



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-48-55>
УДК 621.762.04

Поступила 15.06.2020
Received 15.06.2020

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГОРЯЧЕПРЕССОВАННЫХ БРИКЕТОВ КАК ВИДА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

О. М. ДЬЯКОНОВ, А. А. ЛИТВИНКО, В. Ю. СЕРЕДА, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: deaconco@mail.ru

В работе сформулированы основные принципы построения и дано описание технологического процесса горячего брикетирования отходов черных металлов как способа превращения мелкофракционных и тонкодисперсных частиц металла в габаритный полуфабрикат заданных размеров и химического состава. Приведено описание оборудования для осуществления этого процесса с высокоэффективным безокислительным нагревом и полным безопасным обезвреживанием дымовых газов. Представлены результаты плавок горячепрессованных брикетов в различных плавильных агрегатах. Показано, что очищенные от СОЖ брикеты плотностью 6500–7100 кг/м³ являются полноценными заменителями кускового лома. Даны рекомендации и технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения процесса горячего брикетирования в производство на предприятиях подшипниковой, машиностроительной и металлургической отраслей с последующим использованием горячепрессованных брикетов для получения литых заготовок собственного назначения.

Ключевые слова. Горячее брикетирование, металл, чугун, сталь, стружка, брикет, плавка, технология, режимы, оборудование, внедрение, производство.

Для цитирования. Дьяконов, О. М. Оценка качества горячепрессованных брикетов как вида шихтовых материалов / О. М. Дьяконов, А. А. Литвинко, В. Ю. Середа // *Литье и металлургия*. 2020. № 3. С. 48–55. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-48-55>.

ESTIMATION OF QUALITY OF HOT PRESSED BRIQUETTES AS A TYPE OF METALLURGICAL CHARGE MATERIALS

О. М. D'JAKONOV, А. А. LITVINKO, V. JU. SEREDA, Belarusian National Technical University, 65, Nezavisimosti Ave., Minsk, Belarus. E-mail: deaconco@mail.ru

The basic principles of construction are formulated in the work and a description of the technological process of hot briquetting of ferrous metal waste as a way of converting fine metal particles into a dimensional semi-finished product of a given size and chemical composition is given. The description of equipment for the implementation of this process with highly efficient non-oxidizing heating and complete safe neutralization of flue gases is given. The results of melting of hot-pressed briquettes in various melting units are presented. It is shown that briquettes cleaned from coolant with a density of 6500–7100 kg/m³ are full-fledged substitutes for bulk scrap. Recommendations and a feasibility study on the feasibility of introducing the hot briquetting process into production at the enterprises of the bearing, machine-building and metallurgical industries, followed by the use of hot-pressed briquettes to produce cast billets for their own purposes, are given.

Keywords. Hot, briquetting, metal, cast iron, steel, shavings, briquette, smelting, technology, modes, equipment, implementation, production.

For citation. D'jakonov O. M., Litvinko A. A., Sereda V. Ju. Estimation of quality of hot pressed briquettes as a type of metallurgical charge materials. *Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 3, pp. 48–55. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-48-55>.

Непрерывное совершенствование рециклинга отходов черных металлов горячим прессованием, разработка новых способов и устройств для его осуществления позволяют в настоящее время говорить о целесообразности внедрения этого высокоэффективного технологического процесса в производство. Решение данной проблемы состоит в полном и экологически безопасном удалении из металлоотходов жидкой фазы (СОЖ) с последующим их брикетированием до плотности 6,5–7,1 г/см³, что в принципе эквивалентно превращению дисперсных и загрязненных частиц металла в габаритный кусковой лом. При этом себестоимость процесса горячего брикетирования не должна превышать себестоимость холодного. Рациональное построение технологического процесса состоит в выполнении следующих технологических операций [1–4]:

- сепарирование стружки с целью удаления концевых отходов и других твердых предметов (резцов, болтов, гаек и др.), дробление, приготовление шихты смешиванием компонентов;
- нагрев стружки до температур неполной горячей деформации (750–800 °С) в защитной атмосфере продуктов термической возгонки масляной компоненты СОЖ;
- пиролиз углеводородных соединений с целью получения углеродного покрытия, предохраняющего металл от окисления на выходе из печи и выполняющего роль смазки в процессе горячего прессования;
- сжигание масла, обладающего высокой теплотворной способностью, совместно с природным газом;
- каталитическое дожигание СО, очистка и обезвреживание дымовых газов методом «мокрой очистки» в скруббере Вентури;
- подача и засыпка мелкофракционной стружки в пресс-форму при минимальных потерях тепла (не более 50 °С);
- прессование на гидравлическом прессе под давлением 470–500 МПа в пресс-форме с подвижной матрицей, активизирующей действие боковых сил трения, направленных в сторону действующего усилия прессования.

Определенные требования предъявляются также и к технологическому оборудованию. Нагревательная установка должна быть герметичной и теплоизолированной, способной обеспечить подачу нагретого металла в пресс-форму в соответствии с производительностью брикетировочного пресса. В связи с тем что нагрев стружки связан с процессом термической возгонки и удаления СОЖ, целесообразно применение комбинированного нагрева: вначале в камере газопламенного нагревателя для удаления воды и легких фракций масла (450–500 °С), затем в индукционном нагревателе для полного удаления масла и доведения температуры металла до температуры горячего прессования (750–800 °С). Камера газопламенного нагревателя сообщается с проходным каналом стружки и загрузочным окном, через которое газы удаляются дымососом в установку «мокрой» очистки. Сжигание масляной компоненты СОЖ осуществляется в той же камере и поддерживается дополнительным вдуванием в печь горячего воздуха. Индукционный нагрев, сочетаемый с конвективным теплообменом в горячем муфеле, эффективен как для магнитных, так и немагнитных или парамагнитных материалов. Загрузочное устройство, принимающее нагретый металл на выходе из печи, должно находиться в позиции, обеспечивающей практически мгновенную подачу металла в пресс-форму брикетировочного пресса.

Суть способа «мокрой» газоочистки (дымовых газов, выходящих из печи) заключается в смачивании и коагуляции пылевых частиц или поглощении газов жидкими реагентами (принцип сорбции). Жидкость перемещается в противоход движению газа. Главное преимущество этой технологии – возможность уловить частицы размером 3–5 мкм (для скрубберов ШВ с подвижной насадкой – до 0,5–0,1 мкм). Коэффициент очистки достигает значения 99%. Аэрозоли улавливаются до 99,9%.

Оборудование мокрой очистки включает в себя канал с сеткой для каталитического дожигания оксида углерода (СО), насадочный скруббер Вентури, канал для грязной сточной воды, систему фильтрации масла и поддержания уровня воды в канале, дымосос и трубу для выброса очищенного газа.

Основные типы загрязнения, выделяющиеся в процессе горения, – оксиды углерода (СО), серы (SO₂) и азота (NO и NO₂), остатки углеводородов (преимущественно CH₄), сажистый углерод (С). Оксид углерода подвергается каталитическому дожиганию на воздухе при температурах 700–1000 °С. Сажистый углерод (сажа) и другие твердые частицы не преодолевают водный заслон скруббера и вместе с водой удаляются в канал сточной воды, образуя осадок на дне канала в виде шлама. Газообразные остатки углеводородов конденсируются, стекают в канал и скапливаются на поверхности воды в виде масла.

В качестве сорбентов в насадке скруббера используются сода, суспензия извести, соединения аммиака, суспензия доломита, кальцинированная вода, карбонат натрия и др. Эти соединения связывают вредные вещества в солевые образования. Для каждой СОЖ выбор сорбентов и технологии очистки индивидуальный. Очищенный газ (СО₂ и Н₂О) выбрасывается в атмосферу через трубу с помощью дымососа.

Сбор масла с поверхности воды производится с помощью плавающего поплавка насосной установкой. Порошкообразный осадок (главным образом сажистый углерод) отгружается в отвал или используется в металлургических брикетах.

Экономическая эффективность горячего брикетирования обеспечивается снижением затрат электроэнергии на работу брикетировочного пресса вследствие снижения сопротивления металла деформированию в 2,0–2,2 раза. Стоимость природного газа, расходуемого на нагрев шихты, в 10–12 раз ниже стоимости электроэнергии, а содержание масляной компоненты СОЖ в составе шихты обеспечивает снижение

расхода природного газа до 30%. Формирование пироуглеродного покрытия (смазки) на поверхности частиц металла снижает работу деформационного уплотнения стальной и чугуновой стружки на 10–15%. Выделение твердого углерода сокращает общее количество печных газов и упрощает задачу их полного сжигания. Углеродный слой, образующийся на поверхности стружки, предохраняет ее от окисления на выходе из печи, при загрузке в пресс и горячем прессовании вплоть до получения готовых брикетов. Свободный углерод выполняет роль пластификатора стружки при горячем прессовании, снижает межчастичное трение, способствует повышению плотности прессовки.

Экономическая эффективность горячего брикетирования многократно возрастает с использованием порошков шламов в составе стружки, а также легирующих добавок при получении композиционных шихтовых материалов заданного химического состава. В состав шихты могут входить мелкофракционные отсеивы ферросплавов, флюсовые и шлакообразующие добавки: кокс, известь, оксиды железа, алюминий, кремний, колотая стальная и чугуновая дробь и др. Плотные и высокопрочные брикеты с заранее установленным и востребованным химическим составом реализуются по более высокой отпускной стоимости.

Оценку качества горячепрессованных брикетов проводили по результатам плавки, проведенных в различных плавильных агрегатах на трех заводах: ОАО «МПЗ», ОАО «МТЗ» и ОАО «БМЗ».

На ОАО «МПЗ» установка горячего брикетирования была установлена в кузнечном цехе завода. Процесс брикетирования осуществляли на гидравлическом прессе Б6238 горизонтального исполнения, спаренного с вертикальной муфельной печью. Технические характеристики горячепрессованных брикетов из стружки подшипниковой стали ШХ15СГ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики горячепрессованных брикетов из стружки подшипниковой стали ШХ15СГ

Материал	Размеры брикета		Плотность, кг/м ³	Масса, кг	Содержание масла, осыпаемость по СТБ 2026–2010
	диаметр, мм	высота, мм			
Сталь ШХ15СГ	150	90–100	6800–7100	11,0–12,5	Отсутствуют

Сравнительные плавки с полным или частичным использованием брикетов из стружки стали ШХ15СГ проводили в РМЦ завода в индукционной печи ИСТ-0,4 (табл. 2). Техническая характеристика печи: емкость – 0,4 т, потребляемая мощность – 237 кВт, температура – 1600 °С, удельный расход электроэнергии – 690 кВт·ч/т. Схема питания печи: через преобразователь повышенной частоты ОТМ 250–2400 Гц.

Таблица 2. Результаты плавки горячепрессованных брикетов из стружки стали ШХ15СГ на ОАО «МПЗ»

Номер плавки	Вид металлоотходов	Содержание масла, %	Масса, кг	Доля в металлозавалке, %	Время плавки, мин	Выход годного, %
1	Кусковой лом	0	400	100	90	95
2	Брикеты	0	400	100	93	94
3	Стружка	4	400	100	71	83
4	Брикеты	0	120	100	32	94
5	Стружка	4	120	100	41	79
6	Брикеты	0	120	30		
	Стружка	0	280	70		
	Всего по плавке № 6	0	400	100	47	95

Время плавки (90–93 мин) и выход годного (94–95%) у брикетов и кускового лома практически одинаковые (плавки № 1, 2, 4), у стружки выход годного (79–83%) крайне неудовлетворителен (плавки № 3, 5). В то же время шихта, состоящая из обезжиренной сухой стружки (70%) и горячепрессованных брикетов (30%), дает хороший результат по продолжительности плавки (47 мин) при штатном выходе годного (95%, плавка № 6).

Анализ результатов, полученных на ОАО «МПЗ», показал, что горячепрессованные брикеты из стружки стали ШХ15СГ являются полноценными заменителями концевых отходов и лома той же марки стали. Таким образом, их применение в подшипниковом производстве является импортозамещением дорогостоящей подшипниковой стали, тем более, что коэффициент полезного использования металла на заводе крайне низок ($K=0,51$).

Как показали опытные плавки и экономические расчеты, наиболее эффективным использованием горячепрессованных брикетов из стружки и шламов подшипниковых сталей на ОАО «МПЗ» является их электрошлаковый переплав. Плавки проводили на установке ЭШП инструментального цеха. Брикеты из стружки стали ШХ15СГ сваривали в электрод, который переплавляли в заготовку крупногабаритного кольца роликосферического подшипника 3640. Метал разливали в двухсторонний медный водоохлаждаемый кристаллизатор. В результате двухстороннего направленного отвода тепла структура отливки получалась плотной, без каких-либо пустот, рыхлости и усадочной раковины. Электрошлаковый переплав обеспечил прямое попадание в пределы допуска всех химических элементов стали ШХ15СГ. Далее заготовку кольца подшипника 3640 подвергали операциямковки (нагрев, осадка, обкатка на оправке), термической и механической обработке по действующей на заводе технологии. Все без исключения испытания физико-механических свойств, химический и металлографический анализы на карбидную неоднородность и величину зерна стали не выявили никаких расхождений с аналогичными испытаниями заготовок колец подшипников, закупаемых в настоящее время у завода «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ» (г. Запорожье, Украина).

На ОАО «МТЗ» плавки проводили с использованием горячепрессованных чугуновых брикетов (СЧ20) в ЛЦ2 на высокочастотной индукционной печи ИТПЭ-0,4 емкостью 0,4 т. Партия брикетов в количестве 0,5 т была изготовлена на установке горячего брикетирования в лаборатории обработки металлов давлением НИЦ ОГТ. Технические характеристики брикетов и результаты плавки приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3. Технические характеристики горячепрессованных брикетов из чугуновой стружки СЧ20

Материал	Размеры брикета		Плотность, кг/м ³	Масса, кг	Содержание масла, осыпаемость по СТБ 2026–2010
	диаметр, мм	высота, мм			
Чугун СЧ 20	60	25–30	6300–6700	0,46–0,5	Отсутствуют

Таблица 4. Результаты плавки горячепрессованных брикетов из чугуновой стружки СЧ20 на ОАО «МТЗ»

Состав шихты	Количество, кг			Время плавки, мин			Выход годного жидкого металла, кг					
	номер плавки			номер плавки			номер плавки					
	1	2	3	1	2	3	1		2		3	
Брикеты СЧ20 горячепрессованные	60,0	180,0	59,0	110,0	125,0	105,0	364,0	Шлак и скрап 24,0	334,0	Шлак и скрап 35,0	360,0	Шлак и скрап 26,0
Чугун передельный	120	–	122,0									
Возврат	140,0	140,0	141,0									
Лом стальной	64,0	64,0	66,0									
FeMn	1,0	1,0	–									
FeSi	6,5	6,5	6,0									
Графит	2,5	5,5	2,5									

Оценку качества плавления брикетов проводили в сравнении с первичным чушковым чугуном и ломом чугуна. Время плавки, затраты электроэнергии, угар и безвозвратные потери металла оказались сопоставимыми со штатными параметрами плавки чушкового чугуна. Повышенное шлакообразование соответствовало исходной степени окисленности стружки. При заливке проб на отбел влияния доли брикетов в металлозавалке не выявлено: глубина отбела – 13–15 мм по клиновидной пробе. Установлено, что высокая плотность и прочность чугуновых брикетов, возможность корректировки расплава введением в состав брикетов дополнительных элементов (отсева кокса, колотой чугуновой и стальной дробы и др.) с учетом угара в процессе плавления являются чрезвычайно важными и практически необходимыми достоинствами технологии горячего брикетирования.

Расчет себестоимости 1 т горячепрессованных брикетов из чугуновой и стальной стружки с учетом полной экологической безопасности технологического процесса показал, что горячее брикетирование не дороже холодного независимо от марки чугуна и стали, а по всем остальным показателям значительно его превосходит. В связи с этим специалистами завода была признана целесообразность внедрения технологии горячего брикетирования не только чугуновой, но и стальной стружки всех марок стали при общем годовом стружкообразовании 12,5 тыс. т.

На ОАО «БМЗ» в плане освоения новых видов металлошихты выполняли работы по разработке технологии производства легированных марок стали с использованием горячепрессованных брикетов из стружки стали ШХ15СГ, изготовленных на ОАО «МПЗ». В ЭСПЦ-2 на ДСП-100 № 3 (100-тонная дуговая сталеплавильная печь) проведена серия балансовых плавов для расчета баланса металла и определения расходных коэффициентов металлошихты. Усредненные значения входного контроля проб опытных брикетов и требования СТБ 2026–2010 приведены в табл. 5.

Таблица 5. Входной контроль горячепрессованных брикетов из стружки стали марки ШХ15СГ

Наименование документа	Химический состав, %						Геометрические параметры, м		Физические параметры	
	Cr	Ni	Cu	Si	S	P	D	h	m, кг	ρ , кг/м ³
Входной контроль	1,5	0,13	0,22	0,4	0,03	0,016	0,15	0,054	6,5–6,8	6800–7100
СТБ 2026–2010 (6Б1)	0,4–1,8	н.б. 0,4	–	н.б. 0,6	–	–	Не регламент.		2–50	н.м 5000

Брикеты загружали взамен эквивалентного количества лома категории Б1–3 согласно шихтовки технологической карты марки стали 45Х (табл. 6). В качестве сравнительных плавов были выбраны плавки с использованием в металлошихте легированного лома категории Б1–3 в количестве 30–40 т. Параметры плавов, расход металлошихты, электроэнергии и газов, выход годного металла приведены в табл. 7, 8.

Таблица 6. Шихтовка балансовых плавов

Номер плавки	Шихта по видам лома, т						
	категория А	категория АП	категория Б 1, 2, 3	категория Б оборот.	брикеты Б6	чугун НЛМК	всего, т
33049	85,3		19,9		10,0		115,2
33050	85,3		10,8	10,0	9,6		115,7
33051	75,5	9,8	10,3	10,2	10,1	4,9	120,8
33052	70,2	14,7	10,1		20,0	5,0	120,0
Сравнительная	40–50	15–20	30–40			5,0	120,0

Таблица 7. Длительность плавов, температура

Номер плавки	Время в ДСП, мин		Температура металла перед выпуском, °С	Температура металла после выпуска, °С
	общее	под током		
33049	71	49	1643	1498
33050	78	48	1673	1523
33051	68	45	1676	1540
33052	71	44	1672	1544
Среднее	72	47	1666	1526
Сравнительная	76	46	1653	1517

Таблица 8. Расход металлошихты, выход годного металла, расход электроэнергии и газов

Номер плавки	Итого металлошихты, т	Масса годного, т	Активы электроэнергии, кВт·ч	Удельная электроэнергия на шихту, кВт·ч/т	Природный газ, м ³	Кислород, м ³	
						горелок	дутья
33049	115,2	99,9	47420	411,63	822	1567	1346
33050	115,7	106,7	45920	396,88	777	1476	1160
33051	121,2	106,7	46965	387,5	891	1705	1511
33052	120,0	97,0	44968	374,73	822	1558	1259
Среднее	118,0	102,57	46318,25	392,68	828	1576,5	1319
Сравнительная	115,7	102,3	47615,62	412,17	977,2	1909,8	1211,1

Из табл. 5 следует, что опытный материал соответствует типовым требованиям СТБ 2026–2010 для брикетов из стальной стружки категории 6Б1. Общая продолжительность балансовых плавов без учета простоев изменялась от 68 до 78 мин и в среднем составила 72 мин. Продолжительность балансовых плавов под током изменялась от 44 до 49 мин и в среднем составила 47 мин. Температура металла перед выпуском из ДСП изменялась от 1643 до 1676 °С и в среднем составила 1660 °С.

Расход активной электроэнергии изменялся от 44968 до 47420 кВт·ч и в среднем составил 46318,25 кВт·ч. Удельный расход электроэнергии на 1 т годной стали при проведении серии балансовых плавов изменялся от 430,36 до 474,67 кВт·ч/т и в среднем составил 452,19 кВт·ч/т. Расход природного газа/кислород горелок/кислород дутья изменялся от 777/1476/1160 до 891/1705/1511 м³ и в среднем составил 828/1576,5/1319 м³ соответственно.

На основании полученных данных определяли расходные коэффициенты металлошихты по каждой плавке по следующим выражениям:

по жидкому металлу

$$K = \frac{M_{\text{шихты}}}{M_{\text{жидк}}},$$

по годной заготовке

$$K = \frac{M_{\text{шихты}}}{M_{\text{годн}}},$$

где K – расходный коэффициент; $M_{\text{шихты}}$ – масса шихты, т; $M_{\text{годн}}$ – масса годного металла, т.

Расходные коэффициенты металлошихты и выход годного приведены в табл. 9.

Т а б л и ц а 9. Расходные коэффициенты металлошихты и выход годного

Номер плавки	Итого металлошихты, т	Масса жидкого в ковше, т	Масса годного, т	K по жидкому металлу	K по годной заготовке	Выход жидкого, %	Выход годного из шихты, %
33049	115,2	101,0	99,9	1,141	1,153	87,7	86,7
33050	115,7	103,0	106,7	1,123	1,084	89,0	92,2
33051	121,2	101,0	106,7	1,2	1,136	83,3	88,0
33052	120,0	110,0	97,0	1,091	1,237	91,7	80,8
Среднее	118,0	103,8	102,6	1,139	1,152	87,9	86,9
Сравнительная	115,7	106,1	102,3	1,09	1,131	91,7	88,4

Таким образом, все перечисленные параметры плавов с использованием горячепрессованных брикетов из стружки стали ШХ15СГ соответствуют плавкам штатной технологии. Однако по расходу ферросплавов, содержанию хрома и марганца некоторые отклонения от штатной технологии все же присутствуют.

Расходы феррохрома (FeCr850) и ферромарганца (FeMn78), добавленных на плавку в процессе выплавки и ковшевой обработки на «печь-ковше», приведены в табл. 10. Расход присаживаемого феррохрома на плавку в среднем составил: на выпуске – 0,99 т; на «печь-ковше» – 0,241 т; суммарный – 1,231 т. Расход присаживаемого ферромарганца на плавку в среднем составил: на выпуске – 0,605 т; на «печь-ковше» – 0,455 т; суммарный – 1,06 т.

Т а б л и ц а 10. Расход феррохрома (FeCr850) и ферромарганца (FeMn78), добавленных на плавку в процессе выплавки и ковшевой обработки на «печь-ковше»

Номер плавки	Присадка на выпуске, т			Присадка на «печь-ковше», т			Итого
	феррохром (FeCr850)	ферромарганец (FeMn78)	сумма	феррохром (FeCr850)	ферромарганец (FeMn78)	сумма	
33049	1,015	0,165	1,18	0,29	0,045	0,335	1,515
33050	0,810	0,135	0,945	0,155	0,06	0,215	1,16
33051	1,13	0,17	0,3	0,2	0,11	0,31	0,61
33052	1,005	0,135	1,14	0,32	0,24	0,56	1,7
Среднее	0,99	0,151	1,141	0,241	0,114	0,355	1,496
Сравнительная	1,064	0,116	1,18	0,189	0,152	0,341	1,521

Суммарный расход ферросплавов на опытных плавках выше, чем на сравнительных и составил 2,696 т в сравнении с 2,357 т на плавках штатной технологии.

Химический состав металла по расплавлению приведен в табл. 11.

Таблица 11. Химический состав металла по расплавлению

Номер плавки	Химический состав металла, %					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
33049	0,1022	0,0029	0,0419	0,0093	0,05	0,1073
33050	0,1557	0,0068	0,1477	0,0071	0,043	0,1544
33051	0,1083	0,0019	0,0406	0,0047	0,04	0,1372
33052	0,0822	0,0143	0,046	0,007	0,044	0,1528

На балансовых плавках содержание хрома по расплавлению изменялось от 0,1073 до 0,1544% и в среднем составило 0,1379%, на сравнительных в среднем – 0,142%. На балансовых плавках содержание марганца по расплавлению изменялось от 0,0406 до 0,1477% и в среднем составило 0,0691%, на сравнительных в среднем – 0,1175%. Таким образом, содержание хрома и марганца на балансовых плавках с использованием брикетов либо ниже, либо соответствует штатной технологии с использованием легированного лома категории Б1–3.

Анализ результатов испытаний, проведенных на ОАО «БМЗ», показал, что использование горячепрессованных брикетов из стружки стали ШХ15СГ в металлошихте следует ограничить до 15% от массы металлошихты на плавку. Для того чтобы снять это ограничение, необходимо ввести в состав брикетов некоторое дополнительное количество феррохрома (FeCr850) и ферромарганца (FeMn78), например, в виде отсева продуктов дробления металлургических слитков (фракция до 10 мм).

Аналогичные результаты были получены при выплавке стали марки 40X. Сравнение основных технико-экономических показателей опытных плавков и плавков по существующей технологии приведено в табл. 12, 13.

Таблица 12. Основные технико-экономические параметры опытных плавков в ДСП-100 № 3 ОАО «БМЗ» стали марки 40X

Номер плавки	Лом А, т	Лом АП, т	Лом А об., т	Лом Б об., т	Брикеты ШХ15СГ, т	Итого металлошихты, т	Масса жидкого в ковше, т	Выход годного, %
30799	85,1	0	10	0	25	120,1	105	87,43
30800	82,7	0	10,2	0	27,4	120,3	107	88,94
30801	94,5	15,5	10	0	0	120	108	90,0
30802	95	15,4	10	0	0	120,4	116	96,35
30803	105,6	0	0	10,6	0	116,2	110	94,66
Среднее	92,58	6,18	8,04	2,12	10,48	119,4	109,2	91,48

Таблица 13. Временные и температурные показатели, расход электроэнергии и кислорода при выплавке стали марки 40X

Номер плавки	Общее время плавки, мин	Время под током, мин	Электроэнергия, кВт·ч		Кислород, м ³		Температура стали на выпуске, °С
			общая	удельная на 1 т жидкой стали	общий	удельный на 1 т жидкой стали	
30799	88	52	47187	449,4	3162	30,11	1663
30800	75	51	49951	466,83	3339	31,21	1652
30801	70	45	45001	416,68	2771	25,66	1645
30802	67	46	45641	393,46	2633	22,7	1640
30803	75	51	47075	427,95	2628	23,89	1650
Среднее	75	49	46971	412,7	2677	24,08	1650
Сравнительная	68	51	48208	423,62	3307	29,06	1650

Из табл. 12, 13 видно, что технологический процесс выплавки стали марки 40X с использованием горячепрессованных брикетов из стружки стали ШХ15СГ в основном протекает в штатном режиме.

Средний расходный коэффициент по сравнению с базовой шихтовкой увеличился от 1,08 до 1,13. Общая продолжительность плавки и время под током в среднем составили 75 и 49 мин, что находится на уровне штатной технологии. Удельный расход электроэнергии на 1 т жидкого металла при использовании брикетов изменялся от 393,46 до 466,83 кВт·ч/т и в среднем составил 412,7 кВт·ч/т при сравнительном показателе 423,62 кВт·ч/т. Расход природного газа и кислорода в горелках за время проведения опытных плавки в среднем составил соответственно 828 и 2667 м³ на одну плавку, что также соответствует плавкам штатной технологии. Однако, так же как и для стали марки 45X, технологический процесс выплавки стали марки 40X требует корректировки химического состава расплава. Наиболее эффективным решением этой задачи является повышение процентного содержания легирующих элементов в составе брикета, например, с использованием мелкофракционных отсевов продуктов дробления слитков ферросплавного производства.

Выводы

1. Горячее брикетирование – это способ превращения мелкофракционных металлоотходов в габаритный кусковой полуфабрикат заданного химического состава.
2. В настоящее время создана установка (пресс-автомат) для осуществления этого процесса с полным и безопасным обезвреживанием дымовых газов методом «мокрой» очистки.
3. Установка горячего брикетирования является высокопроизводительным и экономически высокоэффективным оборудованием, гарантирующим стабильность размеров и качество брикетов.
4. Для подшипниковых заводов, спецификой которых является низкий коэффициент полезного использования металла, рекомендуется технология электрошлакового переплава горячепрессованных брикетов, сваренных в электрод, переплавляемый в заготовку крупногабаритного кольца подшипника.
5. Для машиностроительных заводов, располагающих собственным плавильным оборудованием и значительным количеством отходов черных металлов, целесообразно внедрение процесса горячего брикетирования с целью повышения качества брикетов и решения экологической проблемы, связанной с переплавом металлоотходов.
6. Для металлургических производств использование горячепрессованных брикетов с заданным и гарантированным химическим составом, удешевленных включением мелкофракционных отсевов ферросплавов, порошков шламов, колотой стальной и чугунной дроби и других наполнителей, приведет к значительному снижению себестоимости выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дьяконов, О. М.** Комплексная переработка стружки и металлосодержащих шламов / О. М. Дьяконов. Минск: Технология, 2012. 262 с.
2. **Марукович Е. И., Пантелеенко Ф. И., Дьяконов О. М., Литвинко А. А., Серeda В. Ю.** Получение высококачественного металлургического сырья из отходов металлообрабатывающего производства // Тр. 27-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2019. Беларусь», 2019. С. 70–88.
3. Способ брикетирования металлической стружки и устройство для его осуществления: пат. 2266969 Российская Федерация, МПК7 С 22В 1/248, 7/00 / О. М. Дьяконов; заявитель О. М. Дьяконов. – № 2003134886/02; заявл. 03.12.2003; опубл. 10.05.2005 // Официальный бюл. Росс. агентства по патентам и товарным знакам / Федеральный ин-т пром. собственности. – 2005. – № 36. – С. 28.
4. Способ брикетирования металлической стружки и устройство для его осуществления: пат. 8755 Респ. Беларусь, МПК7 С 22В 1/248 / О. М. Дьяконов; заявитель О. М. Дьяконов. – № а 20031051; заявл. 17.11.2003; опубл. 30.06.2005 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 6 – С. 102.

REFERENCES

1. **D'jakonov O. M.** *Kompleksnaja pererabotka struzhki i metallosoderzhashhij shlamov* [Complex processing of chips and metal-containing sludge]. Minsk, Tehnologija Publ., 2012, 262 p.
2. **Marukovich E. I., Panteleenko F. I., D'jakonov O. M., Litvinko A. A., Sereda V. Ju.** Poluchenie vysokokachestvennogo metallurgicheskogo syr'ja iz othodov metalloobrabatyvajushhego proizvodstva [Obtaining high-quality metallurgical raw materials from metalworking waste.]. *Trudy 27-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Litejnoe proizvodstvo i metallurgija 2019, Belarus'»* [Proceedings of the 27th International Scientific and Technical Conference «Foundry and Metallurgy 2019, Belarus'»], pp. 70–88.
3. **D'jakonov O. M.** *Sposob briketirovanija metallicheskoj struzhki i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija* [Method for briquetting metal chips and device for its implementation]. Patent No. 2266969 Rossiya, MPK7 S 22V 1/248, 7/00.
4. **D'jakonov O. M.** *Sposob briketirovanija metallicheskoj struzhki i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija* [Method for briquetting metal chips and device for its implementation]. Patent No. 8755 Belarus', MPK7 S 22V 1/248.