

Т.Я. Малышева, Ю.С. Юсфин, С.В. Плотников

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

МЕХАНИЗМ НАСТЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ОКАТЫШЕЙ ИЗ КОНЦЕНТРАТОВ РУД ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

В настоящее время в России основную долю железных руд, поступающих в металлургический передел, составляют железистые кварциты. Концентраты руд железистых кварцитов используются преимущественно для производства окисленных окатышей.

В стране сложились условия, при которых производитель железорудного сырья продает, а металлургическое предприятие покупает продукцию по двум показателям: Fe и SiO_2 без учета минеральной формы оксида кремния. В железных рудах различных генетических типов месторождений показатель SiO_2 объединяет целую группу кремнийсодержащих минералов. Каждый из силикатов имеет только ему присущие физико-механические и термические свойства, определяющие температурно-временные параметры режимов производства окискованного сырья [1].

В концентратах руд железистых кварцитов всех горно-обогажительных комбинатов оксид кремния представлен силикатами разного состава и свойств. В настоящее время при окислительном обжиге окатышей в процессе их упрочнения не учитываются состав и термические свойства кремний-щелочных силикатов, количество которых в концентратах незначительно по сравнению с преобладающим тугоплавким кварцем. Недооценка влияния малых количеств кремнийсодержащих минералов показана в предыдущей публикации [2], где на примере одного из комбинатов установлено влияние кремний-щелочных минералов руды на процесс упрочнения и качество промышленных окатышей. Показано, что промышленное производство зональных окатышей низких прочностных свойств явля-

ется, в том числе, и результатом недоработок в режимах обжига окатышей, которые осуществляются без учета содержания в концентрате низкотемпературных кремний-щелочных силикатов.

Одним из требований, предъявляемых к окатышам, используемым для металлизации в шахтной печи, является их высокая прочность при минимальном содержании щелочей [3, 4]. Поскольку ранее исследованные промышленные окатыши имели низкие показатели прочности, а сведения о влиянии щелочей в работах, касающихся процессов производства окатышей и состава металлизованных брикетов отсутствовали, были проведены исследования, касающиеся поведения зональных окатышей из концентратов руд железистых кварцитов в шахтной печи.

Конечным продуктом в процессе восстановительно-тепловой обработки окисленных окатышей в шахтной печи являются металлизованные брикеты. При эксплуатации шахтных печей в них образуются настывы, нарушающие ход восстановительного процесса окатышей. Настывы формируются по всей высоте печи. При достижении определенного размера настывов шахтную печь останавливают на ремонт, а настывы ликвидируют.

При остановке одной из таких печей для исследования были отобраны образцы настывов с целью определения фазового состава и механизма их образования. Настывы, отобранные со среднего горизонта печи, представляли собой плотные слоистые образования, где на их внешней (ближе к центру печи) стороне четко прослеживались прилипшие восстановленные до металла окатыши (рис. 1).



Рис. 1. Макроструктура настывов. Уменьшено в 10 раз

При оптическом анализе образцов поперечных разрезов настывей четко фиксируется последовательная смена микроструктур в каждом из заново образующихся слоев от футеровки печи до внутренней части настыви в момент остановки печи. Слои настывей, расположенные ближе к футеровке, имеют мелкокристаллическое строение, по направлению к центру печи кристаллическая структура укрупняется вплоть до налипания целых окатышей (рис. 1, 2).

Металлизированные участки отобранных настывей состоят из металла с тончайшими пленками стеклофаз. Предыстория различных слоев настывей сохраняется при анализе их микроструктур, сохранившихся при загрузке и восстановлении разрушенных частей окатышей (рис. 3).

В большей части образцов настывей сохраняется композиция мелких зерен металла и пленок стеклофазы, характерных для гематитовых оболочек окатышей. Прослеживается микроструктура ранее существовавшей в окатышах гематитовой связки и зерна кварца, оставшихся при обжиге окатышей вне процесса расплавообразования (рис. 3, а).

В настывях в меньшем количестве, но четко фиксируются микроструктуры ядер окатышей. Они отличаются от металлизированных оболочек окатышей крупностью зерен металла и заметно большим количеством стеклофазы по граням металлических кристаллов (рис. 3, б).

В составе сохранившихся металлизированных окатышей, отобранных с внешней стороны настывей, прослеживается граница двух зон промышленных окатышей – ядра и оболочки (рис. 3, в).

Таким образом, сравнительный анализ микроструктур металлизированных образцов в составе настывей позволяет установить характер разрушения зональных окатышей при перегрузках и твердофазном восстановлении их в шахтной печи, и при необходимости оценить качество используемых для металлизации окатышей.

Методом рентгеноспектрального микрозондирования в настывях различных слоев замерены пленки стеклофаз. Установлен большой разброс их составов. Это объясняется различным составом загружаемых окатышей с неодинаковой глубиной взаимодействия компонентов шихты при обжиге на конвейерной машине и временем существования настывей. Усредненные значения стеклофаз настывей приведены в таблице.

По результатам анализа составов стеклофаз в настывях обнаружено совершенно беспорядочное их расположение в массе металла. По многочисленным замерам стеклофаз и форме их выделения все они условно разделены на три группы. К первой группе отнесены чаще всего встречающиеся высокожелезистые стеклофазы, по составу близкие к различным объемам оболочек окатышей (образцы 1 – 4 в таблице). В группе высокожелезистых стеклофаз сохраняются практически одинаковые показатели их основности – 0,3, сумма щелочей колеблется от 1,5 до 1,9 % (по массе) и во всех случаях содержание Na_2O превышает количественно K_2O . Отношение суммы щелочей к SiO_2 , как и в окатышах, составляет 0,04 – 0,07, что указывает на их близость к расплавам, образовавшимся при термообработке в зонах обжига окисленных окатышей.

Вторая группа кремний-щелочных стеклофаз, обнаруженная в различных слоях настывей, представлена высококремнистыми фазами. В их составе преобладают три основных составляющих: оксиды кремния, алюминия и щелочей. В отличие от предыдущей группы стеклофаз у них более высокий показатель отношения суммы щелочей к оксиду кремния – до 0,11 (образцы 5 – 7 в таблице). Эти стеклофазы образовались в зоне обжига окатышей на месте обширной группы полевошпатовых минералов руды и остались в объемах окатышей с наименьшей глубиной взаимодействия компонентов шихты. А затем вместе с продуктами разрушения окатышей оказались в составе настывей.

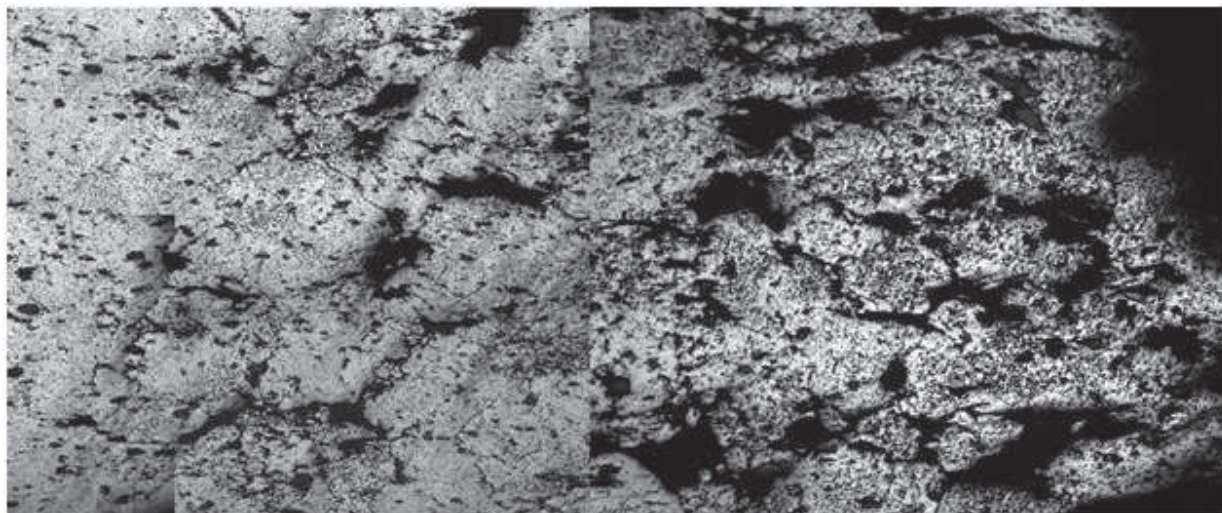


Рис. 2. Фрагмент микроструктуры слоя настыви. Отраженный свет, $\times 100$

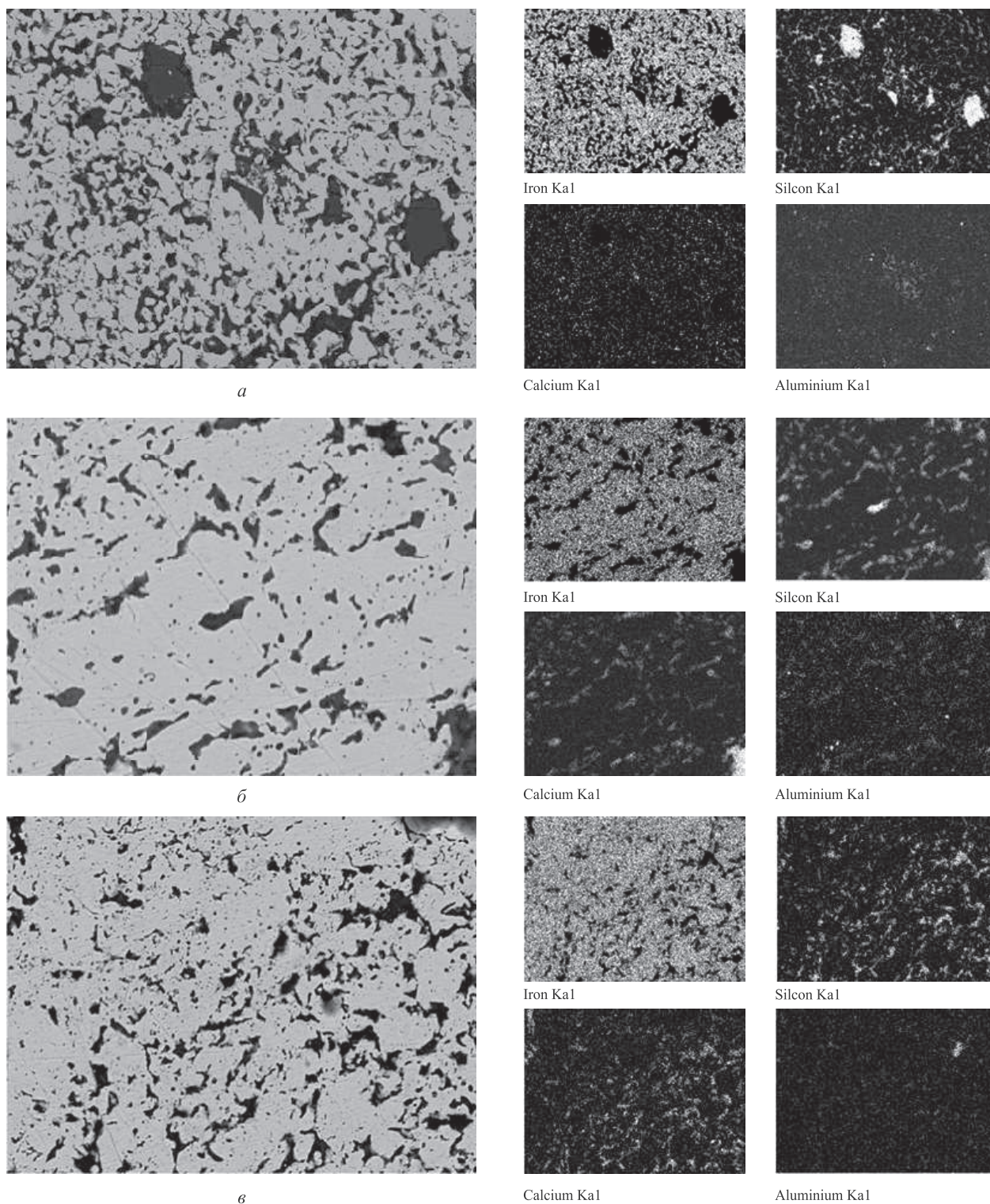


Рис. 3. Фрагменты микроструктуры настелей на месте оболочки (*а*), ядра (*б*) и на контакте оболочки и ядра (*в*) окатышей в обратно рассеянных электронах и рентгеновском излучении Fe, Si, Ca, Al. $\times 1000$

При исследовании настелей не редко можно встретить стеклофазы занимающие промежуточное положение между высокожелезистыми и высококремнистыми фазами. Установлено, что в третьей группе стеклофаз (образцы 8, 9 в таблице) их первичный расплав при обжиге окатышей тоже отвечал объемам шихты, обогащенным обломками зерен полевого шпата, только гл-

бина взаимодействия компонентов шихты была выше и в процессе расплавообразования принимали участие ранее образовавшиеся железосиликатные расплавы. По своему химическому составу стеклофазы третьей группы занимают промежуточное положение как по количеству оксидов кремния и алюминия, так и по содержанию щелочей. Высокий показатель отношения суммы

Усредненные составы стеклофаз в настывах среднего уровня шахтной печи

Номер образца	Содержание, % (по массе)									
	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe	CaO/SiO ₂	Na ₂ O + K ₂ O	(Na ₂ O + K ₂ O)/SiO ₂
1	31,6	1,3	0,4	10,5	5,6	1,7	38,1	0,33	1,7	0,05
2	30,0	1,0	0,8	9,2	4,2	6,3	43,1	0,31	1,8	0,06
3	27,6	1,4	0,5	7,4	5,2	2,7	50,4	0,28	1,9	0,07
4	34,5	0,9	0,6	10,0	3,5	5,6	45,7	0,30	1,5	0,04
5	68,0	3,2	4,5	5,1	14,6	1,6	3,4	0,07	7,7	0,11
6	66,5	7,0	0,7	4,0	21,0	0,3	1,9	0,06	7,7	0,11
7	62,5	6,3	1,0	7,3	20,3	1,5	1,5	0,11	7,3	0,11
8	49,5	1,9	1,9	9,5	6,7	3,8	20,7	0,20	3,8	0,08
9	50,0	2,6	1,6	8,7	8,5	3,6	19,8	0,17	4,2	0,08

щелочей к оксиду кремния (0,08) этой группы стеклофаз подтверждает механизм формирования кремний-щелочных расплавов на стадии окислительного обжига окатышей и сохранения их в процессе твердофазного восстановления в шахтном процессе.

Для условий горно-обогатительного комбината, производящего зональные окатыши низких прочностных свойств, процесс настывлеобразования начинается до загрузки окатышей в шахтную печь. Слабыми зонами окисленных окатышей являются области на границе магнетитового ядра и гематитовой оболочки и микроструктура гематитовой связки в самой оболочке. При перегрузках продуктами разрушения становятся обломки магнетита ядра со стеклофазой и продукты истирания гематитовых оболочек, состоящих из комбинации тонких зерен гематита – связки окатышей и стеклофазы.

В результате в восстановительную зону шахтной печи поступают целые окатыши и мелкие фракции, образовавшиеся при их разрушении, состоящие из рудных фаз в сростках со стеклофазой разного состава. Термический анализ проб последующих партий промышленной продукции позволил уточнить интервал плавления стеклофаз, который составил 650 – 800 °С, что несколько отличается от результатов работы [2].

В низкотемпературной зоне шахтной печи процессы превращения окисленных окатышей в металлизированный продукт начинаются с самой мелкой рудной фракции. Первыми при восстановлении рушатся точечные контакты тонких кристаллов гематитовой связки оболочки окатышей в результате восстановления гематита до вюстита (рис. 4). При этом количество тонкой реакционноспособной фракции в составе загружаемого

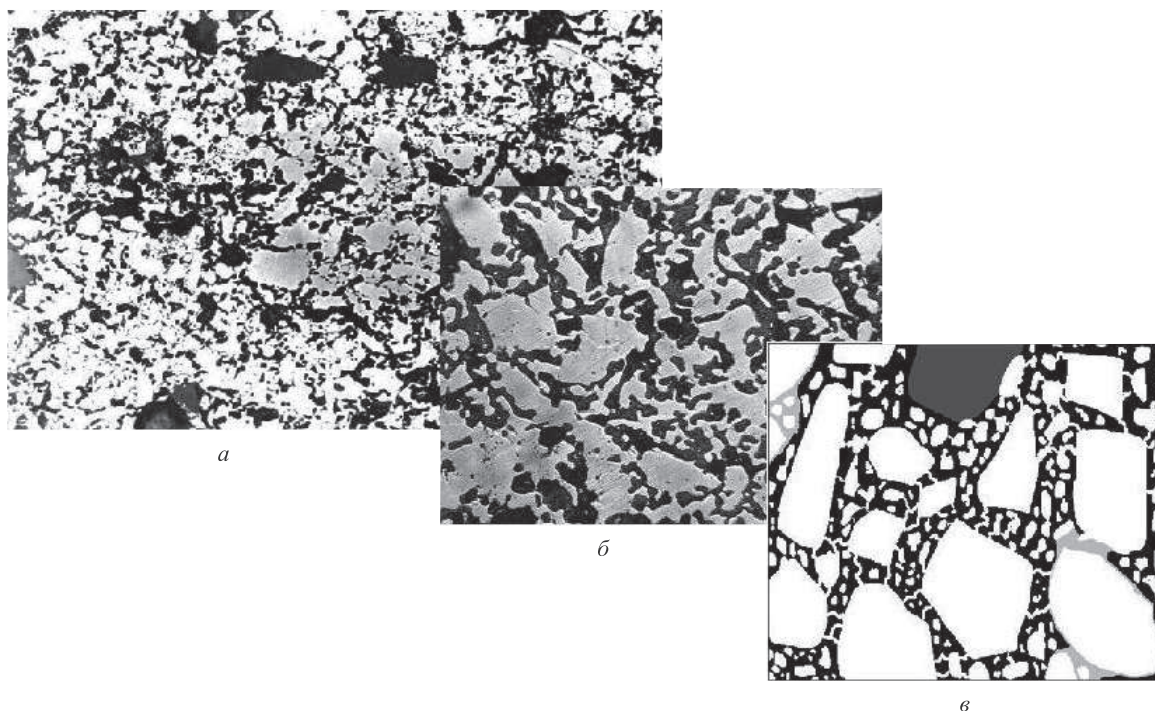


Рис. 4. Микроструктура связки оболочек окатышей (а, $\times 250$); фрагмент связки (б, $\times 1000$); схема структуры связки (в)

в шахтную печь материала увеличивается. Представляется, что появление вюстита и размягчение кремний-щелочной стеклофазы происходит практически в одном температурном интервале. В результате образуется жидкопластическая масса, которая наряду с различными продуктами мелких фракций разрушенных окатышей отжимается противотоком газа в сторону футеровки печи. Процесс появления в шахтной печи размягченного материала, состоящего из вюстита и вязкой массы расплавленных стеклофаз, является началом настylieобразования. Пластическо-жидкое состояние высококремнистого расплава в самом начале восстановительного процесса позволяет утверждать, что именно низкотемпературный кремний-щелочной расплав стеклофаз, образовавшихся при термообработке окатышей в зоне обжига, является основным «строителем» настylieй. При металлзации настylieй кремний-щелочные расплавы оказываются «запакованными» в металл и в течение существования настylieй их состав остается без изменения.

Процесс разрушения окатышей, восстановления рудных фаз и плавления силикатных одинаково повторяется при каждой следующей загрузке в шахтную печь новых партий окатышей, что подтверждается особенностями самих настylieй, имеющих равномерно повторяющуюся слоистую микро- и макроструктуру (см. рис. 1).

Выводы. Особенностью шахтного процесса при использовании зональных окатышей из концентратов руд железистых кварцитов является активное настylieобразование, нарушающее ход восстановительного процесса.

Причиной настylieобразования является наличие в составе окатышей кремний-щелочной стеклофазы с температурой плавления ниже, чем температуры в основных зонах шахтной печи.

Настylieобразование происходит при одновременном разрушении и восстановлении фрагментов магнетитового ядра, гематитовой оболочки и плавления кремний-щелочной стеклофазы с появлением жидкопластических масс. Процесс настylieобразования последовательно повторяется при загрузке каждой новой порции окатышей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малышева Т.Я., Юсфин Ю.С., Плотников С.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 3 – 5.
2. Малышева Т.Я., Юсфин Ю.С., Плотников С.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 11. С. 15 – 19.
3. Горбачев В., Бабай В., Копоть Н. и др. // Сталь. 2002. № 2. С. 23 – 24.
4. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Крахт Л.Н. // Металлург. 2011. № 11. С. 38 – 41.

© 2012 г. Т.Я. Малышева, Ю.С. Юсфин, С.В. Плотников
Поступила 17 января 2012 г.

УДК 669.712.002

Г.С. Подгородецкий¹, В.Б. Горбунов¹, В.В. Коровушкин¹, А.В. Панов²

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

² ООО «Объединенная Компания РУСАЛ Инженерно-технологический центр»,
обособленное подразделение по г. Санкт-Петербург

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КРАСНОГО ШЛАМА ТЕКУЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА УРАЛЬСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА

В мире в настоящее время складировано приблизительно 2,7 млрд т красного шлама и эти запасы пополняются примерно на 120 млн т/год [1]. Проблема переработки бокситовых хвостов возникла с момента разработки процесса Байера и осознания, что при его осуществлении образуется большое количество отходов (0,9 – 1,6 т шлама на 1 т глинозема). Вовлечение в переработку методом Байер-спекание более бедных бокситовых руд повышает выход отвальных шламов до 2,5 т на 1 т глинозема. Содержание в красных шламах от 30 до 45 % железа общего позволяет рассматривать этот вид отхода как потенциальное сырье черной металлургии. В данном направлении на протяжении более 50 лет проводились исследовательские работы, были опубликованы тысячи статей и патентов, однако ни одно предложение по переработке этого вида отходов не по-

лучило широкого распространения [2 – 4]. Связано это как с общими свойствами красных шламов (высокая дисперсность, влагоемкость, значительное содержание щелочей и т.д.), так и с индивидуальными свойствами, определяемыми видом исходного сырья и способом его переработки. В этой связи наиболее последовательным шагом при поиске технического решения переработки красного шлама является изучение структуры и физико-химических свойств отходов конкретного завода.

В данной работе с помощью спектральных методов изучен состав, структура и термические характеристики красного шлама (КШ) текущего производства Уральского алюминиевого завода (УАЗ), химический состав основных компонентов которого приведен в табл. 1.

Рентгенофазовый анализ (РФА) проведен на дифрактометре X'PertPRO (Pananalytical, Нидерланды) в