

УДК 621.74

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-7-290-82-88

*И. О. Леушин, А. В. Нищенков, Л. И. Рябова, М. А. Ларин***ВАРИАНТ КОМПАКТИРОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ
ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПЕРЕДЕЛА****Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева**

e-mail: igoleu@yandex.ru, kafmto@mail.ru

В работе приведены результаты исследования вариантов компактирования мелкодисперсных железосодержащих материалов для металлургического передела. Авторами предложен способ, предполагающий применение помимо железосодержащего материала и связующего термопластичного материала. При этом агрегирование смеси и упрочнение полученных агрегатов проводится одновременно в закрытой пресс-форме под воздействием давления и температуры не ниже температуры размягчения термопластичного материала. Обеспечивается получение компактного, удобного для хранения и транспортировки агрегата, успешно выполняющего функции компонента шихты при ваграночной и доменной плавке чугуна.

Ключевые слова: компактирование, железосодержащий материал, термопластичный материал, отход, металлургия

*I. O. Leushin, A. V. Nishhenkov, L. I. Ryabova, M. A. Larin***OPTION FOR COMPACTING FINE IRON-CONTAINING MATERIALS
FOR METALLURGICAL PRODUCTION****Nizhniy Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev**

The paper presents the results of a study of options for compacting fine iron-containing materials for metallurgical processing. The authors have proposed a method that involves the use of, in addition to an iron-containing material, a thermoplastic binder material. In this case, aggregation of the mixture and strengthening of the resulting aggregates is carried out simultaneously in a closed mold under the influence of pressure and temperature not lower than the softening temperature of the thermoplastic material. It is possible to obtain a compact unit, convenient for storage and transportation, that successfully performs the functions of a charge component during cupola and blast furnace melting of cast iron.

Keywords: compaction, iron-containing material, thermoplastic material, waste, metallurgy

В настоящее время отходы металлургического производства частично утилизируются путем использования метода динамического горячего прессования чугуновой стружки, а частично используются как связующее вещество для получения качественных брикетов из железных руд и концентратов.

Так, например, авторы [1] для изготовления брикетов металлургического производства предлагают применять шихту, содержащую железоуглеродистые отходы электрошлакового производства, карбюризатор и связующий материал. При этом качестве связующим материалом выступает рафинировочный шлак, образующийся в процессе внепечной обработки стали на установке печь-ковш.

Однако использование связующего сульфатно-шлакового происхождения способствует дополнительному шлакообразованию в ходе плавки и внесению вредной примеси серы в выплавляемый металл, что нежелательно.

Зачастую в изготовлении брикетов для выплавки стали и чугуна используется такой широко распространенный отход, как прокатная окалина (чистая и замасленная). Связующим в данном случае является жидкое стекло [2]. Но получаемый брикет характеризуется высокой гидрофильностью, что обуславливается наличием жидкого стекла в его составе, которое ничем не отверждается. Вследствие этого при попадании в брикет воды (например, при перевозке) брикет может потерять прочность.

Авторы [3] предлагают способ брикетирования шихтовых материалов для плавки, включающий смешивание предварительно подготовленных железосодержащих отходов (в частности, окалины) с углеродсодержащим и связующим материалами, обработку полученной смеси водным раствором жидкого стекла (Na_2O , $n\text{SiO}_2$), прессование и сушку; при этом в качестве связующего используют смесь кремнийсодержащих природных материалов (суг-

линка, или глины, или полевого шпата) и карбоната натрия (Na_2CO_3). Однако данный способ имеет ряд недостатков. Во-первых, высокая температура плавления связующего материала даже при достаточно большом расходе карбоната натрия приводит к повышенному угару углерода в процессе металлизации и, как следствие, уменьшению степени извлечения металла из окалины. Во-вторых, получаемые брикеты недостаточно прочны, а также влагонестойчивы, что требует создания специальных условий хранения и заправки в плавильные печи. Кроме того, при использовании замасленной окалины данный способ не обеспечивает получение прочных брикетов, поскольку водный раствор жидкого стекла, обеспечивающий сухую прочность брикета, не имеет физико-химического взаимодействия с масляной пленкой.

Известен способ брикетирования железосодержащих отходов в виде окалины для плавки [4], в котором предварительно подготовленную окалину смешивают с измельченным углеродсодержащим материалом и связующим, включающим кремнесодержащий материал в виде спеченного и измельченного керамзита, карбонат щелочного металла и гидрокарбонат щелочного металла; затем осуществляют обработку полученной смеси отвердителем, включающим водный раствор жидкого стекла, кремнефтористый натрий и наполнитель в виде кислого пылевидного минерала, например керамзитовой пыли, прессование и последующую сушку. При использовании замасленной окалины ее предварительно обрабатывают силикатно-известковым раствором, содержащим известь в количестве 0,5–2,5 мас. % на 1 мас. % масла, которую добавляют к водному раствору жидкого стекла плотностью 1100–1150 кг/м³, при их соотношении 1:2–1:3, с последующим гранулированием и сушкой при температуре от 200 до 250 °С. Однако способ характеризуется высокой трудоемкостью реализации. Помимо этого низкая основность материала брикета не позволяет при плавке эффективно удалять из металла серу и фосфор.

Авторы [5] предлагают брикет для металлургического передела, включающий железосодержащий материал (смесь оксидов железа природного или промышленного происхождения с металлическими производственными отходами), углеродсодержащее вещество (отходы производства графитовых электродов) и связующее, отличающийся тем, что связующее из-

готовлено из смеси строительного цемента и пластифицирующей воздухововлекающей добавки – адипинового щелочного пластификатора, имеющего химическую формулу $\text{COOH}(\text{CH}_2)_4\text{COONa}$. Гидрофильность брикета в ходе хранения, интенсивное шлакообразование при плавке из-за наличия в составе цемента, а также повышенная температура плавления по причине образования при нагреве тугоплавких соединений типа $n(\text{CaO})\text{SiO}_2$ в конечном итоге снижает количество полезного тепла, идущего непосредственно на расплавление металлической шихты, замедляет процесс плавки и снижает производительность печи.

Брикет для производства чугуна и стали, включающий стальную окалину, углеродсодержащий материал (электродный бой) и связующее, отличающийся тем, что в качестве углеродсодержащего материала он содержит электродный бой, а в качестве связующего – смесь диоксида кремния, оксида кальция, оксида натрия и оксида алюминия [6], также имеет ряд недостатков. К основным можно отнести следующие. Наличие в его составе целой линейки материалов, взятых в определенных соотношениях, а также необходимость их предварительного измельчения перед прессованием до размеров регламентированной фракции, проведения обжига в печи в течение 0,5–1,0 ч при 700–1000 °С с последующим охлаждением на воздухе повышают трудоемкость, длительность и стоимость изготовления брикета; использование в ходе изготовления брикета жидкого стекла для обеспечения его механической прочности ведет к образованию «камня» силикат-глыбы (окускованию), а по ходу плавки – к повышенному шлакообразованию, что неизбежно увеличивает время плавки. Присутствие в составе брикета в качестве углеродсодержащего вещества боя графитовых электродов в количестве до 30 % по массе ведет к загрязнению выплавляемого металла примесью серы.

Исследователи [7] предлагают способ подготовки мелкой замасленной окалины к переработке, включающий отделение от окалины свободного масла и воды, смешивание мелкой замасленной окалины со связующим, в качестве которого используют аморфный водный кремнезем (например, опоку, трепел, диатомит, синтетическую кремнекислоту) предпочтительно в соотношении к окалине (0,05–0,15):1, последующее смешивание с крупной окалиной прокатного производства в соотношении 1:(0,05–20),

введение в смесь шлакообразующих добавок в виде известняка или гашеной извести в соотношении (1–2):1 к массе кремнеземного связующего и углеродсодержащих компонентов предпочтительно в виде коксовой мелочи в соотношении (0,1–0,4):1 к массе окалины, брикетирование смеси при давлении 5–50 МПа и термоупрочнение полученных брикетов. Недостатками способа являются низкая основность материала брикета, ограничивающая проведение десульфурации и дефосфорации при ведении плавки, а также высокие энергозатраты, связанные с операциями прессования и высокотемпературного (до 1100 °С) термоупрочнения.

Известен способ окускования мелкодисперсных железосодержащих материалов для металлургического передела с использованием органического связующего, в котором железосодержащий материал (в качестве железосодержащего материала используют железорудный концентрат, железную руду, шламы металлургического производства, измельченную окалину и другие мелкодисперсные железосодержащие материалы) и связующее смешивают, осуществляют агрегирование смеси и упрочнение полученных агрегатов. В качестве связующего материала используют синтетический сополимер акриламида и акрилата натрия, в котором мольная доля акрилата натрия может составлять от 0,5 до 99,5 %, молекулярная масса в диапазоне от 1–104 до 2–107. Дозировка синтетического сополимера акриламида и акрилата натрия составляет от 0,02 до 0,10 кг на тонну железосодержащего материала. Сополимер акриламида и акрилата натрия может быть использован в виде сухого порошка, раствора, эмульсии, суспензии или аэрозоля, в чистом виде или в смеси с дополнительным материалом [8].

Однако способ многооперационен, необходимо применять специальное технологическое оборудование для реализации. Агрегирование смеси и упрочнение полученных агрегатов характеризуются трудоемкостью и энергоемкостью. Кроме того, сложна дозировка и высока стоимость компонентов органического связующего.

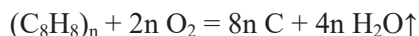
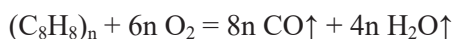
Авторами данной статьи была поставлена задача получения компактного, удобного для хранения и транспортировки агрегата (компакт, или брикет) из мелкодисперсных железосодержащих материалов, успешно выполняющего

функции компонента шихты при ваграночной и доменной плавке чугуна.

Был предложен способ компактирования мелкодисперсных железосодержащих материалов для металлургического передела, включающий смешивание частиц, по крайней мере, одного железосодержащего материала и связующего; агрегирование смеси и упрочнение полученных агрегатов предусматривает применение термопластичного материала в количестве от 20 до 100 г на килограмм железосодержащего материала, а агрегирование смеси и упрочнение полученных агрегатов проводят одновременно в закрытой пресс-форме под воздействием давления и температуры не ниже температуры размягчения термопластичного материала [9]. В качестве связующего могут применяться отходы термопластичного материала, измельченные до фракции не более 2,0 мм, в том числе измельченные отходы пенополистирола. В последнем случае агрегирование и упрочнение смеси осуществляют методом внутреннего теплового удара подачей перегретого водяного пара под избыточным давлением 0,2–0,3 МПа. В составе смеси может быть использован дополнительный материал, измельченный до фракции не более 2,0 мм, в том числе бентонитовые или иные виды глин, известняк, доломитизированный известняк, цемент, доломит, боксит, мел, мергель, кокс, коксик, уголь, угольная пыль, торф, а также их композиции.

Термопластичные материалы (термопласты) – это высокомолекулярные углеводороды, которые при обычной температуре находятся в твердом состоянии, однако при нагреве выше температуры их размягчения проявляют свойства связующих и способны обратимо переходить в высокоэластичное и далее в вязкотекучее состояние, что обеспечивает возможность их формования различными методами, в том числе давлением. Среди наиболее широко применяемых термопластов невысокого класса опасности можно выделить полиэтилены низкой плотности (и высокого давления, ПЭНП, ПВД, LDPE), полиэтилены высокой плотности (и низкого давления, ПЭВП, ПНД, HPDE), полипропилены (PP, ПП), полистиролы (PS, ПС) и поливинилхлориды (PVC, ПВХ). При рабочих температурах ведения ваграночной плавки чугуна термопласты в условиях ограниченного доступа кислорода испытывают термодеструкцию, разлагаясь на мономеры и далее на водя-

ной пар и монооксид углерода или сажистый углерод, способствующие восстановлению железа из его окислов, содержащихся в железосодержащих компонентах шихты, например, для полистирола наиболее вероятны химические реакции:



При этом летучие продукты термодеструкции термопластов способствуют разрушению агрегата (компакт, или брикет), увеличению поверхности контакта материалов шихты и тем самым интенсифицируют процесс плавки.

Помимо функции связующего, проявляющейся при агрегировании смеси, термопластичный материал после приобретения агрегатом (компакт, или брикет) в пресс-форме необходимой манипуляторной прочности играет роль своеобразной упаковки, способствующей сохранению его геометрии и предотвращению осыпаемости.

Применение термопластичного материала в количестве менее 20 г на килограмм железосодержащего материала не обеспечивает полного покрытия связующим поверхности частиц последнего. Напротив, превышение дозировки связующего над уровнем 100 г на килограмм железосодержащего материала необоснованно снижает содержание железа в агрегате (компакт, или брикет).

Загрузка смеси железосодержащего материала и связующего в закрытую пресс-форму с последующим воздействием на смесь температуры и давления обеспечивает возможность реализовать одновременные формование и уплотнение агрегата (компакт, или брикет) необходимых геометрии и размеров.

Применение в составе смеси железосодержащего материала и связующего, измельченных до фракции не более 2,0 мм, обусловлено тем, что в противном случае поверхность получаемого агрегата (компакт, или брикет) становится неровной, что существенно повышает его осыпаемость и вероятность выкрашивания при хранении и транспортировке к месту использования. Кроме того, как показал опыт, использование в составе смеси компонентов с размерами частиц более 2,0 мм способствует быстрому изнашиванию контактирующих с ней поверхностей технологического оборудования и оснастки, тем самым снижая их эксплуатационный ресурс. В этой связи в случае применения в со-

ставе смеси отходов термопластичного материала или дополнительных материалов их требуется предварительно измельчать до указанного размера частиц.

Возможность применения в составе агрегата (компакт, или брикет) дополнительных материалов, в том числе бентонитовых или иных видов глин, известняка, доломитизированного известняка, цемента, доломита, боксита, мела, мергеля, кокса, коксика, угля, угольной пыли, торфа, а также их композиций, подтверждается рядом работ [10–12].

Использование отходов при реализации заявленного способа обеспечивает улучшение экологической ситуации, поскольку исключает необходимость их захоронения на специальных полигонах.

Для реализации варианта способа с использованием измельченных отходов термопластичного материала допустимо применять как технологическое оборудование (термопластавтоматы) и оснастку для литья термопластов, так и компакторы отходов, серийно выпускаемые промышленностью.

Особый случай – применение в качестве связующего смеси измельченных отходов пенополистирола. Полистирол относится к группе синтетических полимерных продуктов класса термопластов. Благодаря термопластичности полистирола удастся в 10–12 раз увеличить его плотность, не используя для этого значительных деформирующих нагрузок. Пенополистирол – это полистирол, вспененный воздухом. Данный материал не содержит волокон и не является источником вредной пыли, что позволяет характеризовать его как экологичный. Измельченные отходы пенополистирола, или крошка, имеют размер до 2,0 мм. Насыпная плотность крошки составляет от 550 до 560 кг/м³. Температура размягчения пенополистирола – 90–95 °С; температура плавления – 240 °С.

Зачастую данный материал применяется в практике литья по газифицируемым моделям [13]. Так, из пенополистирола методом внутреннего теплового удара успешно изготавливаются разовые термоудаляемые литейные модели. Для этого во внутреннюю полость закрытой пресс-формы, предварительно заполненную гранулами пенополистирола, через инжектор подается острый перегретый водяной пар под избыточным давлением 0,2–0,25 МПа. Особенность такого пара заключается в том, что изначально он имеет температуру 100 °С и конден-

сируется непосредственно на поверхности частиц нагреваемого материала.

Идея предложенного авторами статьи варианта заключается в следующем: принципиальная схема сохраняется с той лишь разницей, что внутренняя полость пресс-формы заполняется предварительно подготовленной смесью мелкодисперсного металлосодержащего материала и крошки пенополистирола, а верхний предел избыточного давления острого водяного пара с учетом этого обстоятельства повышают до уровня 0,3 МПа.

Агрегирование и упрочнение агрегата (компакт, или брикет) происходит в результате фильтрации пара через поры, его расширения, передачи тепла частицам смеси, обволакивания связующим частиц металлосодержащего материала и спекания. Образующийся конденсат отесняется частицами смеси к периферии и удаляется через венты в стенках пресс-формы. Поскольку процесс саморегулируемый, по мере формирования и упрочнения агрегата (компакт, или брикет) выход пара через венты пресс-формы прекращается, что можно наблюдать визуально. Это упрощает управление процессом, по окончании которого пресс-форма охлаждается водой или воздушным потоком, осуществляется небольшая выдержка и агрегат (компакт, или брикет) извлекается из нее. Геометрия и размеры агрегата (компакт, или брикет) определяются конфигурацией внутренней полости пресс-формы.

Опытно-промышленное опробование эффективности предложенного решения проводилось на площадке одного из предприятий Приволжского федерального округа. Изготавливали агрегаты (компакт, или брикет) размерами 150x100x60 мм. Рассматривали три варианта.

В первом варианте в качестве металлосодержащего материала брали стальную прокатную окалину незамасленную размером до 2,0 мм, содержащую до 70 % железа, из отвалов АО «Выксунский металлургический завод» (г. Выкса, Нижегородская область), в качестве связующего – полипропилен низкого давления марки 21020-02, сорт 1, ГОСТ 26996-86, имеющий температуру размягчения 140 °С и температуру плавления 175 °С, в гранулах размером 2,0 мм. Для изготовления агрегатов применяли термопластавтомат MIR RMP 135-360 (Италия). Металлосодержащий материал вместе со связующим через воронку загружали в экструдер машины в соотношении 40 г связующего на ки-

лограмм железосодержащего материала, где проходило их смешивание шнековым смесителем и нагрев до температуры 190–200 °С, при которой в течение короткого времени образовывался текучий полимерный расплав и происходило перемещение расплава к соплу машины для впрыска в пресс-форму. После выдержки в пресс-форме для завершения пенообразования и окончательного затвердевания готовый агрегат (компакт, или брикет) извлекался и цикл повторялся. При этом продолжительность производственного цикла не превышала 1,5–2,0 мин.

Во втором варианте, в отличие от первого, в качестве связующего брали измельченные до размера менее 2,0 мм отходы полиэтилена высокой плотности, имеющего температуру размягчения до 110 °С и температуру плавления около 135 °С, которые смешивали с тем же металлосодержащим материалом в экструдере машины при температуре 150 °С в соотношении 80 г связующего на килограмм железосодержащего материала.

Третий вариант предполагал в сочетании с тем же металлосодержащим материалом, как и в первом варианте, в качестве связующего использование крошки пенополистирола размером фракции до 2,0 мм. Смесью металлосодержащего материала и связующего в соотношении 30 г связующего на килограмм железосодержащего материала загружали в пресс-форму и закрывали, после чего устанавливали ее в стерилизатор конструкции завода «АКС» (г. Санкт-Петербург) и через инжектор подавали во внутреннюю полость пресс-формы острый водяной пар с избыточным давлением 0,3 МПа. После прекращения выхода пара через венты в стенках пресс-формы процесс останавливали, пресс-форму охлаждали водой, а по окончании выдержки в течение 2–3 мин агрегат (компакт, или брикет) извлекали.

Контролировали осыпаемость, компактность (стабильность геометрии при транспортировке и выполнении разгрузочно-погрузочных операций), и влагосодержание агрегатов (компакт, или брикет), полученных по всем трем вариантам по 3 штуки для каждого варианта.

Компактность агрегата оценивалась по специальной шкале, действующей на предприятии. Ударные нагрузки на агрегат (компакт, или брикет) при проведении испытаний на осыпаемость имитировались падением агрегата с высоты 50 см на стальную плиту. Влагосодержание контролировалось весовым методом после

погружения агрегата на 1 мин в емкость с водой комнатной температуры.

Результаты проверки приведены в таблице ниже.

В таблице представлены усредненные значения показателей для каждого из трех вариантов реализации заявленного способа. Для срав-

нения ориентировались на эталонный уровень характеристик агрегата, принятых на одном из предприятий Нижегородской области. В итоге все характеристики полученных агрегатов (компакт, или брикет) по всем трем вариантам оказались соответствующими эталонному уровню.

Результаты испытаний агрегатов (компакт, или брикет)

Номер варианта	1	2	3	Эталонный уровень, установленный предприятием
Осыпаемость, % масс.	3	3	8	10
Компактность*	Хорошая	Хорошая	Удовлетворительная	Удовлетворительная
Влагосодержание, % масс.	0	0	3	8

Примечание: использовали следующую шкалу отклонений от исходной геометрии после транспортировки и проведения разгрузочно-погрузочных операций при оценке компактности агрегатов: менее 5,0 % – отличная; менее 10,0 % – хорошая; менее 20,0 % – удовлетворительная; 20,0 % и более – неудовлетворительная.

В условиях действующего производства проводили серию плавок чугуна марки СЧ20 ГОСТ-1412 в газовой вагранке с содержанием в шихте 20 % масс. агрегатов (компакт, или брикет), полученных по каждому из трех вариантов.

По результатам проведенного химического анализа полученного чугуна содержание примесей серы в металле оказалось равным соответственно 0,07, 0,10 и 0,08 % при использовании агрегатов (компакт, или брикет), полученных по первому, второму и третьему вариантам реализации заявленного способа при допустимом содержании примесей серы до 0,15 % согласно требованиям стандарта.

Выводы

Практическая проверка подтвердила эффективность способа, предложенного авторами данной статьи. При этом материал дешев и компактен. Агрегат (компакт, или брикет) характеризуется минимальными осыпаемостью и влагосодержанием. Применение данного варианта экологично, при этом допустимый уровень содержания серы в выплавляемом чугуне не превышает. В настоящее время техническое решение, предложенное авторами данной статьи, проходит процедуру патентования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2352648 Российская Федерация, МПК С22 В1/243. Шихта для изготовления брикетов для металлургического производства [Текст] / Гриншпун Э. И. [и др.]; заявитель и патентообладатель Иностранное дочернее общество с ограниченной ответственностью «Транс Ворлд Технолоджи». – № 2007107674/02; заявл. 01.03.2007; опубл. 20.04.2009, Бюл. № 11.

2. Пат. 2441925 Российская Федерация, МПК кл. С22В 1/243, С22В 1/248. Брикет для выплавки чугуна и стали [Текст] / Сироткин С. Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО НТЦ «Трубметпром». – № 2010112546/02; заявл. 31.03.2010; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4.

3. Пат. 2154680 Российская Федерация, МПК С22В 1/243, С22В 7/00. Способ подготовки шихтового материала в виде брикетов к плавке [Текст] / Агеев Е. Е. [и др.]; заявитель и патентообладатель Московский государственный вечерний металлургический институт. – № 99104430/02; заявл. 05.03.1999; опубл. 20.08.2000, Бюл. № 23.

4. Пат. 2321647 Российская Федерация, МПК С22В 1/242, С22В 1/245. Способ брикетирования железосодержащих отходов в виде окалины для плавки [Текст] / Салех А. И. Ш., Грицишин А. М. [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО «НЕФТЕГАЗ-сталь – ЭНВК». – № 2006124364/02; заявл. 06.07.2006; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 10.

5. Пат. 2228377 Российская Федерация, МПК С22 В1/242. Брикет для металлургического передела [Текст] / Дорофеев Г. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель «Научно-производственное малое предприятие "Интермет-Сервис"». – № 2002114840/02; заявл. 06.06.2002; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13.

6. Пат. 2083681 Российская Федерация, МПК С21 С5/06, С22 В1/24, С22 В1/242. Брикет для производства чугуна и стали [Текст] / Агеев Е. Е. [и др.]; заявитель и патентообладатель Волгоградский государственный технический университет. – № 9494025978; заявл. 12.07.1994; опубл. 10.04.2003, Бюл. № 10.

7. Заявка 2012143444/02 Российская Федерация, МПК С22В 1/243. Способ подготовки замасленной окалины к переработке [Текст] / Казанцев В. И. [и др.]; заявитель и патентообладатель Казанцев В. И. [и др.]. – № 2012143444/02; заявл. 10.10.2012.

8. Пат. 2272848 Российская Федерация, МПК С22В 1/244. Способ окускования мелкодисперсных железосодержащих материалов для металлургического передела с использованием органического связующего [Текст] / Зорин С. Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель ЗАО «Экополипром». – № 2005107377/02; заявл. 17.03.2005; опубл. 27.03.2006, Бюл. № 9.

9. Заявка 2024115351 Российская Федерация, МПК С22 В1/244. Способ компактирования мелкодисперсных железосодержащих материалов для металлургического

передела [Текст] / Леушин И. О. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева. – № 2024115351 ; заявл. 05.06.2024.

10. Переработка и утилизация промышленных отходов Челябинской области / И. П. Добровольский, И. Я. Чернявский, А. Н. Абызов, Ю. Е. Козлов. – Челябинск, 2000. – 256 с.

11. Брикеты из мелкодисперсных отходов металлур-

гического и коксохимического производств – экономически выгодная замена традиционной шихты металлургических переделов / В. И. Катинев, Е. Ю. Барсукова [и др.] // Металлург. – 2002. – № 10.

12. Использование железококсовых брикетов на цементной связке / А. С. Белкин, Ю. С. Юсфин, И. Ф. Курунов [и др.] // Металлург. – 2003. – № 4.

13 Шуляк, В. С. Литье по газифицируемым моделям / В. С. Шуляк. – СПб. : Проффессионал, 2007. – 408 с.