для анализа и моделирования процессов производства низкоуглеродистого феррохрома с использованием комплексного (алюминий и кремний) восстановителя.

Выводы. Систематизированы и откорректированы термохимические данные для ассоциатов Al_2O_3, CaO, $CaAl_4O_7$, $CaAl_2O_4$, $Ca_3Al_2O_6$, $Ca_2Al_2O_5$, $Ca_4Al_2O_7$. Рассчитаны составы оксидного расплава Al_2O_3 – CaO в приближении модели ассоциированных растворов. Показано соответствие расчетных и экспериментальных результатов по термодинамическим активностям индивидуальных оксидов Al_2O_3 и CaO. Сделано заключение о применимости модели ассоциированных растворов и термохимических характеристик ассоциатов в системе Al_2O_3 – CaO для моделирования химических равновесий в металлургических системах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронов Ю.И., Карноухов В.Н., Акимов Е.Н. // Электрометаллургия. 2011. № 1. С. 4 – 6.
2. Ватолин Н.А. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах. – М.: Металлургия, 1994. – 352 с.
3. Моисеев Г.К. Температурные зависимости приведенной энергии Гиббса некоторых неорганических веществ (альтернативный банк данных АСТРА. OWN). – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 230 с.
4. Верятин У.Д. Термодинамические свойства неорганических веществ. – М.: Атомиздат, 1965. – 460 с.
5. Куликов И.С. Атлас шлаков. – М.: Металлургия, 1985, – 208 с.

© 2013 г. *Е.Н. Акимов, А.В. Сенин, В.Е. Рощин*
Поступила 2 июля 2012 г.

УДК 669.046: 662.778

Э.К. Якубайлик[1], В.И. Килин[2], М.В. Чижик[3], И.М. Ганженко[2], С.В. Килин[4]

[1] Институт физики СО РАН (г. Красноярск)
[2] ОАО «Евразруда» (г. Новокузнецк)
[3] ОАО «Красцветмет» (г. Красноярск)
[4] ЗАО «Полюс» (г. Красноярск)

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ НАМАГНИЧИВАНИЯ И РАЗМАГНИЧИВАНИЯ СИЛЬНОМАГНИТНЫХ РУД МЕТОДОМ ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАФИИ

Аннотация. Содержатся результаты изучения процессов намагничивания (флокуляции) и размагничивания (дефлокуляции) продуктов Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики методом цифровой фотографии. Наблюдались как «наведенная» внешним полем флокуляция, так и «собственная» за счет остаточной намагниченности; процесс размагничивания за счет собственной флокуляции. Интервал постоянных полей намагничивания от 24 до 200 кА/м. Напряженность переменного поля в процессе дефлокуляции от 6 до 40 кА/м, пробы намагничивались при 48 кА/м. Формы флокул, образующихся в магнитном поле и за счет остаточной намагниченности, различны. Существенных отличий во флокуляции и дефлокуляции разных абагурских продуктов не обнаружено. Поля напряженностью 40 кА/м можно считать оптимальными как для намагничивания, так и для размагничивания продуктов. Такие параметры поля (постоянного и переменного) технически достижимы на фабрике.

Ключевые слова: намагничивание, размагничивание, флокуляция, дефлокуляция, магнитное поле.

STUDY OF STRONG-MAGNETIC ORES MAGNETIZATION AND DEMAGNETIZATION PROCESSES BY THE METHOD OF DIGITAL PHOTOGRAPHY

Abstract. Processes of magnetization (flocculation) and demagnetization (deflocculation) of products of Abagurskaya concentrating-sintering factory were investigated by digital photo technique. Both induced by the ‘external’ field flocculation and ‘own’ flocculation due to the remanent magnetization were observed as well as demagnetization process of ‘own’ flocculation. Interval of constant fields of magnetization is from 24 to 200 kA / m. The flocculi forms formed in the magnetic field due to remanent magnetization are different. No significant differences in flocculation and deflocculation of various factory’s products were found. The fields of 40 kA intensity might be considered optimal for magnetization and demagnetization of products. Such fields (constant and alternating) are technically possible at the factory.

Keywords: magnetization, demagnetization, flocculation, deflocculation, magnetic field.

Эффективность магнитной сепарации во многом определяется величинами основных магнитных характеристик исходной руды (намагниченности насыщения σ_s, остаточной намагниченности σ_r, коэрцитивной силы H_c), а также крупностью ее частиц. Магнитные параметры зависят от взаимодействия (флокуляции) частиц в магнитном поле и от остаточной намагниченности с образованием агрегатов – флокул из этих частиц.

Магнитная флокуляция всегда сопровождает обогащение тонкоизмельченных сильномагнитных материалов. В процессах магнитной сепарации за счет флокуляции повышаются производительность сепараторов и

извлечение магнитного концентрата. При дешламации и сгущении в магнитном поле также растут производительность и селективность аппаратов. В то же время флокуляция оказывает отрицательное влияние при классификации магнитных продуктов, препятствуя разделению частиц по крупности.

Негативное воздействие флокуляции тонкоизмельченного материала может быть преодолено обратным процессом – дефлокуляцией – размагничиванием материала в переменном магнитном поле, разрушающем флокулы.

Таким образом, с помощью флокуляции и дефлокуляции соответственно в намагничивающих и размагничивающих аппаратах можно управлять структурным состоянием пульп при мокрой магнитной сепарации.

Предварительное намагничивание и размагничивание продуктов в технологических процессах широко применяется в магнитном обогащении уже не менее полувека. Практика показала, что в зависимости от магнитных характеристик исходной руды процессы флокуляции и дефлокуляции реализуются в разных по величине полях.

В последнее десятилетие актуальность этой тематики, особенно дефлокуляции, возросла в связи с внедрением в схемы магнитного обогащения операций тонкого грохочения. Отсюда очевидна необходимость современного оперативного метода контроля процессов и оценки величин магнитных полей подмагничивания и размагничивания продуктов обогащения. Искомым методом может быть цифровая фотография.

Образцы и методика наблюдений

На Абагурской обогатительной фабрике ОАО «Евразруда» были отобраны для исследований четыре продукта по технологической схеме обогащения: концентрат первой стадии мокрой магнитной сепарации (ММС); слив шаровой мельницы второй стадии измельчения; слив и пески гидроциклона второй стадии. Совместно с техническим отделом фабрики для опытов были определены три класса частиц, близких по крупности и количеству к их распределению в продуктах по технологической схеме: частицы классов –1,00 +0,28 мм, –0,28 +0,07 мм и менее 0,07 мм. На частицах этих трех размеров выполнен химический анализ, определены основные магнитные параметры.

В таблице содержатся результаты химического анализа и данные магнитных характеристик двух «определяющих» (из четырех продуктов) проб: концентрата первой стадии и слива гидроциклона.

Процессы магнитной флокуляции и дефлокуляции пульпы традиционно (по литературным данным) исследуются методом осаждения ее в стеклянном цилиндре с последующим разделением пульпы на слив и пески [1] методом достаточно трудоемким, кропотливым и занимающем немало времени.

В настоящей работе для изучения этих процессов применена цифровая фотография. Изображение фиксировалось камерой на «карту памяти», а затем через адаптер переносилось в компьютер и там обрабатывалось в программе Adobe Photoshop CS2. Съемка велась камерой Canon PowerShot S2 IS в рабочем режиме «Макро».

Использование цифровой фотографии известно в работах по пенной флотации [2].

Наблюдалась как «наведенная» внешним полем флокуляция, так и «собственная» – за счет остаточной намагниченности. Основной объем опытов выполнен на материале крупностью –0,07 +0 мм.

Намагничивание материалов проб осуществлялось двумя типами постоянных магнитов – пластинами из феррита бария (размером 64×84×14 мм) со средним (с учетом неоднородности) значением напряженности магнитного поля H = 48 кА/м и из неодимжелезобора (размером 41×41×10 мм) с H = 200 кА/м. Деревянный экран диам. 1 см, помещенный перед магнитом, позволял уменьшать напряженность магнитного поля примерно в два раза – до 24 и 80 кА/м. Таким образом, интервал напряженности магнитных полей, в которых последовательно наблюдалась наведенная, а затем собственная флокуляция, составлял от 24 до 200 кА/м. Величина напряженности магнитного поля измерялась тесламетром.

Схема опытов такова. Сначала снимался исходный материал крупностью –0,07 +0 мм и массой 0,5 г, по-

Результаты химического анализа и магнитных измерений концентрата ММС и слива гидроциклона

Проба	Класс, мм	Содержание, %		Магнитные характеристики		
		$Fe_{общ}$	$Fe_{маг}$	σ_s, А·м²/кг	σ_r, А·м²/кг	H_c, кА/м
Концентрат ММС	– 1,0+0,28	43,10	39,38	48,0	2,7	3,61
	– 0,28+0,07	52,36	49,92	58,6	4,2	4,26
	– 0,07+0	57,72	55,35	63,1	6,5	5,28
Слив гидроциклона	– 1,0+0,28	33,72	29,42	34,6	2,6	4,98
	– 0,28+0,07	48,62	45,70	55,8	4,2	4,69
	– 0,07+0	55,85	53,62	64,3	7,0	5,31

мещенный в чашку Петри в соотношении Т:Ж ≈ 1:3. Затем последовательно наблюдалась флокуляция в поле напряженностью $H \approx 24$ кА/м (через экран) и $H \approx 48$ кА/м (на пластине феррита бария под чашкой Петри). В каждом случае измерялась сначала наведенная (под действием поля) флокуляция, а затем – собственная флокуляция; в завершении серии на каждом продукте – опыты в полях $H \approx 80$ кА/м (через экран) и $H \approx 200$ кА/м (на пластине из неодимжелезобора).

Процесс флокуляции материала проб

Обширная информация по предварительной магнитной обработке руд различных месторождений собрана в монографии [3], а также в более ранних работах [1, 4]. Теоретическим вопросам, моделированию процессов флокулообразования посвящены разделы монографии [5].

Величина образующихся при наведенной флокуляции магнитных агрегатов, в первую очередь, зависит от напряженности магнитного поля, размера частиц, их концентрации в пульпе и времени намагничивания.

Собственная флокуляция в значительной мере определяется двумя магнитными параметрами материала: коэрцитивной силой и остаточной намагниченностью.

По литературным данным процессу флокуляции в большей степени подвержены магнитомягкие руды. Для руд с $H_c \leq 4$ кА/м степень флокуляции достигает 90 % в полях с напряженностью 24 кА/м; для руд с $H_c \leq 8$ кА/м необходимо использовать поля с напряженностью 40 кА/м.

Предложена приближенная формула для расчета поля предельного намагничивания $H_п$ руд в зависимости от величины коэрцитивной силы [1]:

$$H_п = 23\sqrt[3]{H_c}. \quad (1)$$

Из нескольких сотен снимков собраны четыре «сводных» рисунка, где отображены основные результаты исследований. На рис. 1 представлены исходная проба концентрата и его флокуляция (собственная), а также флокуляция слива гидроциклона (наведенная и собственная).

Обращают внимание разные формы флокул, создающиеся в поле и на основе остаточной намагниченности. В поле формируются объемные, в форме конуса плотные образования, направленные по полю. Флокулы за счет остаточной намагниченности представляют собой вытянутые пряди (распавшиеся «наведенные» флокулы) длиной 1,0 – 1,5 см и сечением до 1 мм; в полях с напряженностью 80 кА/м и выше их диаметр составляет 2 – 3 мм.

Следует отметить, что на пробах слива гидроциклона массивные наведенные флокулы образуются в поле напряженностью 48 кА/м, а не в поле напряженностью

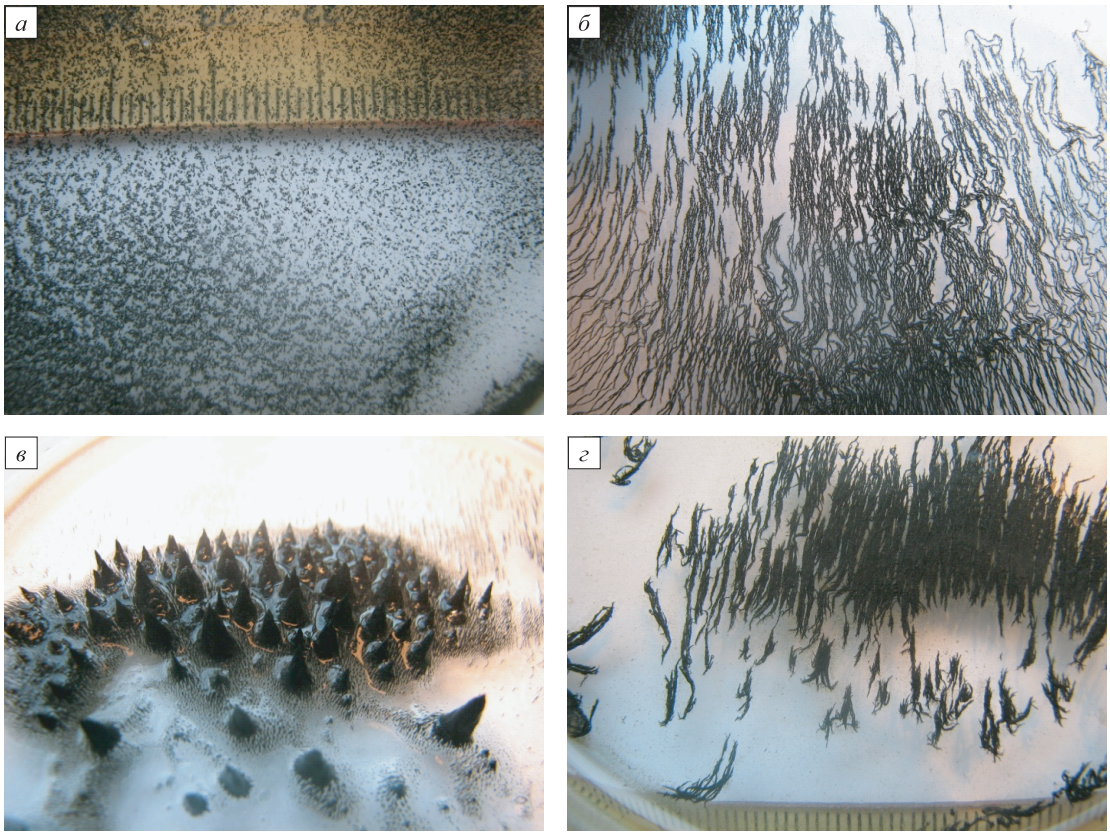

Рис.1. Флокуляция продуктов обогащения:
а – исходная проба концентрата; *б* – собственная флокуляция концентрата, $H = 24$ кА/м;
в и *г* – наведенная и собственная флокуляция слива гидроциклона, $H = 48$ кА/м

24 кА/м как на частицах концентрата. Других отличий поведения частиц слива гидроциклона от поведения частиц концентрата визуально не обнаружено. Учитывая это, в настоящей работе не приведены снимки флокуляции материала слива шаровой мельницы и песков гидроциклона.

Отсутствие существенных различий в характере флокуляции разных продуктов обогащения можно объяснить близостью их магнитных характеристик. Так, например, для класса –0,07 +0 мм намагниченность насыщения составляет от 62,0 до 67,5 А·м^2/кг, остаточная намагниченность продуктов – в пределах от 6,5 до 7,2 А·м^2/кг, коэрцитивная сила – от 5,28 до 5,6 кА/м.

Оценка поля предельного намагничивания по формуле (1) при усредненной величине коэрцитивной силы $H_с$ = 5,6 кА/м дает $H_п$ = 41,1 кА/м. В эксперименте наблюдали флокуляцию уже в поле с напряженностью 24 кА/м.

Зависимость флокуляции от крупности частиц фиксировалась на трех основных классах: –1,00 +0,28 мм, –0,28 +0,07 мм и –0,07 + 0 мм; класс –0,07 +0 мм описан выше. Флокулы концентрата как наведенные, так и собственные, образовавшиеся из частиц крупностью –0,28 +0,07 и –1,00 +0,28 мм, приведены на рис. 2.

Сравнение снимков с процессом флокуляции частиц разной крупности выявило следующее: с ростом крупности частиц флокуляция проявляется слабее, процессы сдвигаются в поля с более высокой напряженностью, что характерно как для наведенной, так и для собственной флокуляции; массивные наведенные флокулы образуются только в полях с высокой напряженностью, а собственные флокулы уменьшаются до 0,5 – 1,0 см; так, в частицах крупностью от –1,00 до 0,28 мм видны отдельные, несфлокулированные (немагнитные) частицы, не реагирующие на магнитное поле.

Отметим, что на обратную зависимость длины флокул от размера частиц, «сдвиг» максимальной длины флокул в более сильное намагничивающее поле с ростом крупности частиц обратил внимание Л.А. Ломовцев и др. в 1979 г [3].

«Ослабление» флокуляции с ростом размера частиц связано со снижением содержания в них железа, а также одновременным уменьшением величин магнитных характеристик. Разница в содержании железа в частицах классов –1,00 +0,28 и –0,07 +0 мм на материале слива гидроциклона составляет примерно 22 %, на частицах концентрата – около 15 %, а остаточная намагниченность меньше в два раза.

Процесс дефлокуляции материала продуктов обогащения

Размагничивание магнитных продуктов на разных стадиях технологии представляет более сложную тех-

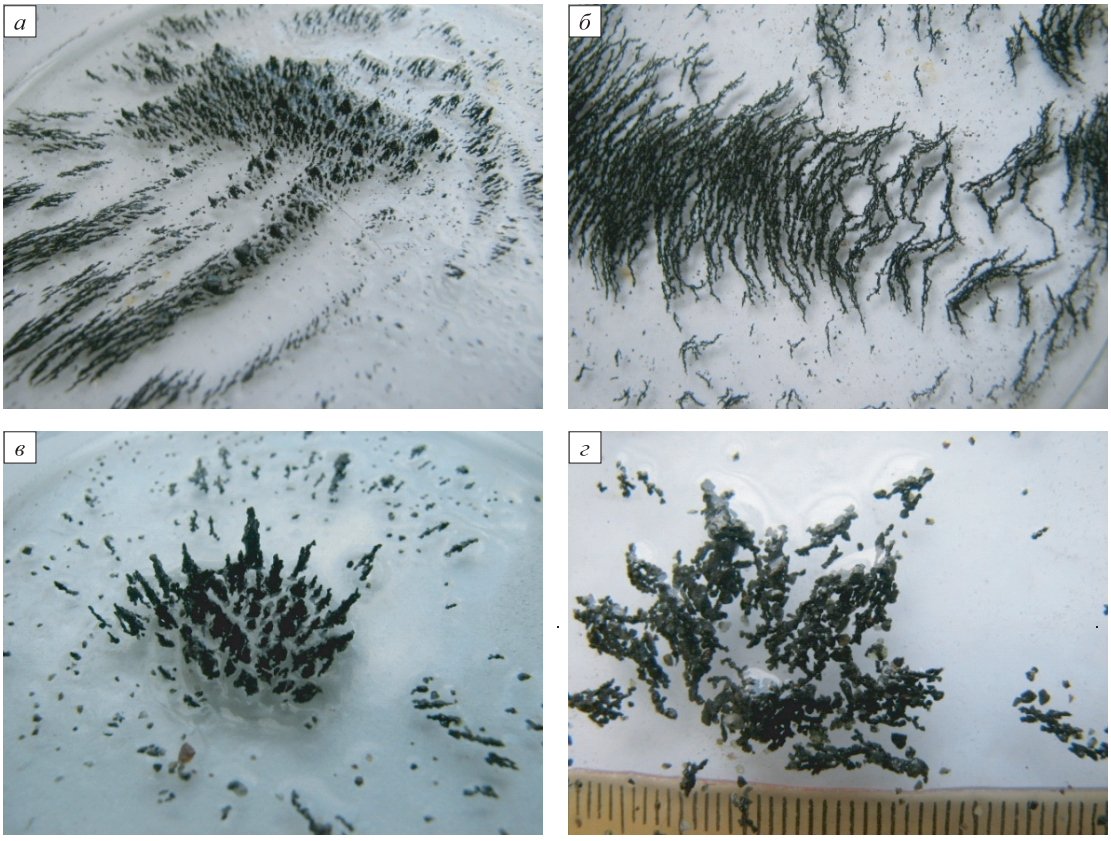

Рис. 2. Флокуляция частиц разной крупности:
а и *б* – концентрат класса –0,28 + 0,07 мм с наведенной и собственной (H = 24 кА/м) флокуляцией;
в и *г* – концентрат класса –1,00 + 0,28 мм с наведенной и собственной флокуляцией (H = 48 кА/м)

ническую задачу, чем намагничивание. Установлено, что максимальная напряженность магнитного поля, при которой необходимо начинать размагничивание ($H_р$), должна быть не меньше напряженности поля H_1, при которой индукция в образце (по основной кривой намагничивания) равна остаточной индукции, т.е. $H_р \geq H_1$. Опыты показали, что предельная магнитная дефлокуляция возможна при условии снижения остаточной намагниченности до нуля.

В работе [3] приведены две зависимости для определения максимальной напряженности размагничивающих полей тонкоизмельченных железных руд:

$$H_р = 28\sqrt[3]{H_с} \qquad (2)$$

и более общая

$$H_{рmax} = \frac{H_s}{\sqrt{3}}. \qquad (3)$$

Согласно многочисленным теоретическим и экспериментальным исследованиям, основными факторами при размагничивании являются: максимальная напряженность переменного размагничивающего поля, частота изменения поля, а также время размагничивания.

Эксперименты на рудах разного типа показали, что магнитомягкие руды полностью размагничиваются в переменных полях с напряженностью около 32 – 40 кА/м, для руд с высокой магнитной жесткостью требуются переменные поля с напряженностью 80 кА/м.

Примером эффективности операции размагничивания материала являются результаты испытаний на Абагурской аглофабрике высокочастотного грохота корпорации «Деррик» на концентрате первой стадии ММС в схемах без размагничивающего аппарата и с размагничивающей катушкой; размер частиц разделения 0,15 мм. Данные любезно предоставлены специалистами технического отдела обогатительной фабрики.

Использование в технологической схеме размагничивающего аппарата позволило увеличить выход подрешетного продукта на 17 % (с 34 до 51 %). Извлечение класса –0,07 +0 мм в подрешетный продукт выросло на 28,9 % (с 60,7 до 89,6 %), а эффективность грохочения – на 19,7 % (с 44,2 до 63,9 %). В итоге содержание железа в концентрате второй стадии ММС повысилось на 2,09 % (до 60,3 %), а выход – на 0,9 % (до 62,76 %).

В опытах настоящей работы фиксировался процесс размагничивания собственной флокуляции. Съемка процесса размагничивания непосредственно в переменном поле невозможна из-за возникающей вибрации катушки, поэтому съемку вели спустя 2 – 3 с после размагничивания. Пробы намагничивались полем с напряженностью $H = 48$ кА/м, напряженность размагничивающего поля составляла примерно от 6 до 40 кА/м.

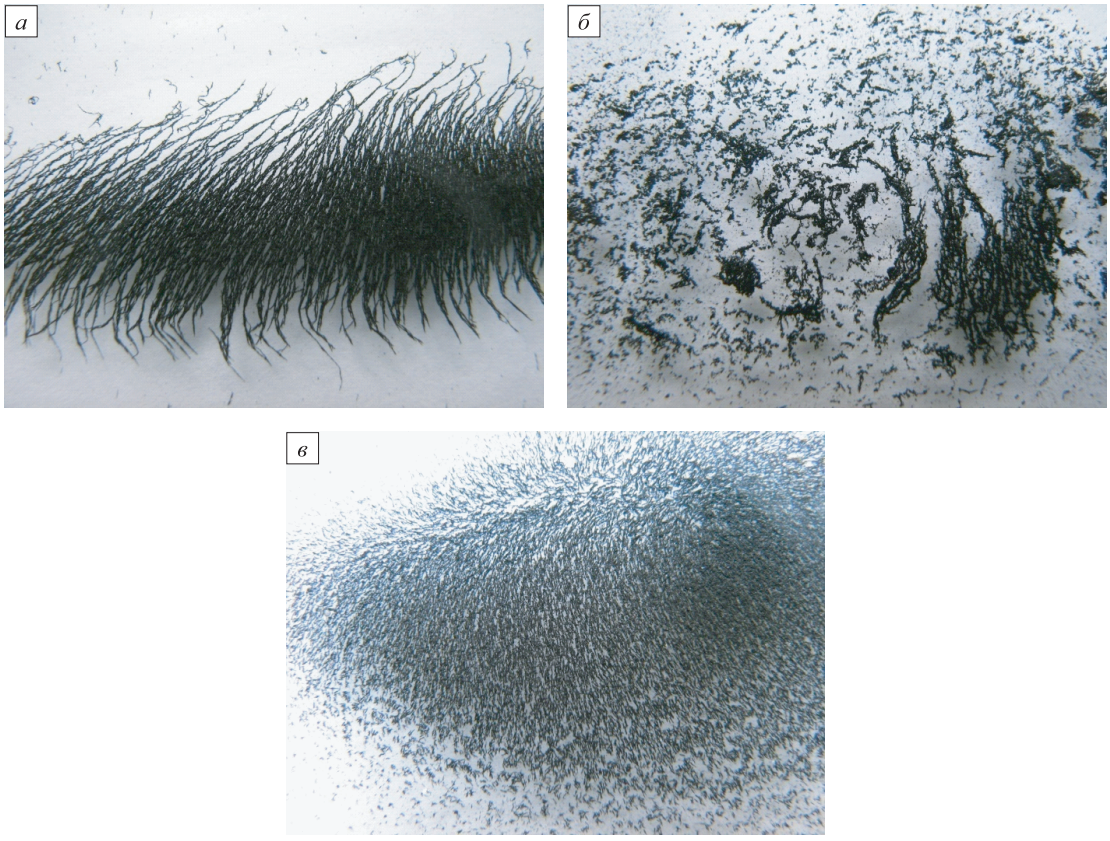

Рис. 3. Дефлокуляция продуктов:
а – исходная проба концентрата класса –0,07 + 0 мм, собственная флокуляция ($H = 48$ кА/м);
б и *в* – размагничивание в переменном поле с $H = 5{,}6$ кА/м и $H = 24$ кА/м

На рис. 3 представлены снимки дефлокуляции концентрата крупностью –0,07 +0 мм. Фотографии свидетельствуют о том, что распад флокул, отделение частиц из флокулы начинается в поле с напряженностью, равной коэрцитивной силе; в поле с более высокой напряженностью процесс ускоряется. Дефлокуляция «усиливается» с увеличением времени нахождения частиц в переменном магнитном поле.

Разницы в процессе дефлокуляции абагурских продуктов не обнаружено, переменного поля с напряженностью примерно 40 кА/м достаточно для размагничивания всех продуктов, что, как отмечено выше, является следствием близости величин их магнитных характеристик.

Описанная выше дефлокуляция наблюдалась на материале крупностью –0,07 +0 мм. С целью выяснения зависимости процесса размагничивания от крупности частиц опыты были проведены на классах –0,28 +0,07 и –1,00 +0,28 мм материала слива гидроциклона. Результаты размагничивания этих частиц в переменных полях с напряженностью от 5,6 до 40 кА/м приведены на рис. 4.

Съемка показала, что в слабом поле с коэрцитивной силой H_c крупные частицы не движутся, процесс разрушения флокул наступает в более сильных переменных полях с напряженностью от 24 до 40 кА/м. Неподвижными остаются слабомагнитные и нерудные частицы.

В целом наблюдается процесс, аналогичный процессу при увеличении крупности частиц (флокуляции). Его также можно объяснить снижением содержания железа и магнитных параметров в крупных частицах.

Формула (2) максимального переменного поля размагничивания класса –0,07 +0 мм дает величину напряженности $H_р$ = 50,4 кА/м при усредненной коэрцитивной силе продуктов 5,6 кА/м, что достаточно хорошо совпадает с экспериментальным полем напряженностью примерно 40 кА/м.

Выводы. Показана возможность изучения процессов намагничивания и размагничивания продуктов магнитного обогащения методом цифровой фотографии. Цифровая технология позволяет наблюдать и фиксировать процессы как образования флокул в постоянных магнитных полях, так и их разрушения в переменных полях; фотограмметрирование значительно сокращает время получения результата. Формы «наведенных» и «собственных» флокул различны. Существенных отличий во флокуляции и дефлокуляции разных продуктов не обнаружено. С увеличением размера частиц проб флокуляция и дефлокуляция проявляются слабее, что обусловлено заметным снижением содержания в них железа и параметров магнитных величин; процессы

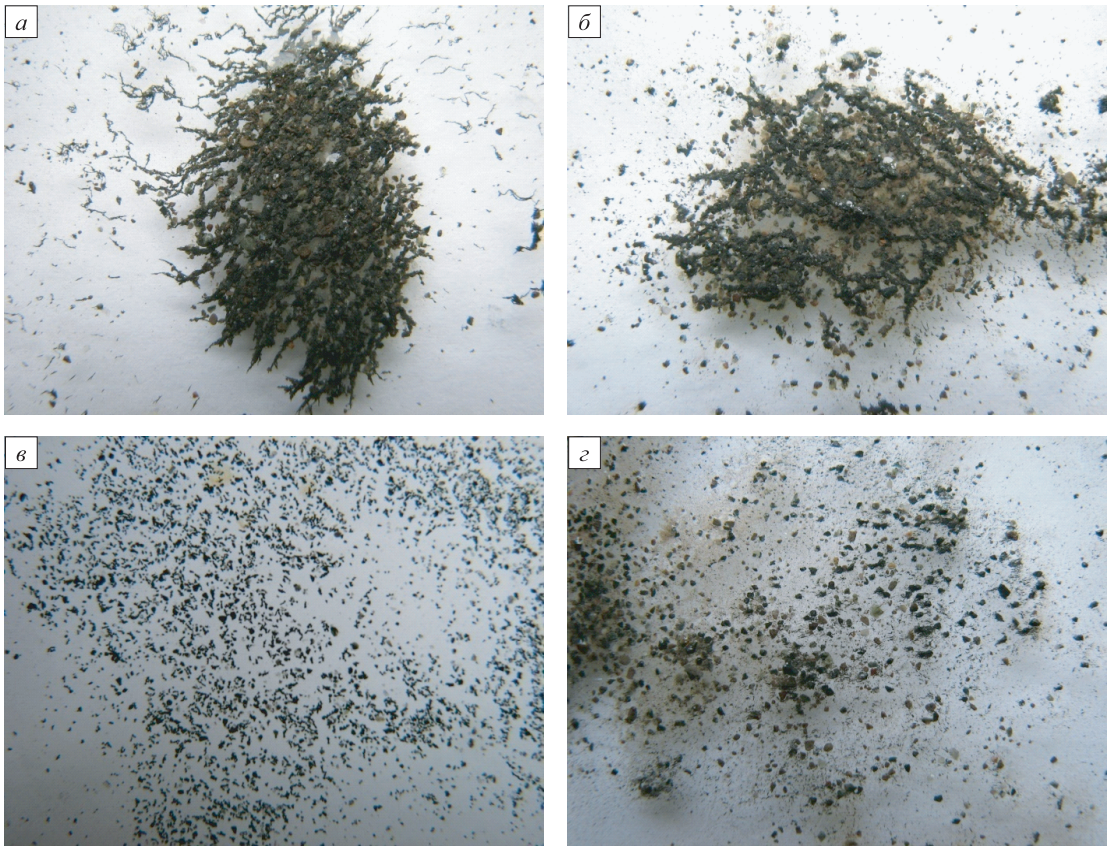

Рис. 4. Дефлокуляция частиц разной крупности:
а – исходные флокулы слива гидроциклона класса –1,00 + 0,28 мм, собственная флокуляция (H = 48 кА/м);
б – размагничивание в переменном поле частиц класса –1,00 +0,28 мм (H = 5,6 кА/м); *в* и *г* – размагничивание в переменном поле частиц классов –0,28 +0,07 и –1,00 +0,28 мм (H = 40 кА/м)

«сдвигаются» в поля более высокой напряженности. В переменных магнитных полях с напряженностью примерно 40 кА/м материал представляет собой отдельные разрозненные частицы. Такие поля можно считать оптимальными как для намагничивания, так и для размагничивания проб. Таким образом, параметры магнитных полей для флокуляции и дефлокуляции материала продуктов обогащения технически достижимы на обогатительной фабрике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волгай В.Ф., Кармазин В.И., Юров П.П. // Обогащение полезных ископаемых. Научно-технический сборник. – Киев: Техника, 1968. Вып. 3. С. 19 – 25.
2. Мелик–Гайказян В.И., Емельянова Н.П., Драганов А.В. и др. – В кн.: Сб. материалов V Конгресса обогатителей стран СНГ; Т. III. М., Альтекс, 23 – 25 марта 2005 г., – М.: МИСиС, 2005. С. 299 – 301.
3. Ломовцев Л.А., Нестерова Н.А., Дробченко Л.А. Магнитное обогащние сильномагнитных руд. – М.: Недра, 1979. – 235 с.
4. Кармазин В.В., Кармазин В.И., Бинкевич В.А. Магнитная регенерация и сепарация при обогащении руд и углей. – М.: Недра, 1968. – 199 с.
5. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. Т. 1. – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – 670 с.

© 2013 г. *Э.К. Якубайлик, В.И. Килин, М.В. Чижик, И.М. Ганженко, С.В. Килин*
Поступила 13 июля 2012 г.

УДК 669.18.14.018.294.2

А.Б. Юрьев[1], Н.А. Козырев[2], Д.В. Бойков[2], С.В. Фейлер[2], Т.П. Захарова[2]

[1] Сибирский государственный индустриальный университет
[2] ОАО «ЕВРАЗ – Западно-Сибирский металлургический комбинат»

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛЕННОСТИ РАСПЛАВА НА КАЧЕСТВО РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ

Аннотация. Представлено описание технологии производства вакуумированной рельсовой стали с выпуском металла из печи при содержании углерода не менее 0,10 % и присадкой на выпуске в ковш углеродсодержащего материала. Внедрение технологии обеспечило существенное снижение содержания кислорода и загрязненности стали строчками хрупкоразрушенных оксидов, что позволило освоить выпуск рельсовой продукции высшей категории качества.

Ключевые слова: рельсовая сталь, окисленность металла, неметаллические включения, вакуумирование, углерод, кислород, качество, металлопрокат.

IMPACT ON QUALITY OXIDIZED MELTS RAIL ELECTRIC STEEL

Abstract. The article describes the technology of vacuum degassed rail steel with the release of the furnace with a carbon content of at least 0.10 % and an additive in the production of carbonaceous material in the bucket. The introduction of technology has provided a significant reduction in oxygen levels and pollution have become lines brittle failure oxides, which will develop the production of rail products of the highest quality.

Keywords: rail steel, oxidized metals, nonmetallic inclusions, vacuum, carbon, oxygen, quality building products.

Отсутствие в технологической схеме производства металла современных агрегатов внепечной обработки стали создает значительные особенности и осложняет получение стабильных показателей качества металлопродукции. На этапе производства невакуумированной рельсовой стали в условиях ОАО «ЕВРАЗ – объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» были введены ограничения по массовой доле углерода в металле: при расплавлении не менее 0,70 %, перед выпуском полупродукта из печи не менее 0,60 % и в ковшевой пробе на агрегате ковш – печь не менее 0,50 % [1]. Такие ограничения обусловлены решением задач внепечной обработки, в том числе, успешной дегазации, гомогенизации стали по температуре и химическому составу и удалению неметаллических включений. Как известно, они связаны с необходимостью окисления определенного количества углерода. Необходимое количество окислившегося углерода для успешной дегазации рассчитывали с использованием уравнения Геллера [2], определяющее количество газа для продувки металла вычисляли по зависимости

$$S_p = \frac{224}{M_c k_c^2 P\left(\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_0} + C_1 - C_0\right)}, \qquad (1)$$

где S_p – количество газа для продувки, м^3/т; M_c – молярная масса удаляемого газа; k_c – константа равновесия реакции растворения газа; P – давление газа над расплавом, атм; C_0 и C_1 – начальное и конечное содержание удаляемого газа, %.