

## ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТЕЙНЕРОВ С ЗАМАСЛЕННОЙ ОКАЛИНОЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПРИБЛИЖЁННО К КРУПНОСТИ КОКСА

**Аннотация.** При помощи универсальной испытательной машины ИР 5082–100 исследовали прочность на сжатие образцов замасленной окалины, упакованной в металлические контейнеры для загрузки в доменную печь. Испытания провели как в холодном состоянии, так и после восстановления при температуре 700 °С. Предел прочности на сжатие контейнера с замасленной окалиной в холодном состоянии до начала выдавливания масла составил 986 кПа, что в 70 раз превышает статическое давление, создаваемое порцией доменной шихты в объеме одной подачи. После восстановления материала при температуре 700 °С сухой остаток в контейнере, склонный к уплотнению, обеспечивал еще более высокое значение предела прочности на сжатие.

**Ключевые слова:** замасленная прокатная окалина; окускование; металлический контейнер; прочность на сжатие; утилизация техногенных отходов.

**Abstract.** Using a universal testing machine IR 5082–100, the compressive strength of samples of oily scale, packed in metal containers for loading into a blast furnace, was studied. Tests were carried out both in a cold state and after recovery at a temperature of 700 °C. The compressive strength of a container with oily scale in a cold state before squeezing out the oil was 986 kPa, which is 70 times higher than the static pressure created by a portion of the blast furnace charge in the volume of one feed. After recovery of the material at a temperature of 700 °C, the dry residue in the container, prone to compaction, provided an even higher value of compressive strength.

**Key words:** oily mill scale; agglomeration; metal container; compressive strength; recycling of industrial waste.

### Введение

Содержание железа в замасленной окалине достигает 70–80 %, что делает данный вид отходов ценным вторичным ресурсом [1–3]. Окалина представляет собой практически чистые оксиды железа, которые могут быть использованы в различных металлургических процессах взамен части железорудных материалов. Однако, при контакте прокатной окалины с водой, содержащей масло, образуется смесь высокой устойчивости (окалина + масло + вода) [4; 5]. Наличие в составе замасленной окалины технических масел в количестве 15–30 % является препятствием для организации её пирометаллургического рециклинга на металлургическом предприятии в составе шихт аглодоменного и сталеплавильного переделов, как с точки зрения технологии, так и экологии [6].

Существующие способы предварительной подготовки замасленной окалины к использованию в аглодоменном переделе (химический способ, брикетирование, термическая обработка) в настоящее время нерентабельны [7]. В этой

связи актуальной представляется разработка способа утилизации замасленной окалины прямой загрузкой в доменную печь без предварительного обезмасливания. Согласно патенту [8] для загрузки замасленной окалины в доменную печь вместо мало прочных брикетов, с применением замасленной окалины, можно использовать металлическую упаковку в виде контейнера, плавящуюся при температуре не менее 1500 °С. Данный способ не является распространённым, так как разработка [8] не была изучена всесторонне. Тем не менее, он имеет преимущество перед теми, которые подразумевают предварительное обезмасливание и дальнейшее брикетирование или агломерацию, так как устраняет недостатки, связанные с дополнительным оборудованием; временем подготовки; дополнительным хранением и утилизацией извлечённых органических соединений; очищением загрязнённой воды. В связи с этим одним из решений задачи утилизации замасленной окалины является совершенствование прототипа, описанного в патенте № RU 2131929 С1. Для этого необходимы дополнительные исследования прочностных характеристик окускованной замасленной окалины.

#### *Материалы и методы исследования*

Для испытаний на прочность в качестве упаковки использовали металлический контейнер объёмом 420 см<sup>3</sup>, изготовленный из стали 3, размерами 85x83,4 мм (рис. 1). Наполненный замасленной окалиной металлический контейнер имел массу 700 г.



Рис. 1. Металлический контейнер объёмом 420 см<sup>3</sup>, наполненный замасленной окалиной

Испытания материалов на прочность на сжатие проводили с использованием универсальной испытательной машины ИР 5082–100, прикладывая нарастающую нагрузку до 10 т при скорости хода траверсы 15 мм/мин. Металлические контейнеры с замасленной окалиной размещали для испытания как вертикально, так и горизонтально, моделируя тем самым различные направления приложения нагрузки в доменной печи. Результаты испытаний окускованной замасленной окалины в исходном состоянии приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Прочностные характеристики окускованной замасленной окалины  
в исходном состоянии**

Вид материала	Предел прочности материала на сжатие, кПа	Характер нарушения целостности
Металлический контейнер с замасленной окалиной в вертикальном положении	3923	Разрыв металлического контейнера с интенсивным выдавливанием замасленной окалины
Металлический контейнер с замасленной окалиной в горизонтальном положении	986	Начало выдавливания масла из технологического отверстия
	1339	Выдавливание масла 36 % (мас.) из технологического отверстия и дополнительного отверстия разрыва
	17632	Полная деформация металлического контейнера с выдавливанием более 95 % (мас.) масла

Согласно таблице, начало выдавливания масла из технологического отверстия металлического контейнера начинается при 986 кПа, что в 70 раз выше статического давления столба шихтовых материалов в верхней части доменной печи, оказываемое на нижележащий слой массы материалов, соответствующей одной подаче загружаемой в колошниковое пространство печи с большого конуса [9–13].

Испытали прочность металлического контейнера наполненного замасленной окалиной, агломерата и окатышей после нагрева их в восстановительной среде при температуре 700 °С (таблица 2).

Таблица 2

**Прочностные характеристики агломерата, окатышей и окускованной замасленной окалины после восстановления при температуре 700 °С**

Вид материала	Прочность материала (кПа)	Характер нарушения целостности
Агломерат	17703	Появление трещин с раскалыванием материала на несколько кусков
Окатыши	7433	
Металлический контейнер с замасленной окалиной в вертикальном и горизонтальном положении	17632	Уплотнение металлического контейнера до размеров 68x91 мм без выдавливания содержимого и нарушения его целостности

При испытаниях металлического контейнера с замасленной окалиной, предварительно прогретой в восстановительной среде при температуре 700 °С, происходило смятие металлического контейнера, но его целостность при этом не нарушалась, и закоксованный сухой продукт, находящийся внутри, постепенно уплотнялся и воспринимал максимальную нагрузку, допускаемую возможностями используемой испытательной машины и составляющую 10 т на один металлический контейнер, что эквивалентно давлению в 17632 кПа.

### *Заключение*

Исследовали прочностные характеристики окускованной замасленной окалины в холодном состоянии и после восстановления при температуре 700 °С, используя универсальную испытательную машину ИР 5082–100, прикладывая нарастающую нагрузку до 10 т при скорости хода траверсы 15 мм/мин.

Предел прочности на сжатие металлической контейнерной упаковки с замасленной окалиной в холодном состоянии до начала выдавливания масла превышает в 70 раз статическое давление, создаваемое порцией доменной шихты, соответствующей одной подаче.

Предел прочности металлического контейнера с замасленной окалиной, предварительно восстановленного при температуре 700 °С, составил 17632 кПа, что соответствует прочности агломерата.

### **Список использованных источников**

1. Леонтьев Л.И. Фундаментальные исследования как основа создания новых материалов и технологий в области металлургии. Часть 1 / Л.И. Леонтьев, К.В. Григорович, М.В. Костина // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 1. С. 11–22.
2. Курунов И.Ф. Вдувание комбинированного топлива из маслоотходов и замасленной окалины в доменную печь / И.Ф. Курунов, А.Л. Петелин, Д.Н. Тихонов, С.Ф. Ерохин // Металлург. 2004. № 7. С. 33–35.
3. Танутров И.Н. Новая технология совместной переработки техногенных отходов / И.Н. Танутров, М.Н. Свиридова, А.Н. Савеня // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2013. № 1. С. 21–26.
4. О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. Письмо Минприроды России (Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ) от 27.12.1993 N04-25 Письмо Госкомзема России от 27.12.1993 N 61-5678.
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.
6. Танутров И.Н. Технологическое моделирование совместного выщелачивания замасленной прокатной окалины и красного шлама / И.Н. Танутров, М.Н. Свиридова, Ю.А. Чесноков, Л.А. Маршук // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Т. 63. № 11–12. С. 891–898.
7. Новая концепция рециклинга дисперсных железосодержащих отходов / С.Л. Ровин, Л.Е. Ровин // Труды 10 Международной научно-практической конференции «Прогрессивные литейные технологии». Москва, 9–13 нояб. 2020. НИТУ «МИСиС». М., 2020. С. 238–243.
8. Патент № RU 2131929 С1 Российская Федерация, МПК С21В 5/00. Способ получения чугуна с использованием доменного производства на металлургическом предприятии / В.Н. Селиванов, Ю.С. Юсфин, П.И. Черноусов, Р.В. Сейфулов, В.И. Губанов. № 98111633/02: заявл. 1998.06.26: опубл. 1999.06.20.

9. Закономерности поступления компонентов шихты по крупности из бункера БЗУ в колошниковое пространство печи в зависимости от условий загрузки / А.С. Харченко // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т. 16. № 3. С. 46–56.

10. Совершенствование хода доменного процесса повышением расхода природного газа по газодинамике в верхней ступени теплообмена / С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, В.А. Бегинюк, В.Н. Селиванов, В.П. Чернов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т. 15. № 1. С. 37–44.

11. Дмитриев А.Н. Основы теории и технологии доменной плавки / А.Н. Дмитриев, Н.С. Шумаков, Л.И. Леонтьев, О.П. Онорин. – Екатеринбург: УрО РАН. 2005. – 545 с.

12. Особенности тепловизионного контроля температур на уровне засыпи в доменной печи / Н.А. Спиринов, К.А. Щипанов, И.А., Гуринов А.С. Истомин, К.Р. Перетыкина // Сталь. 2021. № 4. С. 12–14.

13. Харченко А.С. Рациональные технологические решения при производстве чугуна в доменных печах ПАО «ММК» / А.С. Харченко, С.К. Сибатуллин, А.В. Павлов, А.А. Полинов // Черные металлы. 2021. № 12. С. 10–15.

УДК 632.21

**М. И. Ершов, О. Нордин, В. Г. Тупоногов, А. Ф. Рыжков**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ХОЛОДНОЙ МОДЕЛИ РЕАКТОРА КОНВЕРСИИ ДРЕВЕСНОГО ОПИЛА: ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

**Аннотация.** В настоящей работе рассмотрены результаты экспериментального исследования пульсаций давления в холодной модели реактора конверсии опила, а также проведен анализ пульсаций во временной и частотной областях. Эксперименты проводились в фонтанирующем режиме при начальной высоте засыпки опилок 50 мм и двух скоростях воздуха на входе в установку. Представлено применение вейвлет-преобразования Мейера на 6 уровнях с использованием MATLAB, а также вейвлет-спектр мощности коэффициента детализации на уровне 6.

**Ключевые слова:** фонтанирующий слой, пульсации давления, вейвлет-анализ, волна Мейера, вейвлет-спектр.

**Abstract.** This paper examines the results of an experimental study of pressure pulsations at different heights in a cold model of a sawdust conversion reactor, and carries out an analysis in the time and frequency domains. The experiments were carried out at a sawdust filling height of 50 mm and two air speeds per empty section of the installation entrance. The application of wavelet analysis is presented, especially the Meyer wave decomposition at 6 levels using MATLAB, as well as the power wavelet spectrum at level 6 for detail coefficient.

**Key words:** spouted bed, pressure fluctuation, wavelet analysis, Meyer wavelet, wavelet spectrum.