

УДК 691.512:004.82

ОТХОДЫ ФЛОТАЦИИ ХВОСТОВ МОКРОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ – АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКООБЖИГОВОГО ВЯЖУЩЕГО АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Шаповалов Н.А., Бушуева Н.П., Панова О.А., Мухачева В.Д.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, e-mail: px_2011@list.ru

В процессе мокрой магнитной сепарации (ММС) железистых кварцитов выделяется магнетитовый концентрат, который может быть направлен на дообогащение методом флотации, и хвосты ММС, сбрасываемые в хвостохранилище. В хвостах содержится значительное количество оксида кремния в виде кварца, 20-37% гематита, некоторое количество слоистых алумосиликатов и менее 2% пирита. В данной статье представлены результаты исследований фазового состава отходов флотации хвостов мокрой магнитной сепарации Михайловского ГОКа КМА, состояния кристаллической структуры минералов, поведения их при обжиге, а также оценена возможность использования отходов флотации хвостов мокрой магнитной сепарации для получения низкообжигового вяжущего известково-белитового состава. Корректировка состава сырьевой смеси при добавлении отходов флотации хвостов ММС (гидравлический модуль $m = 2,22 - 1,43$) позволяет получить при температурах 1100-1200°C продукт, в составе которого, кроме основных минералов СаО и двухкальциевого силиката, содержатся алюминаты и ферриты кальция. Причем оксиды, содержащиеся в сырьевой смеси, способствуют образованию гидравлически активных форм ортосиликата кальция – α' - и β -2СаО:SiO₂.

Ключевые слова: вяжущее, двухкальциевый силикат, оксид кальция, модификация, полиморфизм, отходы флотации, хвосты мокрой магнитной сепарации, кварц, структура, алюминаты и ферриты кальция, обжиг, активность, фазовый состав.

WASTE OF FLOTATION OF TAILS OF WET MAGNETIC SEPARATION – THE ACTIVE COMPONENT FOR RECEIVING NIZKOOBZHIGOVY KNITTING AUTOCLAVE CURING

Shapovalov N.A., Bushueva N.P., Panova O.A., Mukhacheva V.D.

The belgorod the state technological university of V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: px_2011@list.ru

In the course of the wet magnetic separation (WMS) of ferriferous quartzites the magnetitovy concentrate which can be directed on enrichment by a flotation method, and the tails of a MMS dumped in the tailings dam is allocated. Tails contain a significant amount of oxide of silicon in the form of quartz, 20-37% of hematite, a quantity of layered aluminosilicates and less than 2% of pyrites. Results of researches of phase structure of waste of flotation of tails of wet magnetic separation of Mikhaylovsky GOKA KMA, condition of crystal structure of minerals, their behavior are presented in this article when roasting, and also possibility of use of waste of flotation of tails of wet magnetic separation for receiving nizkoobzhigovy knitting limy and belite structure is estimated. Correction of composition of raw mix at addition of waste of flotation of tails of a MMS (the hydraulic module $m = 2,22-1,43$) allows to receive at temperatures 1100-1200 °C a product as a part of which SAO except the main minerals and two-calcic silicate contain aluminates and calcium ferrite. And the oxides containing in raw mix, promote education hydraulically active forms ортосиликата calcium – α' - and β -2CaO:SiO₂.

Keywords: knitting, two-calcic silicate, oxide of calcium, modification, polymorphism, flotation waste, tails of wet magnetic separation, quartz, structure, aluminates and calcium ferrite, roasting, activity, phase structure.

При производстве вяжущих материалов строительного назначения широко используют различные техногенные продукты, целесообразность применения которых диктуется основными факторами: необходимостью экономии сырьевых ресурсов, защиты окружающей среды и стремлением достичь высоких технико-экономических показателей, преимущественно за счет снижения топливно-энергетических затрат. Важным поставщиком сырья для производства вяжущих материалов являются горнодобывающие и горно-обогажительные производства. Известны примеры эффективного применения вскрышных пород железорудных бассейнов [6], позволяющих получать вяжущие, характеризующиеся не только высокой активностью, но и

способные твердеть в различных условиях. Сырьевые материалы, используемые для получения вяжущего, определяют последовательность фазовых изменений при термическом воздействии, скорость процессов, режимы термической обработки, энергетические затраты. Поэтому при выборе сырьевых компонентов необходимо их тщательное изучение фазового и химического состава с целью прогнозирования поведения при обжиге и получения продукта заданного фазового состава и требуемых эксплуатационных свойств.

Для изготовления изделий автоклавного твердения используются вяжущие, содержащие известь и двухкальциевый силикат. Известно, гидравлической активностью в естественных условиях твердения облада-

ют β - и α' - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, но процесс гидратации и образование прочной кристаллической структуры протекает очень медленно. Для ускорения процесса твердения в условиях производства используется повышенная температура и среда насыщенного водяного пара. γ -модификация, устойчивая при температуре ниже 850°C форма двухкальциевого силиката, взаимодействует с водой только в гидротермальных условиях.

Известны составы вяжущих, содержащих CaO и $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, полученных на основе различных отходов [1, 7]. Однако содержание в них ферритов кальция не превышает 3-3,5%. Для снижения температуры синтеза вяжущего и повышения его активности в гидротермальных условиях необходимо вводить в состав сырьевой смеси железосодержащий компонент. Отходы флотации хвостов ММС содержат значительное количество оксидов железа (Fe_2O_3 , FeO) и могут быть использованы в качестве корректирующей добавки при получении низко-обжигового вяжущего автоклавного твердения.

Материалы, методы и исследований

Отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС) Михайловского горно-обогатительного комбината визуально представляют собой техногенный тонкодисперсный песок темно-серого цвета, состоящий из неокатанных частичек кварца (около 60%), слоистых алюмосиликатов, карбонатов, магнетита, гематита и их агрегатов, возможно содер-

жание небольшого количества пирита. Модуль крупности значительно меньше 1, около 80-85 % частичек – меньше 0,074 мм, средневзвешенный диаметр 0,08-0,13 мм. Запасы такого песка в отвалах КМА составляют сотни миллионов тонн, что позволяет рассматривать их в качестве мощной сырьевой базы для промышленности строительных материалов.

Исследования хвостов мокрой магнитной сепарации показало, что их отдельные частички состоят из полиминеральных и мономинеральных агрегатов. Мономинеральные зерна агрегатов состоят преимущественно из кварца остроугольной, несколько вытянутой формы, с ярко выраженным раковистым изломом и шероховатой поверхностью.

Редкие мономинеральные агрегаты магнетита и гематита сложены мелкими идиоморфными зёрнами, реже находятся в виде сложных полиэдрических сростков, вытянутых по диагонали к полосчатой текстуре, часто встречаются обломки кристаллов магнетита, образовавшегося за счет разрушения порфиробластов. В большинстве случаев встречаются полиминеральные агрегаты, которые состоят из частичек кварца, магнетита, гематита и других минералов.

Результаты исследований

По данным рентгенофазового анализа, выполненного на рентгенофлуоресцентном спектрометре серии ARL 9900 WorkStation с встроенной системой дифракции (рис. 1), в хвостах ММС преимущественно содержится кварц (дифракционные отклонения 4,27; 3,35; 2,28 Å), но присутствуют гематит (d 2,706; 2,52; 2,21 Å), слоистые минералы биотит и хлорит (d 10,048; 3,351; 2,908; 2,5218 Å), пирит (d 2,71; 2,21; 1,63 Å).

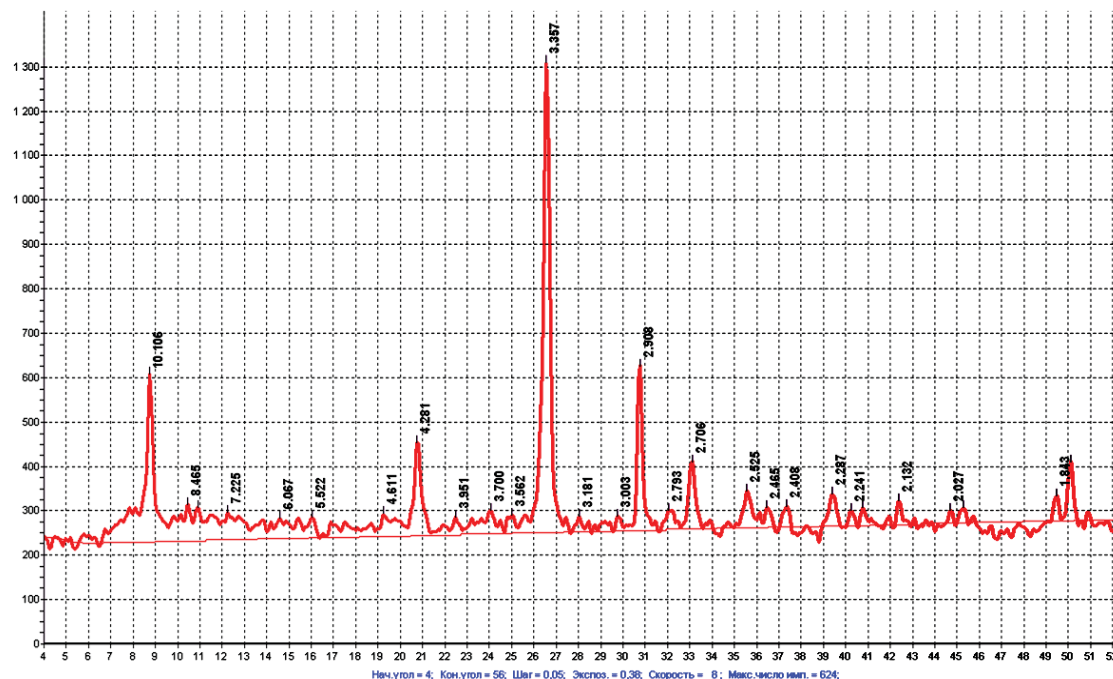


Рис. 1. Рентгенограмма отходов флотации хвостов ММС

Минеральный состав отходов флотации хвостов ММС следующий: кварц до 50%, карбонаты 4-8%, силикаты (биотит, хлорит) 6-10%, гематит 30-35%, магнетит 11-12%, пирит 2-3%. Дифференциально-термический анализ (рис. 2) подтверждает результаты рентгенофазового.

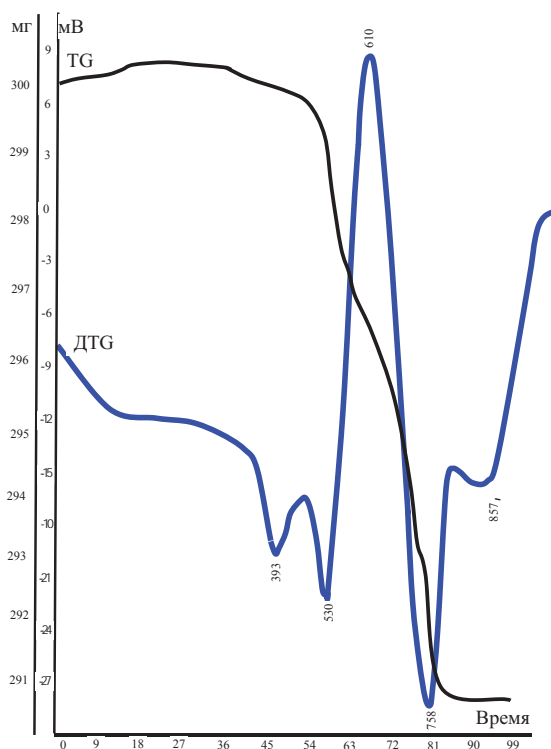


Рис. 2. Дифференциально-термический анализ отходов флотации хвостов ММС

Дифференциально-термическая кривая не имеет четких эндо- и экзотермических эффектов в интервале температур 300-900°C, поэтому на рис. 2 изображены кривые TG и DTG. Анализ этих кривых показывает, при интервале температур 390-420°C происходит окисление железа Fe^{2+} в Fe^{3+} , что подтверждает присутствие некоторого количества в отходах флотации магнетита и пирита. В этом же температурном интервале возможно удаление химически связанной воды из гидрогематита. В интервале температур 530-757°C наблюдается потеря массы на 2,67%, что можно отнести к выделению конституционной воды из биотита и других слоистых алюможелезистых силикатов (хлорита, гидробиотита) [5, 4].

Размытый эндотермический эффект (-) 530-580°C подтверждает присутствие кварца, в этом температурном интервале наблюдается полиморфное превращение β -кварца в α -кварц, которое относится по характеру изменения термодинамических свойств в

точке превращения к фазовым превращениям второго рода. Структурные перестройки при переходе β -кварца в α -кварц связаны с изменением угла связи Si-O-Si от 143,9 до 150°C, они происходят не при конкретной температуре, а в температурном интервале. Присутствие магнетита подтверждает наличие небольших экзотермических эффектов (+) 400, 650°C, при этих температурах наблюдается сначала окисление магнетита до маггемита $\gamma-Fe_2O_3$, а затем его полиморфное превращение в гематит $\alpha-Fe_2O_3$ [4, 2].

Эндотермический эффект (-) 960°C свидетельствует о разрушении кристаллической решетки слоистых алюможелезистых силикатов с образованием оксидов Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , которые в последующем будут активно участвовать в реакциях минералобразования при обжиге с карбонатным компонентом.

В целом рентгеновские исследования и результаты ДТА отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов показали, что степень кристалличности кварца ниже кристалличности кварца песков Вольского и Нижне-Ольшанского месторождений, что свидетельствует о более высокой реакционной способности этих генетических типов кварца по сравнению с кремнеземом песков.

Биотит $K_2O \cdot 6(Mg,Fe)O \cdot 2(Al,Fe)_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ относится к классу слоистых алюмосиликатов, в которых три вершины каждого тетраэдра соединены с соседними, благодаря чему имеет место совершенная спайность. Он образует резко удлиненные лейсты с зазубренными краями, которые в срезе перпендикулярно сланцеватости имеют столбчатые формы. Кристаллы биотита встречаются в виде отдельных чешуек. Размер лейст варьирует в пределах 0,03x0,01 мм до 0,4x0,1 мм. Цвет биотита коричнево-бурый.

Потеря химически связанной воды и разрушение кристаллической структуры биотита может происходить в температурном интервале 900-1050°C [5, 2], что практически совпадает с процессом декарбонизации $CaCO_3$. Это создает предпосылки интенсивного процесса взаимодействия продуктов разложения с образованием минералов, в том числе и двухкальциевого силиката. Присутствие в составе биотита ионов Fe^{2+} может способствовать кристаллохимической стабилизации гидравлически активных модификаций ортосиликата кальция (β - и α' - $2CaO \cdot SiO_2$).

Хлорит – это водный алюмосиликат, содержащий в своем составе ионы Mg^{2+} , Fe^{2+} . Кристаллы хлорита имеют изометричную или слегка удлиненную форму, размер – до 0,1 мм, развиты среди кварца и биотита. В

основной массе встречается микрокристаллический агрегативный бледнозеленый хлорит размером не более 0,005 мм. Среднее его содержание – менее 2-2,5%.

Гематит имеет пластинчатую структуру коричнево-красного цвета, встречаются также в виде листочков или зернышек. Размер зерен колеблется в пределах 0,01 – 0,2 мм, в среднем – 0,07 мм. Содержание его в хвостах составляет 6 – 10%.

Для Fe_2O_3 характерен полиморфизм [2]. Это V-ый тип полиморфных превращений, не связанных с изменением структуры, но сопровождается скачкообразным изменением параметров ячейки, объема и других свойств кристалла в точке перехода, структура типа корунда сохраняется.

Пирит – это сульфидсодержащий минерал с химической формулой FeS_2 , содержится в хвостах мокрой магнитной сепарации в количестве не более 1,5%. По данному химического состава отходов флотации хвостов ММС, содержание SO_3 составляет 0,13%, что возможно из-за присутствия пирита. Вследствие наличия в исследуемой пробе отходов небольшого количества этого минерала (менее 2%) методами физико-химического анализа (РФА, ДТА) не удалось его зафиксировать, однако под микроскопом он идентифицирован в виде единичных зерен размером 0,01-0,07 мм. Возможность его присутствия в большем количестве определяет необходимость исследования его поведения при обжиге карбонатно-кремнеземистой смеси, тем более при термической обработке пирит сначала разлагается, а затем окисляется до Fe_2O_3 [8].

Проведенные исследования фазового состава отходов флотации хвостов мокрой магнитной сепарации, состояния кристаллической структуры минералов показывают, что они представляют определенный интерес для их применения в качестве сырьевого компонента низкообжигового вяжущего, используемого для получения силикатных материалов автоклавного твердения.

При обжиге карбонатно-кремнеземистой смеси происходят сложные физико-химические процессы, приводящие к образованию минералов – оксида кальция, силикатов, алюминатов и ферритов.

Стабилизация высокотемпературной модификации α' - $2CaO \cdot SiO_2$ и метастабильной формы β - $2CaO \cdot SiO_2$ осуществляется путем введения в их состав посторонних различных ионов. Эффективными стабилизаторами этих кристаллических разновидностей являются соединения Cr_2O_3 , Mn_2O_3 , P_2O_5 , $(Na_2O + Fe_2O_3)$, $(Na_2O + Fe_2O_3)$, FeO и др. [8]. Некоторые из этих оксидов присутствуют в шлаке ОЭМК или в отходах флотации

хвостов ММС и могут оказать стабилизирующее действие на процесс образования гидравлически активных форм двухкальциевого силиката.

В результате ранее проведенных исследований получено: содержащие в хвостах ММС магнетит, гематит, биотит, а также пирит интенсифицируют процесс декарбонизации, совпадение температур образования оксида кальция и разложения биотита на составляющие оксиды ускоряет процессы массопереноса и взаимодействия частиц в твердой фазе с образованием минералов [9, 10]. Присутствие ионов железа в различном валентном состоянии Fe^{3+} и Fe^{2+} в сырьевой смеси способствует не только образованию ферритов кальция, но и стабилизирует гидравлически активные формы двухкальциевого силиката α' - и β - $2CaO \cdot SiO_2$. Образовавшийся феррит кальция $2CaO \cdot Fe_2O_3$ в вяжущем окажет положительное влияние на свойства изделий на его основе [9-11].

Поскольку исследуемые выше минералы оказывают интенсифицирующее воздействие на процесс разложения карбоната кальция, способствуют образованию силикатов, алюминатов, ферритов, обладающих вяжущими свойствами, смесь мел, шлак, хвосты ММС с гидравлическим модулем $m=1,43$ подвергали дифференциально-термическому анализу, результаты которого представлены на рис. 3.

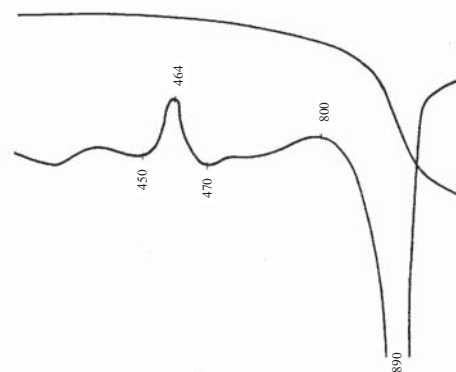


Рис. 3. Термограмма смеси мел, шлак, хвосты ММС

Анализ эндотермических и экзотермических эффектов на термограмме (рис. 3) показывает, минеральные составляющие шлака, хвостов мокрой магнитной сепарации интенсифицируют процесс декарбонизации, которая начинается уже при температуре 800°C и с высокой скоростью протекает при 890°C (эндотермический эффект при 890°C).

Для определения фазового состава продукта обжига ($m=1,43$) был проведен рентгенофазовый анализ, результаты которого

представлены на рис. 4. Данные рентгенофазового анализа полученного вяжущего свидетельствуют о наличии значительного количества $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и оксида кальция. Отчетливые дифракционные максимумы 2,784; 2,41; 1,70 Å относятся к $\text{CaO}_{\text{своб}}$, а 2,784; 2,743; 2,17 Å – к α' - и β - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. Это преобладающие фазы продукта обжига.

Определение α' - и β - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ на рентгенограммах осуществимо по соотношению дифракционных максимумов $I_{2,40}/I_{2,86}$. При соотношении меньше 0,95 для продукта обжига идентифицируют наличие в нем некоторого количества α' - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. В конкретном случае $I_{2,40}/I_{2,86}=0,68-0,75$, что характерно для α' - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$.

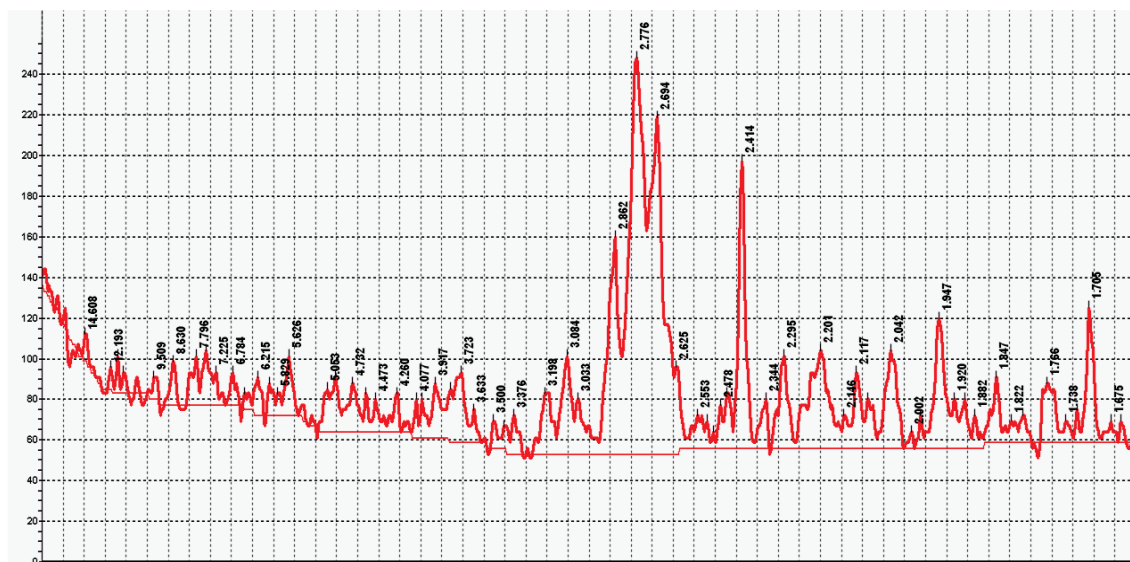


Рис. 4. Рентгенограмма продукта обжига ($m=1,43$, $t_{\text{обж.}}=1100^\circ\text{C}$)

Небольшие пики по высоте 2,98; 2,96; 2,50; 2,702; 2,44; 1,945 Å соответствуют присутствию в небольшом количестве $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ и $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. Образовавшийся SO_3 в процессе обжига сырьевой смеси и содержащийся в шлаке в количестве 1,4% способствует появлению сульфоалюмината состава $3(\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3)\cdot\text{CaSO}_4$ (d 3,73; 2,66; 2,18 Å), который стабилен до 1200°C [3]. Образование этого соединения, по-видимому, препятствует связыванию CaO и Al_2O_3 в высокоосновной алюминат кальция $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, который обладает высокой скоростью гидратации. Поэтому в основном образуются $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ и $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, а избыточное количество CaO связывается в силикаты.

Итак, присутствие железосодержащих минерализующих и модифицирующих компонентов в смесях для получения низко-обжигаемого вяжущего позволяет получить реакционно-способную сырьевую смесь, способствует образованию минералов-силикатов, что обусловлено внедрением ионов R^+ , Al^{3+} , SO_4^{2-} в их структуру, искажением кристаллической решетки и приводящим к образованию более высокотемпературной формы α' - совместно с метастабильной модификацией β - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$.

Следовательно, для получения известково-белитового вяжущего с использованием отходов флотации хвостов ММС необходимо взять сырьевую смесь шлак, белгородский мел, отход, обжигать при температуре 1100, 1200 °С, что позволит получить продукт, в составе которого основные кристаллические фазы – $\text{CaO}_{\text{своб}}$, α' -, β - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, а также $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ и $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$.

Список литературы

1. С.с. СССР № 1655946. Bushueva N.P., Vorob'ev Kh.S., Sokolovskiy V.A., Kudayarova N.P. Vyazhushchee dlya izgotovleniya izdeliy avtoklavnoy tverdeniya // 1991. Byul. № 22.
2. Betekhtin F.G. Kurs mineralogii. Uchebnoe posobie. M.: KDU, 2007. 721 s.
3. Butt YU.M., Timashev V.V. Portlandsementnyy klinker. M.: Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, 1967. 303 s.
4. Goncharov U.I., Lesovik V.S., Goncharova M.U., Strokova V.V. Mineralogiya I petrografiya syrya dlya proizvodstva stroitelnykh materialov I tekhnicheskoy keramiki. Uchebnoe posobie. Belgorod.: BelGTASM, 2001. S. 85-86.
5. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savelev B.G. Metody fiziko-khimicheskogo analiza vyazhushchikh veschestv. Uchebnoe posobie. M.: Vysshaya shkola, 1981. S. 209-210.
6. Gridchin A.M., Lesovik G.A., Avilova E.N., Glagolev E.S. Reshenie problemy utilizatsii tekhnogennoy syrya KMA // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2009. № 4. S. 7-11.

7. Kudeyarova N.P., Tsypchenko N.V. Vyazhuschee na osnove staleplavilnykh shlakov / N.P. Kudeyarova, N.V. Tsypchenko // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya Stroitelstvo*. 2004. № 5. P. 48-50.

8. Silaev B.I., Zaboev A.F., Ilovayskiy V.I., Khoroshilova L.A. Fazovye prevrascheniya nekotorykh sulfidov pri nagrevanii // *Sb. Tr/ Instituta geologii Komi filial AN SSSR*. 1977. Vyp. 23. P. 94-98.

9. Shapovalov N.A., Bushueva N.P., Panova O.A. Vliyanie zhelezosoderzhaschikh mineralov na protsess obrazovaniya dvukhkaltsievogo silikata / N.A. Shapovalov, N.P. Bushueva, O.A. Panova // «*Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*»: materialy XXI mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. (15 maya 2013 г.). Novosibirsk: Izd. «SibAK», 2013. P. 146-152.

10. Shapovalov N.A., Bushueva N.P., Panova O.A. Izvestkovo-belitovoe zvyazhuschee na osnove otkhodov GOKov // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2013. № 8. P. 1368-1372.

11. Shapovalov N.A., Bushueva N.P., Panova O.A. Low roasting cementitious matter of lime-belite components using flotation waste of residual dumps of wet magnetic separation at the mining and processing complex *World Applied Sciences Journal*. 25 (12): 1758-1762, 2013.

References

1. C.c. SSSR № 1655946. Bushueva N.P., Vorob'ev Kh.S., Sokolovskiy V.A., Kudeyarova N.P. Vyazhuschee dlya izgotovleniya izdeliy avtoklavnoy tverdeniya // 1991. Byul. № 22.

2. Betekhtin F.G. Kurs mineralogii. Uchebnoe posobie. M.: KDU, 2007. 721 p.

3. Butt YU.M., Timashev V.V. Portlandsementnyy klinker. M.: Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, 1967. 303 p.

4. Goncharov U.I., Lesovik V.S., Goncharova M.U., Strokova V.V. Mineralogiya I petrografiya syrya dlya proizvodstva stroitelnykh materialov I tekhnicheskoy keramiki. Uchebnoe posobie. Belgorod.: BelGTASM, 2001. P. 85-86.

5. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savelev B.G. Metody fiziko-khimicheskogo analiza vyazhuschikh veschestv. Uchebnoe posobie. M.: Vysshaya shkola, 1981. P. 209-210.

6. Gridchin A.M., Lesovik G.A., Avilova E.N., Glagolev E.S. Reshenie problemy utilizatsii tekhnogennogo syrya KMA // *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2009. № 4. P. 7-11.

7. Kudeyarova N.P., Tsypchenko N.V. Vyazhuschee na osnove staleplavilnykh shlakov / N.P. Kudeyarova, N.V. Tsypchenko // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya Stroitelstvo*. 2004. № 5. P. 48-50.

8. Silaev B.I., Zaboev A.F., Ilovayskiy V.I., Khoroshilova L.A. Fazovye prevrascheniya nekotorykh sulfidov pri nagrevanii // *Sb. Tr/ Instituta geologii Komi filial AN SSSR*. 1977. Vyp. 23. P. 94-98.

9. Shapovalov N.A., Bushueva N.P., Panova O.A. Vliyanie zhelezosoderzhaschikh mineralov na protsess obrazovaniya dvukhkaltsievogo silikata / N.A. Shapovalov, N.P. Bushueva, O.A. Panova // «*Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*»: materialy XXI mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. (15 maya 2013 г.). Novosibirsk: Izd. «SibAK», 2013. P. 146-152.

10. Shapovalov N.A., Bushueva N.P., Panova O.A. Izvestkovo-belitovoe zvyazhuschee na osnove otkhodov GOKov // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2013. № 8. P. 1368-1372.

11. Shapovalov N.A., Bushueva N.P., Panova O.A. Low roasting cementitious matter of lime-belite components using flotation waste of residual dumps of wet magnetic separation at the mining and processing complex *World Applied Sciences Journal*. 25 (12): 1758-1762, 2013.

Рецензенты:

Лесовик В.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительного материаловедения, изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, г. Белгород;

Свергузова С.В., д.т.н., профессор, заведующая кафедрой промышленной экологии Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

Работа поступила в редакцию 29.07.2014.