

пени глобуляризации включений. Металл с полностью глобуляризованными включениями имеет одинаковую ударную вязкость как в продольном, так и в поперечном направлениях ($K_T/K_L = 1$). При $K_T/K_L > 0,9$ сталь почти изотропна.

Полная глобуляризация включений кальцием происходит при низком содержании кислорода и серы в стали. Для хорошо раскисленной стали, степень глобуляризации включений зависит от соотношения между содержанием в металле кальция и серы после ввода порошковой проволоки. Поэтому полная глобуляризация включений (а значит и изотропный металл) получается в хорошо раскисленной алюминием стали в ковше с основной футеровкой и защитой струи металла от вторичного окисления.

Одновременно с улучшением поперечной ударной вязкости повышается также поперечная пластичность металла. К металлу для листов и труб (со стенкой толщиной от 20 до 70 мм) предъявляются требования повышенной поперечной пластичности, которая определяется минимальным уменьшением площади. Таким требованиям удовлетворяет сталь с мелкими равномерно распределенными глобулярными включениями. Поперечная пластичность увеличивается по мере снижения содержания серы и при обработке стали кальцийсодержащей порошковой проволокой, которая действует более эффективно, чем снижение содержания серы.

Вместе с модификацией неметаллических включений и снижением содержания серы увеличивается стойкость стали к водородному охрупчиванию.

При высокоскоростной резке карбидным инструментом основной проблемой является износ режущей кромки в результате сильного абразивного воздействия включений оксидного типа, особенно глинозема. Поэтому трансформация кристаллического глинозема в глобулярный алюминат кальция с сульфидной оболочкой (при содержании в стали более 0,02 % S) приводит к значительному улучшению обрабатываемости металла. Так, обработка цементуемой стали АЕ 8620 порошковой проволокой с силикокальцием (200 г/т) на заводе фирмы "Ovako steel" ("Овако стил"), Финляндия, позволила снизить износ инструмента в 4...5 раз.

Внепечная обработка жидкой стали порошковой проволокой является эффективным средством повышения качества металла и его прецизионной доводке по химическому составу. А также более экологически лучшим средством для раскисления стали.

Литература.

1. Техтинен К., Вайнола Р., Сэндаольм Р. Вдувание порошков в раскисленную алюминием сталь для МНЛЗ // Инжекционная металлургия: Сб. М., 1981 – С. 239-248.
2. Робинсон Дж. В Обработка в ковше введением проволоки из металлического кальция, плакированного сталью // Инжекционная металлургия: Сб. М., 1986. С. 365-378.
3. Федосеев С.Н. Повышение износостойкости конструкционных сталей // Сборник научных трудов SWorld: материалы Международной научно-практической конференции "Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2012", Одесса, 2-12 Октября 2012. - Одесса: Куприенко С.В., 2012 - Т. 10 - С. 17-205.
4. Шарафутдинова А. С. Взаимодействие кальцийсодержащих материалов с огнеупорами при внепечной обработке и разливе стали // Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции; В 4-х томах, Курск, 17 Апреля 2014. - Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014 - Т. 4 - С. 361-365
5. Гоник И.Л., Лсмякин В.П., Новицкий Н.А. Особенности применения брикетированных железосодержащих отходов // Металлург, 2011 – № 5 – С. 25–27.

ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Ж.М. Мухтар, студ. гр. 10В41

Научный руководитель: Федосеев С.Н., асс. каф. МЧМ

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8-(38451)-6-22-48

E-mail: steel13war@mail.ru

Обзор существующих способов и технологий брикетирования показывает, что на раннем этапе развития его использовали для окускования углей, затем для окускования первичного металлургического сырья – рудной мелочи, грубых концентратов. В середине XX века брикетирование использовали в основном для окускования измельченных и пылевидных отходов, что связано с трудностью их

окускования другими методами. В последнее время брикетированию стали подвергать и концентраты для внедомного получения железа.

Новый, современный этап повышения интереса к брикетированию связан с обострением экологических проблем, пришедших на последнюю треть XX века, а также ростом цен на энергоресурсы. В качестве эффективного метода окускования активнее стали привлекать брикетирование. При этом при разработке комплексных систем утилизации железосодержащих отходов на металлургических предприятиях брикетирование всё шире используют в качестве ведущего метода окускования.

Одним из первых способов брикетирования руд является «метод Грёндаля» (Швеция), с применением которого в 20–30 годах прошлого века работало большое количество брикетных предприятий Швеции, Норвегии и Германии. Этот способ заключается в прессовании руд крупностью 0–5 мм и увлажнённых тонкоизмельчённых магнетитовых концентратов на столовых прессах типа Сутклиффа под давлением 30–50 МПа. Брикетки прямоугольной формы размером 150×150×75 мм обжигали в трёхкамерной туннельной печи длиной 45–70 м, отапливаемой генераторным газом или пылевидным топливом.

По способу Ильсесдер-Хютте (Германия) колошниковую пыль в смеси с прокатной окалиной и глинистым шламом промывки бурого железняка нагревают и прессуют при давлении 30 МПа. Упрочнение брикетов осуществляют в закрытом помещении до прочности 10 МПа [1].

Способ Гизенке позволяет брикетировать без связующих материалов глинистые мелкие руды, колошниковую пыль и огарки. Пластичность, необходимую для брикетирования, обеспечивали увлажнением и помолом компонентов шихты. Прессование производили в штемпельных мундштучных прессах (сечение штемпеля 60×90 мм), а обжигали в шахтной печи изменённой конструкции производительностью до 40 т/сут. Высокий расход топлива (14 %) и низкая производительность привели к свёртыванию производства [2].

Для сохранения положительных особенностей брикетирования без связующих материалов в начале 60-х годов прошлого века стали использовать «горячее» брикетирование, заключающееся в прессовании нагретой до температуры размягчения, а иногда и частично восстановленной шихты. Так, по способу Дж. Мора и Д. Мерлина (США) брикетированию на вальцовом прессе подвергали частично восстановленную пылеватую железную руду.

Германия занимает лидирующие позиции в сфере брикетирования. Так, брикетирование бурых углей было впервые освоено в Германии в конце XIX века. Поэтому вполне естественно, что и брикетирование железосодержащих материалов там же получило широкое распространение. Одно из первых предприятий по утилизации металлургических отходов было пущено в начале 60-х годов XX века. Его производительность – 200 т брикетов в сутки. Брикетки из колошниковой пыли и других железосодержащих отходов формовали на вальцовых прессах.

В Германии во второй половине XX века работало несколько опытных и промышленных установок брикетирования рудно-топливных шихт по методу Вебера. Рудная мелочь в смеси с углеродистым восстановителем и связующим (концентрат сульфитно-спиртовой барды – 5 %, гидрированная каменноугольная смола или ацетиленовый ил – более 20 %) смешивают в шнековом (для барды) или барабанном (для карбидного ила) смесителе и брикетируют в вальцовом прессе под давлением 20–70 МПа. При использовании барды готовые брикетки упрочняют подсушкой при 250 °С, а затем подвергают полукоксованию в ретортах фирмы «Гумбольдт», где в качестве теплоносителя используют песок с температурой 700–800 °С. Длительность полукоксования 1 ч. Брикетки с карбидным илом подвергают упрочнению карбонизацией. Весьма эффективна обработка брикетов в дымовых каналах. Брикетки использовали для выплавки чугуна в низкошахтных печах [3].

Фирмами «Кёпперн» и «Макс Хютте» предложен способ изготовления брикетов из отходов металлургического производства, включающий брикетирование окалины прокатных цехов и установок непрерывного литья заготовок, пыли и шламов доменных и сталеплавильных цехов вместе с нефтяным коксом, колошниковой пылью, коксовой мелочью, полученной при коксовании каменных и бурых углей. Количество углеродсодержащих добавок соответствует полному восстановлению железа в брикетах при загрузке их в сталеплавильные печи и вагранки. В качестве пластификаторов при брикетировании в шихту добавляют 1–4 % Ca(OH)₂, 2–7 % мелассы и 1–4 % сульфитного щёлока [3].

В Германии также работает ряд установок «горячего» брикетирования железосодержащих отходов и несколько установок по утилизации мелкой (менее 8 мм) извести. Известковые брикетки используют в качестве флюса в металлургии и при производстве стекла. В состав установок «горячего» брикетирования входят вальцовые прессы закрытого типа с предварительной подпрессовкой шихты.

По одному из разработанных способов «горячему» брикетированию подвергали руды и концентраты различного химического состава с содержанием, %: 34,2–61,5 Fe_{общ}; 5,7–21,3 SiO₂; 0,2–3,3 CaO; 0,01–0,43 S. Давление прессования изменяли от 25 до 100 МПа и температуре от 800 °С до 1000 °С. Удовлетворительные результаты были получены только при давлениях прессования 75–100 МПа и температурах 800–1000 °С. Сопротивление брикетов сжатию составляло 2,3–6,5 МПа. Недостаточная прочность брикетов объясняется большим количеством тугоплавких окислов и отсутствием восстановителя, способствующего образованию жидкоподвижных вюститных фаз.

Способ фирм «Тиссен – Лурги» позволяет использовать брикетированную пыль в конвертерном процессе. Крупная пыль содержит 72 % металлического железа и 85 % железа общего; тонкая пыль – 20 % металлического железа и 70 % железа общего. Брикетты получают способом «горячего» брикетирования, при котором высокая степень металлизации сохраняется. Брикетты являются вполне пригодными заменителями руды и скрапа.

Новая технология ОКСИКАП, разработанная фирмами «Тиссен КруппШталь», «Маннесманн», «Кютнер», «Б.У.С.» и «МессерГрисхайм», предусматривает получение брикеттов путём вибропрессования и использования их в доменной печи после выдержки в течение 5 сут. Брикетты содержат шлак доменной печи, вторичную окалину и коксовую пыль. В качестве связующего использован цемент. Плавку брикеттов осуществляли в вагранке и реконструированной доменной печи № 3 в Хамборне. В обоих случаях был получен положительный результат [4].

В Англии также нередко используют брикетирование в качестве метода окускования отходов. В частности, предложен процесс EnvIRONment, заключающийся в переработке металлургических и органических отходов методом пирометаллургии. Брикетты из сталеплавильных пылей и целлюлозы переплавляют в дуговых печах постоянного тока с глубокой шлаковой ванной с получением железного расплава, без вредного шлака и обогащенной цинком пыли. Восстановление и плавление брикеттов определяется химическими и термическими параметрами. Расплавление брикеттов в шлаке протекает через растворение FeO и металлического железа на границе раздела «шлак – брикет».

Фирмы «Мидрекс» и «KobeSteelLtd» разработали Fastmelt – процесс восстановления железосодержащих отходов (пыли и шламов) в печи с вращающимся подом, используя уголь и коксик в качестве восстановителя. Полученный продукт со степенью металлизации 85–92 % и содержанием 2–4 % углерода в виде брикеттов или окатышей используют в шихте конвертеров, доменных и дуговых печей.

На заводе «Фор-сюр-Мэр» (Франция) свежую замасленную окалину (40 тыс. т в год) брикеттируют в смеси с известью и добавляют 1 % брикеттов размером ≥ 5 мм в конвертер. Также в виде брикеттов переплавляют в дуговых сталеплавильных печах 160 тыс. т в год пыли, опилок, прокатной окалины, нержавеющей стали на заводе Южин Савой, периодически получая богатую цинком пыль которую передают на заводы цветной металлургии [3].

Широкое распространение в Европе и Америке получило «горячее» брикетирование скрапа, чугуновой и стальной стружки, губчатого железа и др. В частности, на заводах фирмы «Фиат» (Италия) проводили опыты по получению брикеттов из губчатого железа с целью замены ими скрапа в шихте мартеновских и электропечей. Брикетты из губчатого железа имели цилиндрическую форму высотой 60–80 мм диаметром до 100 мм, массой 2,5–3,0 кг и плотностью 6000–6300 кг/м³. Степень восстановления 88,6 %. На этих брикеттах было проведено 45 мартеновских и 32 электросталеплавильных плавки.

Процесс «Ферро-карб», разработанный в США, может обеспечить утилизацию всей железо- и углеродсодержащей пыли с низким содержанием цинка путём изготовления брикеттов для доменного производства. Пыль, шлак и другие отходы не должны иметь крупность частиц $+4,76$ мм и содержание влаги выше 8 %; допустимое содержание масел в прокатной окалине, шламе – не выше 6 %. Если в шихте на контрольном грохоте появляются более крупные материалы, их доизмельчают, а более влажные – подсушивают.

Процесс состоит из четырёх основных стадий: сухое смешивание пылей практически в любом соотношении, нагрев шихты с введением расплавленного или нагретого углеводородного связующего и перемешивание, брикетирование и нагрев брикеттов в окислительной среде. Брикетирование осуществляют на вальцовых прессах под давлением от 30–40 до 80–90 МПа, требующем меньшего расхода связующего. Сырые брикетты имеют механическую прочность 0,35–0,50 кН/брикет и подвергаются термообработке в окислительной среде для дегидратации и полимеризации связующего.

Прочность термообработанных брикетов составляет 0,9–5,0 кН/брикет и зависит от состава шихты (крупность исходной шихты – 3,36 мм), расхода связующего и продолжительности термообработки. Брикеты устойчивы при хранении на открытом воздухе, обладают необходимой водо- и термостойкостью при тепловом ударе (погружение в расплавленный чугун с температурой выше 1500 °С), хорошей восстановимостью (94,7–99 % по сравнению с 42–66,4 % для обожженных окатышей), определяемой по способу Линдера. Способ связан со значительно меньшими капитальными и текущими затратами по сравнению с другими способами окускования [2].

Особенностью развития брикетных технологий в США является распространение способов «горячего» брикетирования с использованием брикетов в доменном и сталеплавильном производствах. Первые опытно-промышленные установки брикетирования железосодержащих отходов появились в США в конце 50-х годов прошлого века. Производительность таких установок обычно не превышала 40–45 тыс. т в год. Однако уже в 1966 г. на двух заводах фирм «Грей айронфаундри» и «Доминион фаундри энд стил» были пущены установки «горячего» брикетирования отходов производительностью 250 тыс. т в год каждая.

На установке фирмы «Грей айронфаундри» нагрев материала осуществляли в многоподовой печи с последующим брикетированием на вальцовом прессе с предварительной подпрессовкой материала. На установке другой фирмы нагрев шихты, состоящей из доменной пыли, прокатной окалины и тонкоизмельченного металлического лома, осуществляли в печах кипящего слоя до 800–1000 °С. Образующуюся массу в горячем состоянии брикетировали на вальцовых прессах. Размеры брикетов от 25×38×18 мм до 37×118×43 мм.

Фирма «Рекласос» (США) разработала процесс совместной подготовки железосодержащих пылей, шламов, коксовой мелочи и замасленной окалины путем их брикетирования с добавлением каменноугольного пека. Брикеты используют в доменной шихте в количестве до 105 кг/т шихты.

Промышленную установку по брикетированию железосодержащих отходов эксплуатируют и на заводе «Люкенестил» в Коттсвилле. Производительность установки – 65 тыс. т брикетов в год. Брикеты используют в дуговых электропечах.

В Японии в связи с жесткими экологическими требованиями брикетирование также получило широкое распространение. В частности, на заводе фирмы «Ниссенсэйко» из высушенного пека, сухой пыли и окалины с добавкой связующих на вальцовых прессах изготавливают брикеты, которые подсушивают до влажности 2 % и упрочняют в конвейерной сушилке при температуре 250 °С. Брикеты подают в электропечь с флюсом и коксом [5].

В Японии также разработана технология брикетирования отходов коррозионной стали (окалина, шламы), по которой кек после фильтр-прессов смешивают с окалиной и пылью из систем газоочистки и брикетируют со связующим на вальцовых прессах. Для повышения прочности в шихту вводят до 30 % крупной окалины. Сырые брикеты подсушивают до влажности 2 % в конвейерных сушилках. Прочность брикетов на сжатие – до 1 кН/брикет. Готовые брикеты используют в шихте электропечей.

На заводе фирмы «Фудзисэйтэцу» (Япония) конвертерную пыль увлажняют и направляют в прессы низкого давления. Брикеты обжигают в шахтной печи при 1300 °С и используют в сталеплавильном производстве. Содержание железа в брикетах – 62–63 %.

Оригинальный способ обработки доменной пыли предложен фирмой «Син-Ниппон сэйтэцу» (Япония). Пыль смешивают с агентом, облегчающим брикетирование; готовые брикеты загружают на дно ковша и заливают жидким шлаком. При заливке цинк возгоняется, окислы железа восстанавливаются.

По способу обработки пыли и шлама электросталеплавильного производства, предложенному фирмой «Ниппон дзирекусэнко» (Япония), пыль и шлам формуют в брикеты с восстановителем, загружают в реакционную печь в смеси с жидким шлаком, нагретым до высокой температуры. Вредные металлы улетучиваются, ценные – металлизуются.

В России и других странах СНГ в последнее время резко возрос интерес к брикетированию как экологически чистому и экономически выгодному методу окускования металлургических отходов [6]. В частности, Ульяновским политехническим институтом предложен способ переработки металлосодержащих шламов, включающий магнитную сепарацию шламов, их сушку в прямоточной печи с вращающимся барабаном, последующим брикетированием и переплавом.

В 1997 г. С.М. Абрамовичем, К.А. Черепановым и З.А. Масловской предложен способ окускования брикетированием дисперсных отходов высококремнистого ферросилиция. В качестве связующего использована кремнезёмистая керамическая суспензия, при взаимодействии которой с прессуе-

мым материалом наблюдается выделение значительного количества тепла экзотермической реакции, протекающей с выделением водорода.

Технологии брикетирования, разработанные Магнитогорским государственным техническим университетом, с использованием прессов НПО «Спайдермаш» реализуются на БМК (годовое производство 90 тыс. т брикетов из окалины и отсевов рудной мелочи) и ЧЭМК (окускование пыли газоочисток и других отходов производства ферросплавов).

На Западно-Сибирском металлургическом комбинате (ЗСМК) принято решение о строительстве брикетной установки утилизации шламов и других отходов алюминиевого производства, используемых для разжижения металлургических шлаков.

На Карагандинском меткомбинате (Казахстан) ведётся разработка технологии утилизации шламов брикетированием. Из шламо-известковых смесей на механическом прессе готовили брикеты диаметром 50 мм при нагрузках 125, 180 и 280 кН/брикет. После выдержки брикетов в естественных условиях в течение 1,5 и 15 сут оценивали прочность, раздавливая их на прессе, которая оказалась удовлетворительной. Влажность брикетов через 1 сут составила 9 %, а через 15 сут – 0,3–0,5 %.

В СНГ уделяется большое внимание брикетированию мелочи ферросплавов. Так, в Нижнем Тагиле введена установка брикетирования отсевов силикомарганца производительностью до 1000 т в месяц. На ДОФ-1 Донского ГОКа (Казахстан) в 2000 г. создана установка брикетирования хромитового концентрата производительностью 200 тыс. т брикетов в год.

Одной из причин распространения брикетирования в цветной металлургии является то, что в силу особенностей руд цветных металлов альтернативные брикетированию методы окускования не дают существенных преимуществ. В частности, получение агломератов из руд цветных металлов нередко требует повышенных температур и затрат сырья (расходы топлива достигают 25 %), комкуемость и газопроницаемость не высокая, агломерат получается пылеватым и не таким прочным, как при окусковании железных руд. С другой стороны, прочность брикетов из руд цветных металлов вполне достаточная для переработки в плавильных печах.

Несмотря на давность использования брикетирования, его теория изучена слабо. Поэтому до настоящего времени брикетирование является искусством, требующим большого экспериментально-го и практического опыта.

Литература.

1. Равич Б.М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. – М.: «Металлургия», 1975. – 356 с.
2. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья: монография. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
3. Кожевников И.Ю., Равич Б.М. Окускование и основы металлургии. – М.: Металлургия, 1991. – 296 с.
4. Федосеев С.Н. Технология ОХУ Сур для экологически чистого производства черных металлов // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27–28 ноября 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – С. 162–167.
5. История брикетирования и предлагаемый способ. Режим доступа: http://briket.ru/briket_his.shtml
6. Федосеев С.Н., Дмитриева А.В. Переработка железосодержащих отходов методом брикетирования // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов международной научно-практической конференции, Юрга, 11–12 декабря 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – С. 458–460.
7. Гоник И.Л., Лсмякин В.П., Новицкий Н.А. Особенности применения брикетируемых железосодержащих отходов // Металлург, 2011 – № 5 – С. 25–27.

ОБЗОР СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ВОД МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Ю.Р. Петькова, ассистент, Е.А. Будник, студ. гр. 317200

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: yulipetkova89@gmail.com

Введение

По объему сброса сточных вод металлургическая отрасль Российской Федерации стабильно входит в «пятерку» отраслей-лидеров. Антропогенное воздействие на гидросферные объекты заложены уже в самом характере металлургического производства (горнодобывающая промышленность,