

СТАНОК ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Владимир Зиновьевич Зверовщиков¹,
Сергей Александрович Нестеров²,
Анатолий Владимирович Зверовщиков³,
Максим Игоревич Артемьев⁴,
Александра Алексеевна Акимова⁵

^{1,2,3,4,5}Пензенский государственный университет,
Пенза, Россия

Аннотация. Разработан станок для получения мелкодисперсных частиц порошка в размольных камерах, которым сообщают планетарное и радиальные осциллирующие движения. Установлена аналитическая взаимосвязь конструктивных параметров станка с угловыми скоростями вращения водила и размольных камер. Определено условие для регламентирования круговой частоты радиальных осцилляций стенок цилиндрических размольных камер при заданных конструктивных параметрах центробежного станка и степени уплотнения загрузки инерционными силами, возникающими от переносного движения размольных камер при вращении водила.

Ключевые слова: станок, размольные камеры, планетарное движение, порошковые материалы, механическое измельчение

MACHINE TOOL FOR CENTRIFUGAL GRINDING OF POWDER MATERIALS

Vladimir Z. Zverovshchikov¹,
Sergei A. Nesterov²,
Anatoliy V. Zverovshchikov³,
Maksim I. Artemev⁴,
Aleksandra A. Akimova⁵

^{1,2,3,4,5}Penza State University, Penza, Russia

Abstract. The authors have developed a machine for obtaining fine powder particles in grinding chambers. The machine has planetary and radial oscillating movements. The paper establishes analytical relationships between the design parameters of the machine tool and the angular speeds of rotation of the planet carrier and grinding chambers. The authors determined the conditions for regulating the circular frequency of radial oscillations of the walls of cylindrical grinding chambers.

Keywords: machine tool, grinding chambers, planetary motion, powder materials, mechanical grinding

В современном машиностроении значительное количество деталей изготавливают из порошков железа, бронзы, латуни, углеродистой и легированной стали, чугуна и др. материалов. Изделия из твердых сплавов, включая металлорежущие инструменты, также получают путем спекания порошковых материалов.

Для изготовления порошков используют различное оборудование и технологии, такие как струйные, роторные, молотковые, вибрационные, ультразвуковые, взрывные, ударно-вихревые, центробежно-ударные и планетарные.

Создание планетарных станков основано на тех же принципах, которые реализованы в шаровых измельчителях. Уже более ста лет шаровые барабаны используют в промышленных масштабах для измельчения горных пород, строительных материалов и различных веществ при изготовлении препаратов для фармацевтических целей.

Интенсивность измельчения в размольных камерах планетарных станков возрастает на порядки по сравнению с шаровыми измельчителями, а, главное, управляемое динамическое воздействие размольных тел на измельчаемый материал позволяет регулировать размеры частиц и получать сверхтонкие порошки, размол которых в шаровых барабанных установках не представляется возможным.

Для перевода твердых веществ в порошкообразное состояние производят их измельчение дроблением, размолом или истиранием. Механическое измельчение целесообразно применять для изготовления порошков хрупких металлов и сплавов. Для размола вязких и пластичных металлов, таких как цинк, медь, свинец и др. механическое измельчение невозможно, так как при ударном взаимодействии с мелющими телами они подвергаются расплющиванию, а не разрушению.

Для предварительного измельчения хрупких металлов можно использовать дробилки, которые позволяют получить гранулы материала размерами от 1 до 10 мм. Этот гранулированный материал используют для последующего тонкого измельчения и получения металлического порошка требуемой дисперсности.

Для превращения в порошок трудноразмалываемых хрупких металлов с образованием частиц, размеры которых составляют десятые или сотые доли миллиметра эффективно применение центробежных устройств с планетарным движением размольных камер. Большие центробежные силы, действующие на размольные тела, приводят к интенсивному измельчению исходного материала за короткое время, что обеспечивает высокую производительность. Для разных показателей измельчения (время, габариты размольных стаканов и мелющих шаров) затраты энергии на размол следует сопоставлять с результатами в виде достигнутой дисперсности частиц. Поэтому при проектировании планетарных центробежных станков необходимо добиваться конечной тонкости размола при минимальных затратах энергии, необходимой для достижения заданной дисперсности порошка.

В Пензенском государственном университете разработан центробежный станок для механического измельчения трудноразмалываемых хрупких материалов с получением однородных порошков металлов и сплавов. Высокая эффективность измельчения материала и однородность частиц порошка по сравнению с известными планетарными устройствами для размола материалов обеспечивается циклическими радиальными осциллирующими перемещениями стенки цилиндрической размольной камеры, что приводит к разрушению так называемой зоны застоя, которая формируется вблизи центра масс пересыпающейся в размольной камере загрузки (размольные тела и измельчаемый материал). Положение центра масс уплотненной загрузки зависит от размеров размольной камеры, степени заполнения ее объема загрузкой, угловых скоростей вращения камеры с контейнером и водила центробежного устройства.

Конструкция станка для центробежного измельчения металлических порошков приведена на рис. 1.

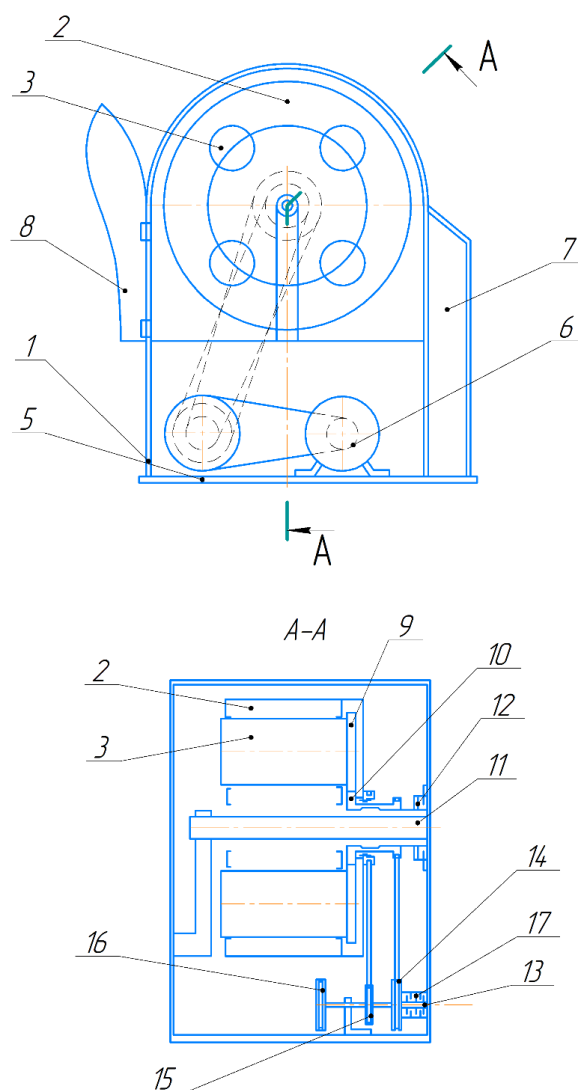


Рисунок 1 – Конструкция станка для центробежного измельчения металлических порошков

Станок состоит из станины 1, водила 2, планетарного механизма, выполненного в форме планшайбы, на которой смонтированы контейнеры 3 в подшипниках, установленных в гнездах 4 (рис. 2) планшайбы.

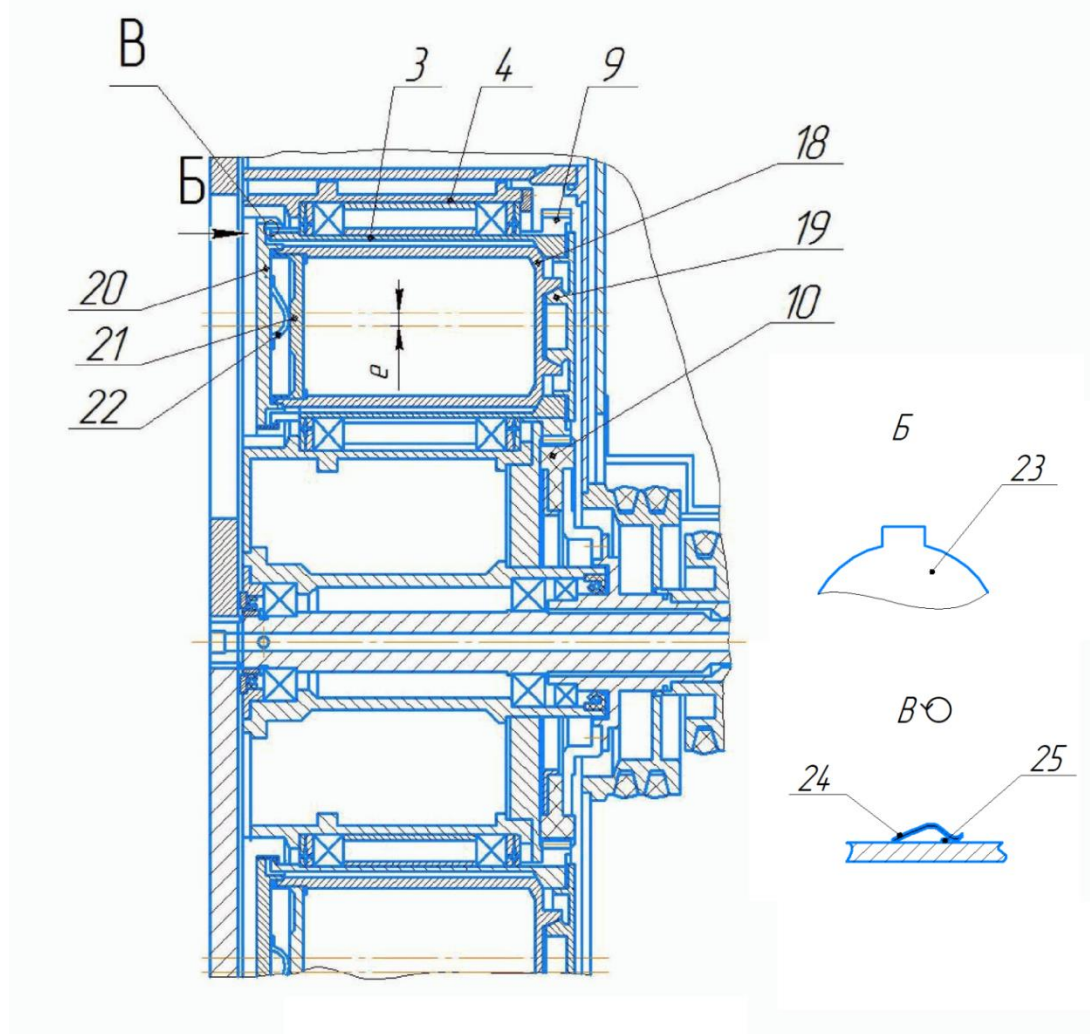


Рисунок 2 – Конструкция водила, контейнера с размольной камерой и механизма привода вращения

На плите 5 закреплен двигатель 6 и установлен шкаф 7 с электроаппаратурой управления. На дверце 8, которая смонтирована в шарнирах стойки станины, размещены контактные элементы, блокирующие привод двигателя, для предотвращения пуска станка при открытой дверце ограждающего кожуха.

Привод вращения контейнеров 3 осуществляется планетарным механизмом, при этом сателлитные зубчатые колеса 9 закреплены на валах контейнеров, а центральное (солнечное) зубчатое колесо 10 установлено на оси 11 водила 2 (см. разрез А-А на рис. 1) с возможностью вращения или жесткого соединения (стопорения) с осью водила. Стопорение центрального зубчатого колеса 10 производится электромагнитной муфтой 12, закрепленной на станине 1 и расположенной на оси 11.

На приводном валу 13 станка установлены три шкива 14, 15 и 16. два шкива 15 и 16 закреплены на валу 13. а шкив 14 установлен с возможностью свободного вращения на валу, но предусмотрено его жесткое соединение (стопорение) с валом 13, второй электромагнитной муфтой 17. которая расположена на валу 13 и закреплена на станине 1.

Цилиндрические размольные камеры 18, заполненные загрузкой, устанавливаются в контейнеры 3 (см.рис.2). Центрирование размольных камер 18 в полостях контейнеров 3 осуществляется коническими поясками, выполненными на торцах контейнеров и крышках 19.

Закрепление размольных камер в контейнерах производится прижимными крышками 20, на которых выполнены конические пояски для центрирования путем контакта их с коническими поверхностями, предусмотренными на торцах размольных камер. Герметизирующие крышки 21 размольных камер прижимаются в осевом направлении плоскими пружинами 22, закрепленными на прижимных крышках 20. Прижимные крышки 20 фиксируются на контейнерах 3 выступами 23 (вид Б на рис.2), которые входят в пазы на контейнерах 3 и плоскими пружинами 24, снабженными упорами 25 (выноска В на рис.2).

Для интенсификации измельчения материала загрузке сообщают радиальные импульсы. Поэтому размольные камеры 18 устанавливают в контейнеры 3 с эксцентриситетом « e ». Величину эксцентриситета « e » можно регулировать от нуля до $0,2 D$ (D – внутренний диаметр цилиндрических размольных камер) угловым поворотом размольных камер относительно осей контейнеров.

Измельчение материалов на центробежном станке осуществляют в следующей последовательности.

В размольные камеры 18 загружают подлежащий измельчению материал и размольные тела (обычно металлические шары), затем закрывают камеры герметизирующими крышками 21. Устанавливают камеры 18 в контейнеры 3 с заданной величиной эксцентриситета « e » и фиксируют их прижимными быстросъемными крышками 20. Закрывают дверцу 18 станка и включают двигатель 6 привода, который через клиноременную передачу (см. рис. 1) передает вращение шкивам 15 и 16 (см. разрез А-А на рис. 1). От шкива 15 приводится во вращение водило 2 станка.

Если центральное зубчатое колесо 10 застопорить электромагнитной муфтой 12, а электромагнитную муфту 17 обесточить, то шкив 14 получит возможность свободного вращения на валу 13. В этом случае при вращении водила зубчатые колеса 9, закрепленные на контейнерах 3, будут обкатываться по неподвижному (застопоренному) центральному зубчатому колесу 10. Таким образом, контейнеры, вращаясь в одну сторону с водилом, совершают планетарное движение.

При этом угловую скорость вращения контейнеров ω_k следует ограничивать соотношением:

$$0,5\omega_b \leq \omega_k \leq \omega_b(K_L - 1),$$

где ω_b – угловая скорость вращения водила; K_L – коэффициент, характеризующий конструктивные параметры центробежного станка,

$$K_L = \frac{1}{D} \cdot \sqrt{2DL}$$

D – внутренний диаметр размольной камеры, установленной в контейнере; L – расстояние между осями вращения водила и контейнеров.

Такое ограничение необходимо для сохранения постоянного пространственного положения уплотненной загрузки на периферии размольной камеры в форме сегмента и движения размольных тел в уплотненном сегменте загрузки в каскадном режиме, при котором происходит интенсивное измельчение порошка за счет истирания.

Чтобы изменить направление вращения контейнеров с размольными камерами относительно водила на противоположное электромагнитную муфту 12 обесточивают, а на электромагнитную муфту 17 подают напряжение, что обеспечивает стопорение шкива 14 на валу 13, а центральное зубчатое колесо 10 получает возможность свободно вращаться на оси 11. При этом вращение от шкива 11 через клиноременную передачу передается зубчатому колесу 10, которое начинает вращаться со скоростью большей скорости водила и через зубчатые колеса 9 передает вращение на контейнеры 3. Таким образом, планетарный механизм привода вращения контейнеров трансформируется в дифференциальный, а контейнеры, совершая планетарное движение, будут вращаться относительно водила с той же скоростью, но в противоположном направлении (достигается передаточным отношением ременной передачи). Такой режим движения размольных камер с контейнерами повышает контактное давление размольных шаров на измельчаемый материал и интенсифицирует размол порошков.

При этом, как и при одностороннем направлении вращения контейнеров и водила, необходимо соблюдать ограничительное условие, которое примет вид:

$$0,5\omega_b \leq \omega_k \leq \omega_b(K_L + 1),$$

Сложное движение размольных тел (шаров) в камере сопровождается интенсивным измельчением материала вследствие истирания и ударного взаимодействия в сегменте уплотненной загрузки, как при одностороннем, так и противоположном направлениях вращения контейнеров и водила. Однако, одностороннее вращение водила и контейнеров не рекомендуется применять для измельчения трудноразмалываемых материалов, так как при значительно меньшей скорости вращения ω_k

размольных камер с контейнерами происходит «размазывание» сегмента уплотненной загрузки по стенкам камеры с образованием концентричного кольца из частиц материала и размольных тел, т.е. происходит переход к так называемому режиму самофутеровки и прекращение процесса размола.

Существенным недостатком как шаровых, так и планетарных измельчителей является формирование в центре масс уплотненной загрузки значительной по размерам зоны относительного покоя, называемой зоной «застоя», в которой отсутствует относительное перемещение размольных тел и измельчаемого материала. Поэтому невозможно обеспечить однородность зернового состава порошков при размоле.

В разработанном центробежном станке для интенсификации измельчения порошковых материалов и повышения однородности частиц путем разрушения зоны «застоя» размольные камеры 18 установлены в контейнерах 3 с эксцентриситетом « e » (см. рис. 2). Поэтому стенки размольных камер совершают радиальные осциллирующие движения с круговой частотой p , что приводит к появлению радиального импульса $F_u = m \cdot e \cdot p^2$ (m – масса частиц загрузки в уплотненном сегменте), который разрушает зону «застоя» при каждом обороте размольной камеры вокруг своей оси, что создает одинаковые условия для измельчения всех частиц материала, находящихся в камере.

В зависимости от скоростей планетарного движения размольной камеры и конструктивных параметров центробежного станка круговую частоту p осцилляций ограничивают соотношением:

$$P < \left[\frac{\omega_B^2 (L + 0.5D) - \omega_B \cdot \omega_K \cdot D}{e} \right]^{0.5},$$

Такое ограничение величины p позволяет сохранить пространственное расположение сегмента уплотненной загрузки на стенке размольной камеры и создать условия для получения мелкодисперсных однородных порошков при размоле. Размольные шары под действием радиального импульса дополнительно приобретают значительную энергию для ударного измельчения материала, что существенно повышает интенсивность размола.

Отсутствие радиального импульса при $e = 0$ допустимо при невысоких требованиях к однородности частиц порошка или предварительном измельчении крупных частиц.

После окончания размола отключают приводной двигатель 6 станка. Отделяют измельченный порошок от размольных тел. Размольные тела после промывки и сушки повторно используют для размола, а порошок передают на контроль и упаковку.

Разработанный станок позволяет повысить стабильность и качество размола при производстве мелкодисперсных порошков.

Список литературы

1. Патент 2760394 С1 Российская Федерация, МПК В02С 17/18. Способ измельчения материалов в центробежной планетарной мельнице / Зверовщиков В. З., Зверовщиков А. Е., Артемьев М. И. ; патентообладатель Пенз гос. ун-т. № 2020138345 ; заявл. 24.11.2021 ; опубл. 24.11.2021, Бюл. № 33.

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Зиновьевич Зверовщиков

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Технологии
и оборудование машиностроения»,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)
e-mail: wzzwer@mail.ru

Vladimir Z. Zverovshchikov

Doctor of engineering sciences,
professor, professor of the
sub-department of "Technologies
and equipment of mechanical
engineering", Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Сергей Александрович Нестеров

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Технологии
и оборудование машиностроения»,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)
e-mail: nesterovs@list.ru

Sergey A. Nesterov

Candidate of engineering sciences,
associate professor, associate
professor of the sub-department
of "Technologies and equipment
of mechanical engineering",
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Анатолий Владимирович Зверовщиков

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Технологии
и оборудование машиностроения»,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)
e-mail: avz.docent@ gmail.com

Anatoly V. Zverovshchikov

Candidate of engineering sciences,
associate professor, associate
professor of the sub-department
of "Technologies and equipment
of mechanical engineering",
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Максим Игоревич Артемьев

студент, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)
e-mail: maxfurlers@gmail.com

Maksim I. Artemev

Student, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Александра Алексеевна Акимова

студентка, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)
e-mail: Alexandraakim22@ idoud.com

Aleksandra A. Akimova

Student, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)