@mail.ru.

Shapovalov Alexey N. – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Metallurgical Technologies and Equipment De-partment, Novotroitsk branch of University of Science and Technology MISIS, Novotroitsk, Russia. E-mail: al-shapo@yandex.ru.

Abstracts. The results of laboratory experiments on the study of the influence of the size of lime supplied to the mixture of iron ore components of the agglomeration charge on the performance of the agglomeration process and sinter quality are presented.

It was found that under relatively constant experimental conditions, the indicators of pelletizing, agglomeration process and sinter strength when using coarse lime (10-20 mm) deteriorate. The obtained results are explained mainly by the increase in the uneven distribution of lime throughout the volume of the batch, which affects the results of pelletizing (an increase in the proportion of large fractions of 5-10 and +10 mm) and a decrease in the strength of the granules (in the raw state and during the sintering process). A direct consequence is an increased softening of the sin-tered charge layer and a drop in gas permeability, which affects both the sintering rate and specific productivity, as well as the thermal conditions of sintering and sinter strength properties.

Keywords: sinter charge, agglomeration process, lime size, pelletizing results, sintering indicators, sinter strength

References

1. Korotich V.I., Frolov Yu.A., Bezdezhsky G.N. Ag-gglomeration of ore materials. Scientific publication. – Yekaterinburg: USTU-UIP, 2003. – 400 p. (in Russ.)
2. Puzanov V.P., Kobelev V.A. Introduction to the tech-nologies of metallurgical structure formation. – Ekate-rinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sci-ences, 2005. – 501 p. (in Russ.)
3. Frolov Yu.A. Agglomeration. Technology. Heat engi-neering. Management. Ecology. – M.: Metallurgy Publishing House, 2016. – 672 p. (in Russ.)
4. Zhilkin V.P., Doronin D.N. Agglomerate production. Technology, equipment, automation. / Under the gen-

- eral editorship of G.A. Shalaev. – Ekaterinburg: Ural Center for PR and Advertising, 2004. – 292 p. (in Russ.)
5. Smorodinnikov A.V., Kolesanov F.F., Klimova N.S., et al. Application of lime at sintering plants of the USSR. Review information. – Moscow: Chermetin-formatsiya, 1978. Series 3. Issue No. 2. pp. 1-34. (in Russ.)
 6. Gurin P.I., Khlaponin N.S., Osipenko A.M. Efficiency of lime application in agglomeration of high-basicity charge. Steel, 1981. No. 9. pp. 9-12. (in Russ.)
 7. Saveliyev S.G., Chizhikova V.M. Use of lime in agglomeration of iron ore raw materials. Bulletin of scientific, technical and economic information "Ferrous metallurgy". 1986. No.3. 2-14. (in Russ.)
 8. Burgov V.N., Mirko V.A., Golovkin V.K., Kabanov Yu.A. Improving the technology of agglomeration of fine-grained concentrates. Metallurgist, 1985. No. 6. pp. 22-24. (in Russ.)
 9. Shapovalov A.N., Ovchinnikova E.V. Improving the technology of lime use in sintering production under the conditions of Ural Steel JSC. Actual problems of modern science, technology and education, 2014. Vol. 1. pp. 88-92. (in Russ.)
 10. Filatov S.V., Kurunov I.F., Semenov O.A. et al. Optimization of lime consumption when introducing it into the sinter batch in order to improve the sinter quality. Steel, 2014. No. 10. pp. 7-9. (in Russ.)
 11. Shapovalov A.N., Zubov S.P., Maistrenko N.A., Bersenev I.S. Study of the efficiency of lime use in the production of sinter at JSC Ural Steel. Steel. 2017. No. 6. pp. 2-6. (in Russ.)
 12. Pykhteeva K.B., Tleugabulov B.S., Volkov D.N., Melamud S.G. Calculation and theoretical analysis of the process of lime treatment of iron ore concentrate. Chernye Metally. 2016. № 4. 19-24. (in Russ.)
 13. Fedina V.V., Nikitchenko T.V. Timofeeva A.S., Deeva S.G. Study of the possibility of preventing concentrate freezing by fluxing it. Metallurgist, 2020. No. 11. P.18-23. (in Russ.)
 14. Shapovalov A.N. Effect of lime pretreatment on freezing of iron ore concentrate. Theory and technology of metallurgical production. 2024. No. 2 (49). 27-32. (in Russ.)
 15. Saveliyev S.G., Kamenev R.D., Fedorov O.G. et al. Use of lime of varying degrees of calcination in sinter charge. News of Universities. Ferrous metallurgy. 1980. No. 3. pp. 24-26. (in Russ.)
 16. Bao G. The Influence Analysis of Quicklime Quality on Output and Quality of Sinter in Bao Steel. Metallurgical Engineering. 2018. 5(3). 131-136.
 17. Chukin D.M., Sysoev V.I., Yudin D.V. et al. Influence of the fractional composition of lime on the gas-dynamic properties and strength of pellets of agglomerated charge. Technologies of Metallurgy, Mechanical Engineering, and Material Processing. 2021. No. 20. pp. 13-21. (in Russ.)
 18. Shapovalov A.N., Zavodany A.V., Bratkovsky E.V. Application of serpentine-magnesites from the Khalilovo deposit in agglomeration production. News of universities. Ferrous metallurgy. 2011. No. 3. pp. 25-29. (in Russ.)
 19. Kurkin V.M., Tabakov M.S., Kashkarov E.A. et al. The influence of lime on the sintering of sinter mixture. Metallurgist. 2007. No. 8. pp. 49-52. (in Russ.)
 20. Ganin D.R., Druzhkov V.G., Panychev A.A., Shapovalov A.N. Use of local mineral resources at the sintering plant of the "Ural steel". Bulletin of G.I. Novos Magnitogorsk State Technical University. 2016. Vol. 14. № 1. 34-40. (in Russ.)
 21. Hao Zhou, Mingxi Zhou, Damien Paul O'Dea et al. Influence of Binder Dosage on Granule Structure and Packed Bed Properties in Iron Ore Sintering Process. ISIJ International. 2016. Vol. 56, No. 11, pp. 1920-1928.
 22. Demidova N.V., Shapovalov A.N., Ovchinnikova E.V. Improvement of the technology of agglomerate production in the conditions of JSC Ural Steel. Bulletin of scientific, technical and economic information "Ferrous metallurgy". 2017. No. 10 (1414). 65-71. (in Russ.)

Ссылка на статью:

Женин Е.В., Шаповалов А.Н. Исследование влияние крупности извести на результаты агломерационного процесса // Теория и технология металлургического производства. 2026. №2(57). С. 4-10. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2\(57\)-4-10](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2(57)-4-10)
 Zhenin E.V., Shapovalov A.N. The influence of lime size on the agglomeration process results. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2026, vol. 57, no. 2, pp. 4-10. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2\(57\)-4-10](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2(57)-4-10)