

СЕПАРАЦИЯ СТРУЖКИ И ПОРОШКА СЕРОГО ЧУГУНА

В статье рассмотрены вопросы сепарации чугунной стружки и порошка с введением кремния и углерода, так как проблема использования чугунной стружки в машиностроении весьма актуальна. Двукратная перемелка пенного продукта позволяет получить богатый графитовый концентрат.

Проблема переработки чугунной стружки является актуальной народохозяйственной задачей. Химический состав серого чугуна СЧ21: 3,3-3,5 C_{общ}; 2,8-3,0 C_{свобод}; 1,4-1,7 Si; 0,6-0,9 Mn; 0,45 Cr; 0,2-0,4 P; 0,08 S /1/. При традиционной схеме переработки чугунной стружки – бритирования (переплавка в плавильных печах) происходит угар легирующих элементов Cr и Mn и загрязнение окружающей среды. Нами предложена переработка стружки серого чугуна СЧ21 методами порошковой металлургии /2/.

Из стружки серого чугуна была отсеяна фрактура (-0,08+0,056) мм, а остальная разламывалась в вибрационной мельнице М10 до среднего размера 0,106 мм. Порошок серого чугуна содержит 3,5% С и поэтому плохо прессуется.

Для выделения из серого чугуна (СЧ21) свободного углерода и фаз, богатых кремнием, применяются следующие методы сепарации стружки (+0,2 -0,044мм):

- магнитная сепарация;
- гравитация;
- флотационное выделение углерода и кремнийсодержащих частиц.

Исследование метода магнитной сепарации проводили на пробах чугунного порошка, состоящего из металлической основы (94-95%) и механической смеси слабомагнитных и немагнитных материалов. Принцип магнитной сепарации заключается в использовании разной удельной магнитной восприимчивости частиц порошка, т. е. разделении механических смесей по их магнитным свойствам. Удельная магнитная восприимчивость частиц железного порошка составляет $200000 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$, это в 2,5 раза больше, чем для магнетита /3/.

Гравитационные процессы сепарации являются наиболее распространенными из всех методов разделения порошковых смесей как по удельному весу, так и по крупности. Гравитационные методы (сепарации) основаны на использовании силы тяжести или разницы в весе частиц, зависящей, как известно, от объема каждой частицы и ее удельной массы. Разница в удельных весах частиц, составлявших железный порошок, – значительна (4,8-5,2 г/см³ – железные частицы, 1,2-1,6 г/см³ угле-

род), что и предопределило необходимость применения гравитационной сепарации.

Отделение частиц графита и кремнезема из чугунных порошков проводили на короткокonusном модифицированном гидроциклоне, основные параметры которого представлены на рисунке 1, и на концентрационном столе. В качестве материала использовали исходную стружку и порошок, полученный в результате размола – 2; 3 и 5 часов. Условия проведения эксперимента и результаты приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

Как видно по результатам испытаний, получен объединенный слив с минимальным содержанием в нем примесей углерода – 0,9%. Обеднена углеродом и фракция песков до 2,14% против 3,3% в исходном продукте. Это указывает на эффективность гравитационной сепарации с применением короткокonusных гидроциклонов.

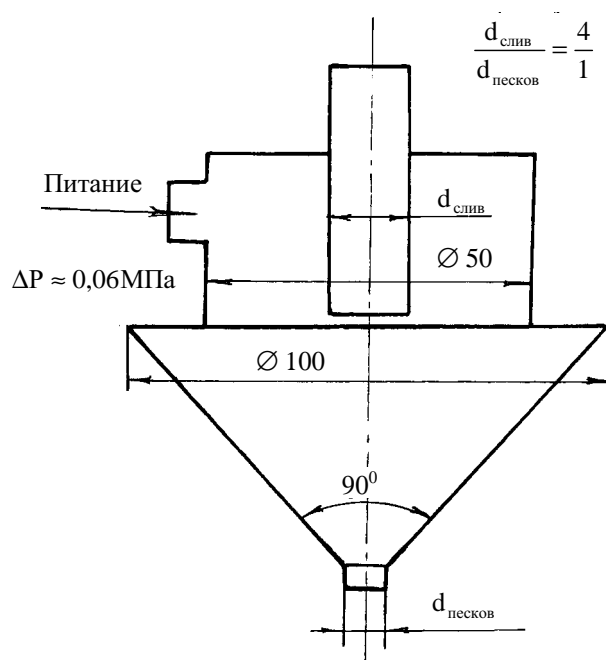


Рисунок 1. Схема короткокonusного модифицированного гидроциклона.

Таблица 1. Выход продуктов при сепарации на короткокonusном модифицированном гидроциклоне

| Продукт | Выход, % | Содержание, % | | |
|----------------------|----------|---------------|------------------|-------|
| | | C | SiO ₂ | Fe |
| 1. Класс + 1 мм | 8,17 | 3,48 | 1,99 | 94,53 |
| 2. Пески | 85,6 | 2,14 | 2,20 | 95,66 |
| 3. Слив объединенный | 6,21 | 0,9 | 2,02 | 97,08 |
| Исходный | 100 | 3,3 | 2,4 | 94,7 |

Концентрационный стол по существу является механизированным, непрерывно действующим лотком. Он состоит (рисунок 3) из нарифленной прямоугольной деки – 1. Обогащаемый материал в виде пульпы с содержанием 25% твердого вещества подается в загрузочную коробку. Из загрузочной коробки материал распределяется по желобу 3 и равномерно поступает на деку. Вода для смывания распределяется вдоль загрузочной деки, переходя по желобу 4. Отличительными признаками обогащения в сотрясающемся слое является: расслоение в зависимости от удельного веса зерен и распределение (сегрегация) зерен происходит в условиях их полувзвешенного состояния, получаемого в результате сотрясений без помощи направленных вверх потоков воды.

В наших исследованиях приняли обозначение: хвосты – железосодержащая фракция, концентрат – углеродсодержащая фракция.

При сепарации на концентрационном столе пробы чугушной стружки по схеме, приведенной на рисунке 4, отмечается недостаточная селективность процесса: в графитовом концентрате содержание железа значительно – 85,7%, и лишь 37% объема углерода сосредоточено в указанном продукте.

В практике сепарации графитосодержащего сырья получила распространение простая схема извлечения графита в одну стадию.

Далее следует пяти-семикратная перечистка углеродсодержащей фракции с промежуточным доизмельчением для освобождения зерен пустой породы. Содержание графита в очищенном концентрате составляет до 80%.

Поскольку графит и уголь относят к аполярным минералам, в качестве собирателя для флотации применяли соединения класса аполярных собирателей: нейтральное масло, полностью освобожденное от фенолов, крезолы, ксиленолы, фенол и керосин.

Флотацию чугунного порошка фракции крупностью (-0,08+0,056) мм проводили в лабораторной флотационной машине механического типа с объемом камеры 1 л, при плотности 30-33% твердого. В таблице 2 даны результаты флотационных опытов и условия их проведения. В качестве собирателя для углерода применяли керосин в сочетании с сульфгидрильным собирателем (бутиловым ксантогенатом калия).

Как видно из данных таблицы 3, дозировка только керосина в количестве 100% позволяет получить богатый по углероду концентрат – 65,93%,

при увеличении последнего – 38,6%. Флотация с повышенными расходами собирателя приводит к заметной активации кремнесодержащих частиц. Следует отметить, что указанные флотационные исследования проведены на фракции крупностью (-0,08+0,056) мм, как отмечалось ранее, обогащенной углеродом. Объясняется это тем, что в процессе более тонкого размола чугушной стружки происходит выкрашивание свободного углерода, других неметаллических включений, а также происходит увеличение удельной поверхности. Однако тонкое измельчение серого чугуна трудоемко и нецелесообразно по технологическим причинам, требует больших механических и энергозатрат. Кроме того, с уменьшением размера частиц чугушной стружки возрастает относительное значение сил трения между частицами, возникает явление схватывания, т. к. графит по своей природе гидрофобен.

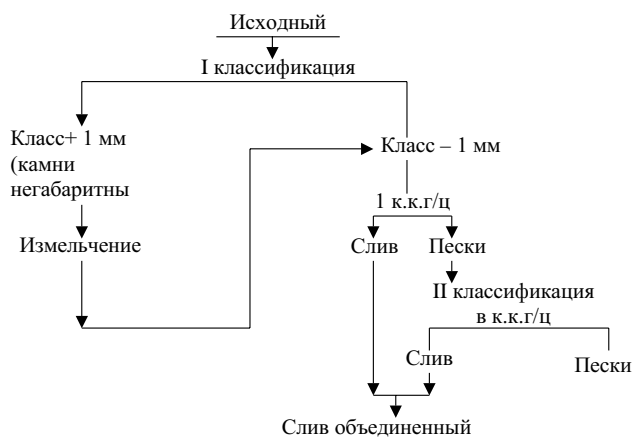


Рисунок 2. Сепарация стружки в короткоконусных гидроциклонах (к.к.г/ц).

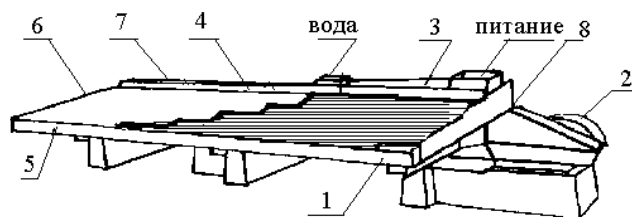


Рисунок 3. Концентрационный стол.

1 – дека; 2 – механизм; 3 – желоб для распределения питания; 4 – желоб для распределения воды; 5 – сторона разгрузки хвостов; 6 – сторона разгрузки концентрата; 7 – сторона питания; 8 – сторона механизма.



Рисунок 4. Сепарация на концентрационном столе.

На следующем этапе исследования проводили отработку режима наиболее полной флотации графита из порошка серого чугуна различной гранности, измельченного в течение 2, 3 и 5 часов, средний размер частиц от 0,294 до 0,067 мм.

Проведенный цикл исследований по гравитационному и флотационному выделению углеродсодержащей фракции из порошка серого чугуна позволил уменьшить содержание углерода до 2,04%. Но для того, чтобы получить среднелегированный железный порошок, нужно уменьшить содержание углерода до 0,4-0,7%. Поэтому было предложено провести дальнейшие исследования по обезуглероживанию чугуна методом флотации.

Для оптимизации процесса флотации графита, повышения извлечения и качества графитового концентрата разработан и апробирован следующий технологический режим, включающий обработку порошка соединениями ПАВ (алкиларилсульфонатами) при температуре 313-333 К с целью снижения сил сцепления частиц графита с составляющими чугуна порошка в количестве 0,005 кг/кг порошка, дозировку аполярного масла (керосина, трансформаторного масла 0,0018 кг/кг порошка, вспенивателя 0,0005 кг/кг) и последующую флотацию в течение 6-8 минут и двухкратную перемешку графитового продукта.

Результаты флотационных опытов приведены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, разработанный технологический процесс выделения графита и последующая концентрация его из порошка серого чугуна (при предварительном размоле последнего 2, 3 и 5 часов) позволяют наиболее полно извлечь графит в углеродсодержащую фракцию на 99%. При этом железосодержащая фракция одновременно обогащается железом. Чем продолжительнее время размола (опыты 5, 1 и 3), тем больше извлекается графита в пенный продукт. Двукратная перемешка пенного продукта позволяет получить довольно богатый по качеству графитовый концентрат.

Таким образом, разработанный технологический режим позволяет осуществить взаимосвязь между временем размола и количеством извлеченного из порошка графита для возвращения его в металлургический процесс. На разработанный способ получена заявка на изобретение.

Таблица 2. Выход продуктов при сепарации чугуна стружки на концентрированном столе

| Продукт | Выход, % | | Содержание, % | | |
|--------------------------|----------|------|------------------|-------|------|
| | C* | Fe | SiO ₂ | C* | Fe |
| 1. Графитовый концентрат | 13 | 11,4 | 12,2 | 85,7 | 2,1 |
| 2. Промежуточный продукт | 35 | 30,7 | 2,8 | 95,08 | 2,12 |
| 3. Пески | 66 | 57,8 | 2,04 | 95,86 | 2,1 |
| Исходный | 114 | 100 | 3,75 | 93,75 | 2,5 |

* Графит определяли на анализаторе Leco - 114

Таблица 3. Продукты флотационной сепарации чугуна порошка фракции (-0,08+0,056) мм (C_{общ}=6,2%, C_{связ}=0,71%)

| № опыта | Продукт | Выход, % | Содержание, % | | Условия опытов: расход г/т углерода+ксантогената | |
|---------|-----------------------------------|----------------|---------------|-------|--------------------------------------------------|----|
| | | | C* | Fe | | |
| 1 | Углеродсодержащая фракция | 2,07 | 12,2 | 85,7 | 100 | - |
| | Железосодержащая фракция Исходный | 97,93 100,0 | | | | |
| 2 | Углеродсодержащая фракция | 2,58 | 2,8 | 95,08 | 100 | 20 |
| | Железосодержащая фракция Исходный | 97,42 100,0 | | | | |
| 3 | Углеродсодержащая фракция | 16,55 | 2,04 | 95,86 | 100 | 50 |
| | Железосодержащая фракция Исходный | 83,45 100,0 | | | | |

Таблица 4. Результаты флотации стружки серого чугуна после размола 2, 3 и 5 часов

| Наименование продукта | Выход, % | Содержание, % | | | Распределение, % | | | Условия опытов. Время размола |
|-----------------------------------|-------------|---------------|----------------|------------------|------------------|-------------|------------------|-------------------------------|
| | | C | Fe | SiO ₂ | C | Fe | SiO ₂ | |
| 1. Углеродсодержащая фракция | 15,2 | 5,58 | 88,96 | 5,46 | 28,3 | 15,0 | 94,6 | 3 ч |
| Железосодержащая фракция | 84,8 | 2,5 | 95,74 | 1,76 | 71,7 | 85,0 | 5,4 | РН-9; 12 |
| Исходный | 100 | 3,0 | 92,1 | 4,9 | 100 | 100 | 100 | |
| 2. Углеродсодержащая фракция | 30,6 | 5,85 | 87,99 | 6,16 | 62,0 | 30,6 | 87,0 | 3 ч |
| Железосодержащая фракция Исходный | 69,4 100 | 1,6 2,9 | 93,36 92,2 | 2,04 4,9 | 38,0 100 | 69,4 100 | 13,0 100 | |
| 3. Углеродсодержащая фракция | 25,3 | 6,41 | 87,61 | 5,98 | 60,0 | 20,0 | 91,3 | 5 ч |
| Железосодержащая фракция | 74,7 | 1,46 | 96,85 | 1,69 | 40,0 | 75,0 | 8,7 | РН-9, 12 |
| Исходный | 100 | 2,7 | 92,4 | 4,9 | 100 | 100 | 100 | |
| 4. Углеродсодержащая фракция | 35,0 | 6,38 | 87,12 | 6,5 | 68,4 | 35,0 | 87,2 | 5 ч |
| Железосодержащая фракция Исходный | 65,0 100 | 1,59 3,26 | 96,61 91,84 | 1,80 4,9 | 31,6 100 | 65,0 100 | 12,8 100 | |
| 5. Углеродсодержащая фракция | 44,5 | 6,2 | 86,4 | 7,4 | 99,0 | 45,5 | 84,1 | 2 ч |
| Железосодержащая фракция | 55,5 | 0,06 | 98,18 | 1,76 | 1,0 | 54,5 | 15,9 | РН-9 |
| Исходный | 100 | 2,75 | 92,35 | 4,9 | 100 | 100 | 100 | |
| Опыты с перемешками концентрата | | | | | | | | |
| 6. Углеродсодержащая фракция | 8,2 | 6,32 | | | 22,3 | | | 3 ч |
| Пром. пр | 8,2 | 2,7 | | | 9,0 | | | РН-9; 10 |
| Железосодержащая фракция Исходный | 83,6 100 | 1,9 2,3 | | | 68,3 100 | | | |
| Углеродсодержащая фракция | 12,6 | 6,04 | | | 33,0 | | | 5 ч |
| Пром. пр 1 | 4,3 | 2,66 | | | 5,0 | | | |
| Пром. пр 2 | 3,2 | 2,89 | | | 4,0 | | | РН-9; 1 |
| Железосодержащая фракция Исходный | 79,9 100 | 1,64 2,3 | | | 58,0 100 | | | |

Список использованной литературы:

1. Материаловедение и технология металлов: Учеб. для вузов / Под ред. Г.П. Фетисова, М.Г. Карпман. – М.: Высш.шк., 2001. – 640 с.
2. Шульц Л.А. Элементы безотходной технологии в металлургии: Учеб. для вузов. – М.: Металлургия, 1991. – 174 с.
3. Трибология сталей и сплавов: Учеб. для вузов / Под ред. Г.М. Сорокина. – М.: ОАО «Изд-во «Недра», 2000. – 317 с.