

УДК 539.37/38

А.В. АНЦИФЕРОВ, канд. техн. наук, **Ю.В. САВЧЕНКО**

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Введение. Проблема переработки использованного инструмента промышленными предприятиями остается актуальной и в наше время. Нами впервые в мире предлагается высокоэффективная технология производства режущего, разрушающего и формообразующего инструмента из вольфрамкобальтовых и вольфрамоникелевых сплавов путем прямой регенерации вторичного сырья без использования термохимических и металлургических методов [1, 2]. Технология принципиально отличается от существующих высокими технико-экономическими показателями, производительностью, малой энергоемкостью и экологической чистотой.

Основными операциями технологии порошковой металлургии являются: получение порошков, приготовление шихт, формование и спекание изделий. Металлические порошки могут быть получены различными методами, важнейшими из которых являются:

- 1) восстановление окислов и солей;
- 2) электролиз расплавленных солей или их водных растворов;
- 3) термическая диссоциация карбониллов;
- 4) распыление;
- 5) механическое измельчение.

Предлагаемая технология переработки отходов твердых сплавов содержит два основных этапа: дробление способом ударно-волнового нагружения взрывом и механическое измельчение.

Цель работы – создание эффективного измельчительного оборудования и выбор параметров процесса мелкодисперсного измельчения продуктов дробления твердого сплава. Одним из таких требований является обеспечение высокой удельной производительности при тонком измельчении твердых и абразивных материалов.

Основная часть. Для получения порошковых материалов применяется ряд механических измельчителей (шаровые барабанные и вибрационные мельницы, дезинтеграторы, электромагнитные мельницы и др.), каждый из которых имеет свою область использования и предельно достигаемую крупность готового продукта при рациональной длительности ведения процесса измельчения. При механическом измельчении разрушение и деформирование материала инициируют самые различные химические превращения, глубина которых зависит от количества затраченной энергии. Из освоенных промышленностью механиче-

Збагачення корисних копалин, 2017. – Вип. 67(108)

ских измельчителей для использования в качестве механохимических реакторов большими возможностями обладают вибрационные мельницы. В настоящее время наибольшее распространение получила конструктивная схема вибрационной мельницы с горизонтальным расположением помольной камеры и инерционным вибровозбудителем, корпус которой совершает колебательные движения по траектории, близкой к круговой. Измельчение материалов в этом случае происходит в результате истирания и удара с воздействием мелющих тел на поверхностные слои частиц.

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в Национальном горном университете, позволяют сделать вывод, что для тонкого и сверхтонкого измельчения порошковых материалов и проведения некоторых механохимических реакций большими возможностями обладают вертикальные вибрационные мельницы (МВВ). Отличительной особенностью их от мельниц других типов является то, что помольные камеры совершают колебательные движения по прямолинейной траектории в вертикальной плоскости. Такие параметры обеспечивают преимущественно виброударное воздействие на разрушаемый материал с проникновением зоны деформации на весь объем частицы. Это обеспечивает, в свою очередь, не только поверхностную активацию материала, но и нарушение внутренней структуры частиц и, следовательно, проникновение активной зоны на большую глубину. Следует отметить также, что благодаря сравнительно небольшой и регулируемой энергии единичного воздействия на частицу, обеспечивается постепенное развитие трещин и разрушение преимущественно по местам наличия макродефектов частиц. В то же время, при соответствующем режиме работы, в вертикальной вибрационной мельнице можно обеспечить разрушение и кристаллической решетки частиц материала.

Сказанное выше было подтверждено комплексом экспериментальных исследований по измельчению карбида титана [3]. Результаты опытов подтвердили более высокую эффективность использования вертикальной вибрационной мельницы по сравнению с горизонтальной.

Известны данные по измельчению твердых сплавов в горизонтальной вибрационной мельнице [4]. Для выяснения эффективности измельчения вольфрамобальтовых сплавов в мельницах разных типов был спроектирован и изготовлен экспериментальный образец лабораторной вертикальной вибрационной мельницы.

Мельница имеет 4 помольных камеры, приспособленных для сухого и мокрого измельчения. Мелющими телами были шары из стали ШХ15.

На первом этапе опытов исходными фракциями твердого сплава были -2 мм и -0,5 мм. Сравнительный анализ показал возможность и высокую эффективность тонкого измельчения твердого сплава.

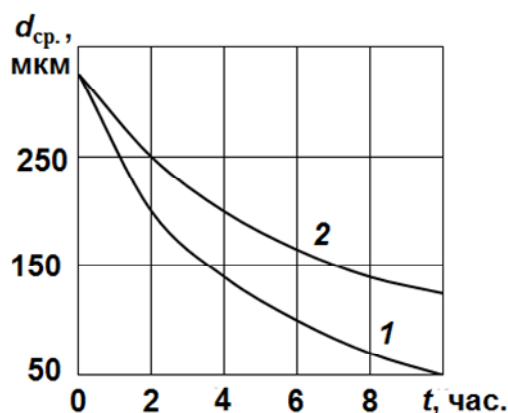
Для определения влияния среды измельчения на химический состав и структуру полученного порошка были проведены помолы в спирте и без него. Результаты анализа приведены в табл. 1. Контрольный рассев полученных порошков на сите 74 мкм дал незначительный остаток для сухого помола. Полученные результаты показали, что в качестве среды при измельчении твердо-

сплавного матеріала необхідно використовувати спирт. При цьому, кількість спирта повинно складати 30% від маси завантажуваного порошку.

Таблиця 1

Елемент	Сухий помол, %	Спиртової Размол, %
C_0	9,1	8,5
$C_{св}$	0,11	0,17
$C_{общ}$	6,1	5,9
O_2	0,28-0,3	0,25

Дальніші помолы проводились для наработок партій порошків, з яких виготовлявся інструмент для наступних випробувань в виробничих умовах. Аналіз отриманих результатів дозволив встановити, що для отримання якісного порошку при вихідній фракції $-0,5$ мм і співвідношенні маси матеріалу до маси шарів $1/20$ вимагається час дроблення близько 8 годин, що в 4 рази менше, ніж в горизонтальній вібромельниці. Аналогічні помолы в шаровій мельниці займають сотні годин. Результати порівняння з помолы в горизонтальній вібромельниці за даними [4] наведені на малюнку.



Кінетика дроблення сплаву ВК6 в вібромельниці
1 – вертикальна; 2 – горизонтальна

Фізико-хімічний аналіз порошків вторично використовуваного твердого сплаву після помолу проводився в лабораторії інструментального виробництва ПО ЮМЗ. Вивчалися твердість, удільний вага, форма і розмір частинки, а також їх хімічний склад. Результати аналізу показали (табл. 2), що отримані за запропонованою технологією порошки відповідають вимогам стандартів і можуть бути використані для виготовлення металлокерамічного інструмента.

Таблиця 2

Свойства твердосплавных пластин, полученных из регенерированных твердых сплавов различных марок

Марка сплава отходов	Свойства регенерированных смесей				Физико-механические свойства спеченных сплавов				
	Co, %	C _{общ.} , %	C _{своб.} , %	d _{ср.} , мкм (по Фишеру)	Hс, кА/м	ρ, г/см ³	Твердость HRA	σ _{изг.} , МПа	d _{WC} , мкм
ВК6	5,85	5,78	следы	0,7	126	14,70	90,6	180	2,08
ВК6	5,76	5,7	следы	2,8					
ВК8	7,73	5,68	следы	0,7	139	14,44	89,5	201	1,96

Для увеличения производительности измельчения крупки, полученной ударно-волновой обработкой лома твердых сплавов, ее загружали в мельницу мокрого помола ММР 70/110, где измельчение производилось по режиму табл. 3. Фракция крупки не более 3 мм.

Таблиця 3

смеси	Загрузка, кг		Длительность измельчения, час	Скорость вращения мельницы, об/мин.
	шаров	спирта, л		
316	1200±5	90±1	48	36±1

Для определения оптимальной длительности процесса измельчения, через каждые 4 часа производился отбор проб спиртовой суспензии для анализа состава и дисперсности смеси в лаборатории КП СКТС и ТМ. Результаты анализа смеси, приведены в табл. 4.

Таблиця 4

Наименование смеси	Содержание, %					Средний диаметр, мкм
	Co	C _{общ.}	C _{св}	O ₂	Fe	
Первая серия Исходная	5,63	5,3	следы	0,14	0,057	-3000
4 часа						1,0
8 часов						0,95
12 –"–						0,85
16 –"–						0,80
20 –"–	5,6	5,68	следы	0,17	0,057	0,6
24 –"–						0,6
40 –"–	5,65	5,68	следы		0,055	0,6
48 часов	5,93	5,69	следы		0,057	0,6
Вторая серия Исходная	5,63	5,3	следы	0,14	0,057	-2000+1000
20 часов	5,75	5,35	следы	0,15	0,055	0,6
Третья серия Исходная	5,63	5,3	следы	0,14	0,057	-1000
16 часов	5,7	5,4	следы	0,15	0,050	0,6
Технические требования к смеси ВК6 по ТИ 48-4233-06-11-94	5,8-6,2	5,45-5,8	менее 0,1	менее 0,4	менее 0,2	средний диаметр WC 3,5-5,5

Загальні питання технологій збагачення

Определение содержания компонентов в смеси производилось методом химического анализа по утвержденным методикам, дисперсности – по методу Фишера на одноименном приборе.

Технологическое опробование смеси производилось согласно ТИ 48-4203-06-11-94. Спеченные изделия прошли контроль плотности согласно ГОСТ 200018-74. После шлифовки определялись: предел прочности при поперечном изгибе по ГОСТ 200019-74, твердость по ГОСТ200017-74, коэрцитивная сила по ГОСТ 24916-81, коэффициент стойкости по ОСТ 48-99-84, макро– и микроструктура по ГОСТ 9391-80. Полученные результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Наименование	Физико-механические свойства сплава				
	ρ , г/см ³	$\sigma_{изг}$, МПа	Твердость, HRA	Hс, кА/м	Коэффициент стойкости
Смесь ВК6 приготовленная по режиму: 1380 °С, 50 мин.	14,7	105 105 91	91	10,7 11,8 11,5	1,2
Смесь ВК6 приготовленная по режиму: 1390 °С, 40 мин.	14,0	111,1	90	11,6 12,1 11,8	1,5

Сплав двухфазный, пористость по объему составляет 0,2%, размер пор до 50 мкм, фаза типа η_1 отсутствует, связка распределена равномерно, толщина прослойки 0,5-1,5 мкм, зернистость равномерная 1-3 мкм, встречаются зерна до 20,0 мкм.

Из анализа данных табл. 5 следует, что при уменьшении исходной фракции крупки значительно уменьшается время помола.

Выводы

Для тонкого и сверхтонкого измельчения порошковых материалов и проведения некоторых механохимических реакций наилучшими возможностями обладают барабанные и вертикальные вибрационные мельницы. В результате проделанной работы спроектирована и изготовлена лабораторная вертикальная вибрационная мельница, предназначенная для тонкого измельчения твердых материалов в сухом состоянии и в пульпе. Эффективность измельчения твердых сплавов в ней в 4 раза выше, чем в горизонтальной вибромельнице. Мельница может быть использована в научно-исследовательских лабораториях, а также в технологических линиях с малыми объемами производства. Физико-химический состав полученных порошков и исследование спеченных образцов показали широкие возможности предлагаемой технологии регенерации твердых сплавов.

Список литературы

1. Іу. Savchenko, A. Gurenko, O. Naumenko. Cutting-edge industrial technology of mining tool manufacturing – Mining of Mineral Deposits. – Vol 10 (2016), 4, pp. 105-110.

Загальні питання технологій збагачення

2. Патент №15322, МКИ В22F 3/08, 3/12; С22В 34/36 (Україна). Дідик Р.П., Савченко Ю.В., Вьонник О.М., Анциферов О.В., Пащенко Н.И., Тубеляева Г.Д. та ін. Спосіб регенерації вольфрамівмісних твердих сплавів. – Бюл. № 6. – 2000.

3. Использование вертикальной вибрационной мельницы для измельчения и смешения компонентов карбидостали / А.В. Анциферов, Е.Ю. Светкина, В.Т. Зубкова, С.А. Каменева // Порошковая металлургия. – 1998. – № 5-6. – С. 4-8.

4. Маслов А.Г., Федотьев А.Н. Сравнение размалываемости отходов твердого сплава различных марок // Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технологии, оборудование: Периодический сборник научных трудов. – Одесса: НПО "ВОТУМ", 1999. – Вып. 9. – С. 58-61.

© Анциферов А.В., Савченко Ю.В., 2017

*Надійшла до редколегії 20.09.2017 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Д.Л. Колосовим*