

ная структура и максимальные физико-механические свойства сплава VK100M после компрессионного спекания под давлением  $P = 2,5$  МПа, получаются при охлаждении с вакуумом  $P = 1 \times 10^{-4}$  МПа.

**Ключевые слова:** вакуум, компрессионное спекание, модуль Вейбула, поры, остаточная микропористость.

Presented results of researches of influence of size of vacuum at cooling on a structure and properties of alloy of VK100M after compression sintering. It is noted that optimum structure and maximal fiziko-mechanical properties of alloy of VK100M after compression sintering force-feed  $P = 2,5$  МПа, turn out at cooling with the vacuum of  $P = 1 \times 10^{-4}$  МПа.

**Keywords:** vacuum, compression sintering, module of Weibull, pores, remaining microporosity.

УДК 621.762.2:621.926.54

*Г.А. БАГЛЮК*, д-р техн. наук, ст. науч. сотрудн., ИПМ НАНУ, Киев,  
*А.А. ХОМЕНКО*, вед. инж., ИПМ НАНУ, Киев,  
*Д.А. ГОНЧАРУК*, мл. науч. сотрудн., ИПМ НАНУ, Киев

## **НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Проанализированы основные тенденции в усовершенствовании высокоэнергетических мельниц для тонкого помола. Выделены основные возможные пути решения проблем, связанных с недостатками известных высокоэнергетических дезинтеграторов. Проведен обзор и анализ последних нововведений в области высокоэнергетического помола.

**Ключевые слова:** высокоэнергетическое измельчение, мельница, порошковые материалы, тонкий помол.

### **1. Введение**

Порошки, близкие за химическим составом, могут иметь различные свойства, которые определяются методом получения порошка. Таким образом, становится актуальной задача исследования методов и режимов получения порошков, а в частности конструктивных особенностей аппаратов для получения и обработки порошков.

Наибольшее распространение, благодаря своей производительности и экономности в ресурсах, получили механические методы получения порошков и устройства для механического получения порошков.

© Г.А. Баглюк, А.А. Хоменко, Д.А. Гончарук, 2013

## **2. Постановка задачи**

Для получения тонкого помола необходимо обеспечить процесс высокоэнергетического размола, при котором большие объемы энергии тратятся на измельчение частиц, чем и достигается конечный малый размер частиц и небольшой разброс в их размере.

Оборудование, используемое для высокоэнергетического помола, может быть условно разделено на несколько основных типов: это барабанные шаровые мельницы, вибрационные мельницы, планетарные шаровые мельницы и атриторы.

Основной тенденцией в тонком помоле за последнее время стали мельницы, имеющие вибрационный тип измельчения.

Могут встречаться разнообразные комбинации, призванные усовершенствовать существующие конструкции и избавиться от недостатков своих прототипов.

Для оценки современного уровня техники в порошковой металлургии, а в частности, получении порошков высокого качества, необходимо провести исследования существующих аппаратов для механического измельчения.

## **3. Обзор последних публикаций и анализ существующих изобретений**

В ИПМ НАНУ предложен вариант вибрационной мельницы [1].

От классического варианта вибрационной мельницы, описанного, к примеру, в [2, 3], отличается наличием двух помольных камер, размещенных горизонтально, и двух кинематических пар, каждая из которых включает в себя подшипник и внешнее кольцо, жестко связанное штангой с передним фланцем одной из помольных камер, причем задние фланцы помольных камер присоединены к раме с помощью упругой подвески.

Подобная конструкция вибрационной мельницы способствует интенсификации размола вследствие увеличения количества ударных взаимодействий помольных тел с частицами измельчаемого материала, увеличению продуктивности размола и уменьшению износа помольных тел.

Однако при анализе предложенной конструкции выявляются определенные недостатки, например, громоздкость конструкции, пропорционально увеличивающаяся с увеличением размеров эксцентриков, необходимость значительного усиления рабочих узлов.

Самым существенным недостатком предложенной конструкции является недостаточная степень вибрационного воздействия, обусловленная малым

эксцентриситетом входящих в конструкцию эксцентриков.

Авторы [4] предложили вариант вибрационной мельницы, который представляет собой вертикально установленный цилиндрический корпус с мелющими телами, которому сообщаются колебания вдоль его оси, вызванные инерционным или эксцентриковым вибровозбудителем.

Мельница устанавливается на основании с помощью упругих элементов.

Преимуществами данной конструкции является то, что частички размалываемого материала измельчаются, в основном, за счет ударного взаимодействия размольных тел с материалом при минимальном стирающем воздействии.

Однако конструкция имеет определенные недостатки, к примеру, то, что за каждый цикл колебаний максимальный импульс нагрузки на материал реализуется только единожды.

Это в некоторой степени уменьшает уровень энергонапряженности и интенсивность и продуктивность измельчения.

Также недостатком данной конструкции является динамическая несбалансированность.

Авторы [5] предлагают конструкцию валковой вибрационной мельницы, которая содержит подпружиненный цилиндрический корпус с соосно установленным в нем с зазором конусным валком с многозаходной винтовой навивкой с уклоном в сторону разгрузки материала, а также загрузочный и разгрузочный лотки, вибровозбудитель.

Шаг многозаходной винтовой навивки увеличивается в сторону загрузки материала.

За счет вертикального размещения цилиндрических оболочек и синхронизации работы вибровозбудителя и конусных валков конструкция позволяет увеличить продуктивность работы мельницы и повысить степень измельчения материала.

К недостаткам конструкции можно отнести недостаточность интенсивности размола, проявляющуюся вследствие невозможности использования помольных тел.

Авторами [6] предложена конструкция вибрационной мельницы, которая содержит две подпружиненные помольные камеры с загрузочными и разгрузочными горловинами, размещенные эксцентрично относительно центральной стойки, и дебалансы.

Подобное размещение помольных камер обусловлено возможностью со-

вершения ими угловых колебаний относительно центральной стойки.

Подобная конструкция значительно увеличивает интенсивность размола относительно своих прототипов за счет увеличения ударных взаимодействий помольных тел с обрабатываемым материалом, однако обладает рядом недостатков, таких как сложность обеспечения балансировки конструкции, а также невозможность использования непрерывной обработки измельчаемого материала.

При анализе преимуществ и недостатков предложенных конструктивных усовершенствований высокоэнергетических вибрационных мельниц становится очевидным то, что при попытке увеличения интенсивности размола конструкторы не могут предложить такой вариант конструкции, при которой достигается достаточная сбалансированность мельницы, а, в свою очередь, при достижении конструкционной сбалансированности практически невозможно достигнуть интенсификации размола.

Таким образом, кроме усовершенствования непосредственно конструкций вибрационных мельниц, широкое распространение получили попытки усовершенствовать технологические режимы работы мельниц.

Авторы [7] предлагают следующую конструкцию вибрационной мельницы.

Мельница включает в себя помольный контейнер с помольными телами, соединенный с корпусом, который установлен с помощью упругих элементов на неподвижной основе, и два дебалансных вибропривода, каждый из которых содержит приводной вал с индивидуальным приводом вращения с возможностью независимого изменения угловой скорости и направления вращения приводного вала, а также дебалансы на приводном валу, причем их виброприводы установлены в диаметральной плоскости относительно боковых стенок помольного контейнера.

Изобретение обеспечивает увеличение продуктивности вибрационной мельницы за счет генерирования неоднородного поля траекторий колебаний помольной трубы.

Однако конструкция также имеет определенные недостатки, выражающиеся в сложности синхронизации работы дебалансов.

Авторы [8] предлагают конструкцию адаптивной вибрационной мельницы, в которой используются автоматические средства корректирования рабочего режима мельницы.

Преимуществами данного изобретения является обеспечение постоянно-

го резонансного режима работы мельницы и стабилизация во времени заранее заданных технологически оптимальных параметров вибрационного поля двухконтейнерной рабочей камеры, что в свою очередь обеспечивает минимальные энергозатраты и увеличение качества размола.

К недостаткам данной концепции следует, однако, отнести необходимость использования специального двигателя, и использование опережающего закона регулирования, при котором происходит резкое регулирование.

Последнее, впрочем, решается использованием ПИД-регуляторов.

При анализе преимуществ и недостатков указанных изобретений можно сделать вывод, что модификации, произведенные на уровне изменения режимов размола, а также изучение характера взаимодействий, происходящих при размоле, представляется более перспективным направлением, чем исключительно

конструкционные изменения высокоэнергетических мельниц.

Таким образом, главной тенденцией в современных пробах усовершенствования вибрационных мельниц различных типов необходимо признать попытки повлиять на характер взаимодействий и волновые процессы, происходящие во время размола.

## **Выводы**

На сегодняшний день существует две основные тенденции в усовершенствовании высокоэнергетических мельниц, в частности мельниц вибрационного типа.

Однако анализ последних изобретений показывает, что если модификации происходят не на уровне изменения режимов размола, изменение исключительно конструкций не позволяет значительно изменить режим размола.

При конструировании мельниц стоит опираться не столько на интенсивность размола, сколько на характер воздействий, рассчитывать волновые процессы и более досконально изучать взаимодействия, происходящие во время процесса размола.

Перспективным направлением является реализация определенных режимов воздействия помольных тел или других рабочих органов на обрабатываемый материал.

**Список литературы:** 1. Пат. UA 50786 U, Украина, МПК В02С 19/00. Вібраційний млин / Коваль В.М., Баглюк Г.А., Куровский В.Я. и др.; заявитель и патентообладатель Институт проблем материаловедения НАНУ. – № u200913072; заявл. 15.12.09; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12. 2. Сердюк Г.Г. Технология порошко-

вой метал-лургии: учеб. пособие / Г. Г. Сердюк, Л.И. Свистун. – Краснодар: «Куб. ГТУ», 2005. – Ч 1: Порошки. – 2005. – 240 с. **3.** *Осокин Е.Н.* Процессы порошковой металлургии: курс лекций / *Е.Н. Осокин, О.А. Артемьева.* – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 421 с. **4.** *Франчук В.П.* Измельчение материалов порошковой металлургии в вибрационной мельнице // [*В.П. Франчук, А.Г. Кухар, Л.И. Ларина и др.*] // Порошковая металлургия. – 1988. – № 8. – С. 11 – 15. **5.** Пат. UA 67950 U, Украина, МПК В02С 2/00 В02С 15/00. Вертикальный внутрішньовалковий млин вібраційного типу / *Надутый В.П., Сухарев В.В.*; заявитель и патентообладатель Институт геотехнической механики им. М. С. Полякова НАНУ. – № u201109860, заявл. 08.08.11; опубл. 12.03.12, Бюл. № 5. **6.** Пат. UA 80872 U, Украина, МПК В02С 25/00. Вібраційний млин / *Веселовская Н.Р., Янович В.П., Янович Л.П.*; заявитель и патентообладатель Винницкий национальный аграрный университет. – № u201300048, заявл. 02.01.13; опубл. 10.06.13, Бюл. № 11. **7.** Пат. UA 100756 С2, Украина, МПК В02С 19/16. Вібраційний млин / *Букин С.Л., Букина А.С.*; заявитель и патентообладатель *Букин С.Л., Букина А.С.* – № a201101521, заявл. 10.02.11; опубл. 25.01.13, Бюл. № 2. **8.** Пат. UA 101196 С2, Украина, МПК В02С 19/16. Адаптивний вібраційний млин / *Чубик Р.В., Ярошенко Л.В., Яремчук А.С.*; заявитель и патентообладатель Винницкий национальный аграрный университет. – № a201015004, заявл. 13.12.10; опубл. 11.03.13, Бюл. № 5.

*Поступила в редколлегию 19.08.2013*

УДК 621.762.2:621.926.54

**Новые конструкции высокоэнергетических устройств для тонкого измельчения порошковых материалов / Г.А. БАГЛЮК, А.А. ХОМЕНКО, Д.А. ГОНЧАРУК // Вісник НТУ «ХП».** – 2013. – № 57 (1030). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 154 – 159. – Бібліогр.: 8 назв.

Проаналізовано основні тенденції в удосконаленні високоенергетичних млинів для тонкого помолу. Виділено основні можливі шляхи рішення проблем, пов'язаних з недоліками відомих високоенергетичних дезінтеграторів. Проведено огляд й аналіз останніх нововведень в області високоенергетичного розмелу.

**Ключові слова:** високоенергетичне подрібнення, млин, порошкові матеріали, тонкий помел.

Analysis of the main trends in the improvement of high-energy mills for fine grinding are presented. The basic possible solutions to problems associated with the disadvantages of the known high-energy shredders. The review and the analysis of the latest innovations in the field of high-energy milling are presented.

**Keywords:** high-energy growing, mill, powder-like materials, thin grade shallow.