



А. М. Бижанов

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА БРИКЕТИРОВАНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ



А. М. Бижанов

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
БРИКЕТИРОВАНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2024

УДК 662.8
ББК 34.3
Б59

Рецензенты:

д. т. н., профессор кафедры металлургии железа и сплавов Уральского федерального университета
Загайнов Сергей Александрович,

д. т. н., профессор кафедры металлургии стали,
новых производственных технологий и защиты металлов НИТУ МИСИС
Павлов Александр Васильевич

Бижанов, А. М.

Б59 Теория и практика брикетирования в металлургии : монография / А. М. Бижанов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 516 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1696-2

Подробно рассмотрена технология холодного или безобжигового брикетирования как в ее историческом развитии, так и с точки зрения свойств продуктов такого окускования. Приведено описание технических характеристик и принципа действия оборудования, которое позволяет создать из мелкодисперсного материала твердотельную структуру, представлена совокупность способов подготовки и обработки шихтовых материалов (со связующим или без такового), которые обеспечивают соответствие свойств брикетов требованиям того или иного металлургического процесса. Приведен анализ результатов зарубежных исследований, посвященных технологии жесткой экструзии. Обобщается отечественный и мировой опыт разработки и освоения новых технологий брикетирования, отвечающих задачам черной металлургии на этапе транзита к декарбонизации.

Для инженерно-технических работников и персонала металлургических предприятий, научных сотрудников, аспирантов и преподавателей высших учебных заведений металлургического или политехнического профиля.

УДК 662.8
ББК 34.3

ISBN 978-5-9729-1696-2

© Бижанов А. М., 2024
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2024
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|------------|
| Предисловие | 6 |
| Введение | 9 |
| 1. История промышленного брикетирования в черной металлургии | 11 |
| 2. Основные материалы для брикетирования | 50 |
| 3. Способы подготовки шихтовых материалов для брикетирования | 60 |
| 3.1. Гомогенизация брикетируемой смеси | 60 |
| 3.2. Гранулометрический контроль компонентов брикета | 62 |
| 3.3. Подбор связующих материалов | 76 |
| 3.4. Обезмасливание окалины и обесцинкование шламов в сильном магнитном поле | 82 |
| 4. Металлургические свойства брикетов и способы их определения | 97 |
| 4.1. Механическая прочность | 97 |
| 4.1.1. Испытание брикетов на прочность при сжатии | 101 |
| 4.1.2. Барабанная проба | 104 |
| 4.1.3. Прочность на сбрасывание | 107 |
| 4.2. Восстановимость и горячая прочность, размягчаемость | 110 |
| 4.3. Пористость | 116 |
| 4.4. Минералогические исследования | 122 |
| 4.4.1. Оптическая микроскопия | 122 |
| 4.4.2. Термографический метод STA | 123 |
| 4.4.3. Мессбауэровская спектроскопия | 124 |
| 4.4.4. Сканирующая электронная микроскопия | 125 |
| 4.4.5. Рентгеноструктурный анализ | 125 |
| 4.5. «Метод большого образца» для изучения кинетики карботермического восстановления | 126 |
| 5. Основные промышленные брикетные технологии | 134 |
| 5.1. Брикетирование с использованием валковых прессов | 137 |
| 5.1.1. Физические процессы и конструкции прессов валкового брикетирования | 137 |
| 5.1.2. Методы расчета параметров и моделирования процессов валкового брикетирования | 143 |
| 5.1.3. Основные производители валковых прессов для брикетирования в черной металлургии | 148 |
| 5.2. Брикетирование методом вибропрессования | 156 |
| 5.2.1. Физическая сущность вибропрессования и структура брикета | 156 |
| 5.2.2. Оборудование для вибропрессования, транспортировки, термообработки и хранения брикетов | 160 |
| 5.2.3. Основные производители вибропрессов для брикетирования в черной металлургии | 163 |
| 5.3. Брикетирование методом жесткой вакуумной экструзии (ЖВЭ) | 166 |
| 5.3.1. Технологический процесс окускования методом жесткой вакуумной экструзии. | 166 |
| 5.3.2. Методы моделирования и расчета параметров процесса жесткой экструзии | 171 |

| | |
|--|------------|
| 5.3.3. Основное оборудование для брикетирования методом жесткой вакуумной экструзии. | 199 |
| 6. Брикетирование природных и техногенных материалов в доменном производстве | 203 |
| 6.1. Metallургические свойства вибропрессованных доменных брикетов..... | 203 |
| 6.1.1. Исследование металлургических свойств вибропрессованных брикетов в лабораторных условиях | 203 |
| 6.1.2. Опытнo-промышленные испытания доменных вибропрессованных брикетов (российский опыт)..... | 216 |
| 6.2. Metallургические свойства брикетов экструзии (брэсков) для доменного производства..... | 223 |
| 6.2.1. Metallургические свойства рудокосковых и шламовых доменных брэсков..... | 223 |
| 6.2.2. Metallургические свойства доменных брэсков на основе гематитового концентрата | 229 |
| 6.2.3. Metallургические свойства брэсков на основе гематитовых железных руд с добавками коксовой мелочи или пыли ЭСПЦ | 239 |
| 6.2.4. Metallургические свойства брэсков на основе магнетитовых железных руд с добавлением коксовой мелочи..... | 249 |
| 6.2.5. Исследование металлургических свойств промышленных брэсков, применяемых в качестве основного компонента шихты доменной печи. | 258 |
| 6.3. Опыт освоения технологии проплавки брикетов при увеличении их доли в шихте до 100 %..... | 266 |
| 6.4. Рудоуглеродные брикеты для доменных печей..... | 268 |
| 6.4.1. Влияние типа, свойств и количества углеродного материала на восстановимость..... | 269 |
| 6.4.2. Каталитические эффекты процессов восстановления оксидов железа | 271 |
| 6.4.3. Промышленный опыт использования доменных рудоуглеродных брикетов экструзии | 279 |
| 6.4.4. Сравнение рудоуглеродных брэсков и феррококса..... | 288 |
| 6.4.5. Рудоуглеродные брикеты с восстановителем на основе переработанной биомассы | 295 |
| 6.5. Синергия агломерации и брикетирования в доменном производстве..... | 311 |
| 6.6. Брикеты жесткой вакуумной экструзии как наилучшая доступная технология | 323 |
| 6.7. Подбор связующих при производстве брэсков..... | 326 |
| 6.7.1. Связующие для брикетирования отсевов железорудных окатышей | 326 |
| 6.7.2. Полимерные связующие компании BASF | 329 |
| 7. Брикетирование в процессах производства стали | 335 |
| 7.1. Использование рудоуглеродных брикетов в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) | 336 |
| 7.2. Использование рудоуглеродных брикетов для науглероживания стали..... | 339 |
| 7.3. Использование брикетов на основе окалины в кислородных конвертерах. | 343 |
| 7.4. Использование брикетов MgO в электросталеплавильных печах | 348 |
| 7.5. Опыт МИСИС в подборе связующих для брэсков на основе пыли ЭСПЦ..... | 349 |
| 8. Брикетирование природного и техногенного сырья для производства ферросплавов | 370 |
| 8.1. Брикеты на основе первично-окисленного марганцеворудного концентрата | 372 |
| 8.2. Брикеты на основе окисного марганцеворудного концентрата с добавлением пыли аспирации производства силикомарганца. | 377 |

| | |
|---|------------|
| 8.3. Опытнo-промышленная кампания по выплавке силикомарганца с брэксами в шихте руднотермической печи..... | 386 |
| 8.4. Брикеты для выплавки феррохрома..... | 392 |
| 8.5. Брикеты на основе отсевоv дробления ферросплавов..... | 403 |
| 8.6. Использование мягкой экструзии для производства рудоуглеродных брикетов для выплавки углеродистого феррохрома..... | 410 |
| 8.7. Опыт исследований компании Tata Steel (Джамшедпур, Индия) по брикетированию марганецсодержащих шламов и рудной мелочи..... | 414 |
| 8.8. Сравнение поведения брикетов и традиционных шихтовых компонентов в руднотермических печах..... | 421 |
| 8.9. Рудоуглеродные брикеты для выплавки ферросилиция..... | 428 |
| 8.10. Брикеты для выплавки ферроникеля..... | 432 |
| 8.10.1. Изучение параметров процесса восстановления рудоугольных брикетов для выплавки ферроникеля..... | 432 |
| 8.10.2. Опыт использования брэксов при выплавке ферроникеля..... | 436 |
| 8.11. Возможность использования углерода биомассы при выплавке ферросплавов..... | 437 |
| 9. Брикетирование в процессах производства железа прямого восстановления..... | 441 |
| 9.1. Брэксы в шихте реактора прямого получения железа..... | 441 |
| 9.1.1. Корзиночные испытания с брэксами в жесткой стальной корзине при загрузке в реактор Midrex..... | 443 |
| 9.1.2. Корзиночные испытания с брэксами в деформируемых стальных пакетах в реакторе Midrex..... | 449 |
| 9.1.3. Минералогическое исследование восстановленного брэкса..... | 453 |
| 9.1.4. Испытание брэксов в шихте реактора HYL..... | 462 |
| 9.2. Жесткая экструзия для окускования шихты ретортной печи Coldry-Matmor для получения железа прямого восстановления..... | 463 |
| 9.3. Испытание брэксов для процесса COREX..... | 467 |
| 9.4. Брэксы на основе отсевоv ГБЖ..... | 470 |
| 9.5. Высокотемпературное восстановление рудоугольных брэксов..... | 471 |
| 9.6. Кислородный реактор – инновационный процесс для получения чугуна и ферросплавов на брикетированной шихте..... | 478 |
| 9.7. Металлургические технологии получения железа с использованием металлсодержащих компонентов золошлаковых отходов (ЗШО)..... | 484 |
| Заключение..... | 497 |
| Вопросы для самоконтроля..... | 499 |
| Приложения..... | 506 |