

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС И АГРЕГАТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. С. Севостьянов¹, В. И. Уральский¹, И. П. Бойчук²,
Д. Н. Перельгин¹, Р. А. Ермилов¹

*Кафедры: «Технологические комплексы, машины и механизмы» (1);
«Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных
систем» (2), ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия; mehanikus@mail.ru*

Ключевые слова: вихреакустический диспергатор; постадийное измельчение; пресс-валковый измельчитель; технологический комплекс; тонкодисперсный продукт; центробежный помольно-смесительный агрегат.

Аннотация: Рассмотрено сверхтонкое измельчение перерабатываемых материалов как один из технологических приемов повышения качества выпускаемой продукции и расширения номенклатуры ее производства. Представлены научно-технические разработки по созданию энергосберегающего технологического комплекса и патентозащищенных агрегатов постадийного измельчения материалов, обеспечивающие развитие инновационных технологий для производства новых видов строительных материалов и изделий.

В строительной промышленности при производстве композиционных смесей с нанокompозитами, высококонцентрированных вяжущих суспензий, тонкой или специальной керамики, нанопокровтий, различных катализаторов и других смесей предпочтительным является комбинированный способ производства наноматериалов. Большое значение имеет разработка специальной техники и технологии для предварительной подготовки тонкодисперсных порошков (< 1 мкм). В настоящее время общепризнанной методологии производства и использования указанных материалов не существует [1 – 3].

Наравне с поиском областей рационального использования частиц наноразмера, перспективным направлением является организация постадийного измельчения материалов с обеспечением микродефектной структуры на первых стадиях, что может быть достигнуто за счет создания специальных агрегатов селективного помола и повышенной энергонапряженности. Измельчение частиц с микродефектной структурой, а также реализация возможности избирательного помола (изменение величины ударного, ударно-стирающего или истирающего воздействия) в помольном агрегате вибрационно-центробежного типа, работающего в открытом или замкнутом цикле, обеспечивает снижение энергозатрат до 20...30 % и повышает качество измельченного продукта [4].

На последней стадии помола, при резком снижении числа неизмельченных частиц с микродефектной структурой, механическое воздействие на степень из-

мельчения материала снижается. Поэтому целесообразно использовать вихреакустическое воздействие с реализацией резонансных процессов при высокоскоростных режимах работы агрегата (скорость энергоносителя достигает 100 м/с и более) [2].

Для получения высокодисперсных порошков необходимо осуществлять комплексный подход. При его реализации, а также создании техники селективного измельчения материалов, используем следующие механо-технологические приемы:

- организацию постадийных процессов измельчения с реализацией объемно-сдвигового деформирования материала и обеспечением его микродефектной структуры;

- осуществление внутреннего или внешнего рецикла измельченных материалов;

- обеспечение возможности изменения характера динамического воздействия мелющей среды на измельчаемый материал и режимов работы помольного агрегата;

- использование механо-химических способов интенсификации процессов разрушения частиц, особенно на микроуровне;

- реализацию открытого или замкнутого циклов измельчения и вихреакустического диспергирования измельченных частиц на последней стадии.

В направлении создания технологического комплекса для получения высокодисперсных материалов выполнены научно-технические разработки и проведен ряд исследований. За последние несколько лет разработаны машины, предназначенные для предразрушения материалов: пресс-валковые измельчители (ПВИ); центробежные помольно-смесительные агрегаты (ЦПСА); различные конструкции вихревых аппаратов (вихреакустические диспергаторы (ВАД)), совмещающие в себе комплекс динамических нагрузжений, способствующих эффективному получению высокодисперсных и ультрадисперсных порошков и др. Разработанные агрегаты используются в технологической линии (рис. 1), состоящей из ПВИ, ЦПСА, турбо-вихревого сепаратора (ТВС), ВАД и других агрегатов (рис. 2 – 4).

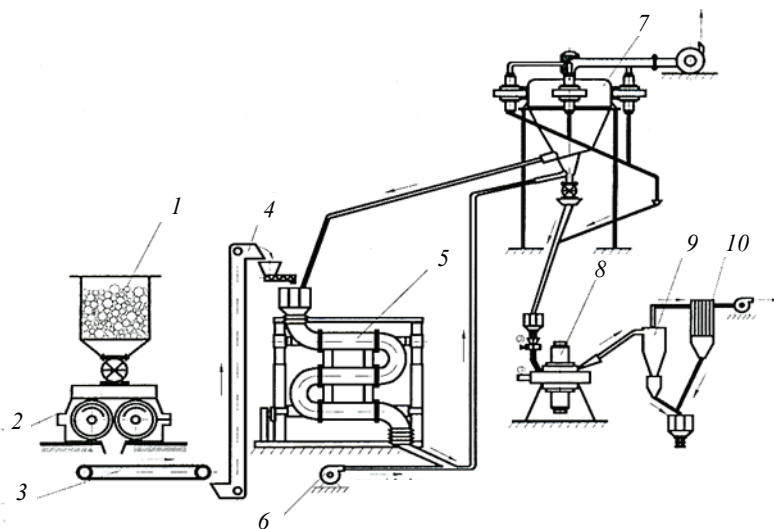


Рис. 1. Технологическая линия для производства высокодисперсных материалов:

1 – бункер; 2 – ПВИ; 3 – ленточный питатель; 4 – элеватор;

5 – помольно-смесительный агрегат; 6 – вентилятор; 7 – ТВС; 8 – ВАД;

9 – циклон; 10 – фильтр рукавный

Исходный материал поступает в приемный бункер 1, откуда ячейковым питателем подается в ПВИ 2. В пресс-валковом измельчителе происходит предварительное разрушение материала с обеспечением его микродефектной структуры. Далее материал ленточным питателем 3 и элеватором 4 подается в центробежный помольно-смесительный агрегат 5, в котором осуществляется избирательный тонкий помол предварительно измельченного материала. Измельченный материал поступает в трубопровод, где подхватывается потоком сжатого воздуха, создаваемым вентилятором 6, и направляется в ТВС 7, где происходит постадийное разделение тонко измельченного материала на фракции. Пройдя через сепаратор, грубая фракция материала возвращается на доизмельчение в ЦПСА, а тонкая, осаждаясь в выносных элементах, подается в ВАД 8, в котором осуществляется окончательное сверхтонкое доизмельчение материала. На выходе из ВАД газоматериальный поток направляется на осаждение в циклон 9 и рукавный фильтр 10. Осажденный материал является готовым продуктом.



Рис. 2. Пресс-валковый измельчитель с цилиндрическим профилем валков

На первой стадии измельчения для предварительного разрушения материала используется ПВИ (см. рис. 2). Эффективность использования предварительного измельчения материала в ПВИ перед его помолом в мельнице обусловлена не только рациональным способом реализации энергозатрат при непосредственном раздавливающе-сдвиговом воздействии рабочих органов (валков) на разрушаемый материал, но и обеспечением микродефектной структуры частиц, снижающей удельный расход электроэнергии при окончательном домоле материала в мельнице, в том числе в ЦПСА [5].

Отличительная особенность ЦПСА (см. рис. 3) – реализация в одной технологической машине стадий среднего, тонкого и сверхтонкого измельчений, что обеспечивается различными траекториями движения камер для соответствующих режимов работы мелющей загрузки: среднего помола – интенсивная ударная нагрузка и частичное истирание; тонкого помола – ударная нагрузка с увеличением степени истирания; сверхтонкого помола – интенсивное истирание [6, 7].



Рис. 3. Центробежный помольно-смесительный агрегат



Рис. 4. Конструкция вихреакустического диспергатора с одной камерой помола

Качество готового продукта зависит от измельчительного оборудования, находящегося в технологической линии на последней стадии. Получение продукта наноразмера в агрегатах, использующих механическое воздействие, весьма затруднено. Поэтому целесообразно использовать комбинированное физико-механическое воздействие на измельчаемый материал. В вихреакустическом диспергаторе (см. рис. 4) при измельчении используется принцип «саморазрушения частиц изнутри». Частицы разрушаются при комплексном воздействии в высокоскоростных вихревых потоках (>100 м/с) [8 – 9], характеризующихся зонами огромного разрежения и сжатия.

Повышение эффективности тонкого измельчения материалов обеспечивается благодаря возможности изменения частоты акустических колебаний в камере помола. Вихреакустический диспергатор имеет рациональную технологическую компоновку камер измельчения, а вследствие работы агрегата по замкнутому циклу обеспечивается минимальное выделение пыли в окружающую среду.

Технические характеристики опытно-промышленных образцов:

– центробежного помольно-смесительного агрегата:

Производительность, кг/ч.....	50...150
Частота вращения эксцентрикового вала, об/мин...	250...350
Потребляемая мощность, кВт.....	1,1
Величина эксцентриситета, м.....	0,02
Объем камеры помола, м ³	0,01
Средневзвешенный диаметр частиц готового продукта, мкм.....	30...50
Габаритные размеры, мм:	
длина.....	2202
ширина.....	816
высота.....	1290
Масса, кг.....	525

– вихреакустического диспергатора (см. рис. 4):

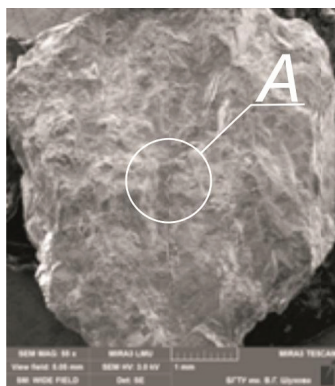
Производительность, кг/ч.....	до 35
Удельный расход энергоносителя, кг/кг.....	0,65...0,8
Рабочее давление, МПа.....	0,2...0,5
Средневзвешенный диаметр:	
исходного материала, мм.....	2 – 3
частиц готового продукта, мкм.....	≤ 20
Диаметр камеры помола, м.....	0,14...0,2
Габаритные размеры, мм:	
высота.....	1500
ширина.....	400
длина.....	600

Проведенные исследования по измельчению наиболее широко используемых строительных материалов с различными физико-механическими характеристиками (портланд-цемента и различных генетических типов кварцевых пород) представлены в табл. 1.

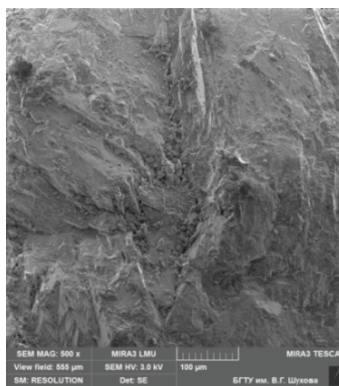
На рисунках 5 – 7 изображены микродефектная структура, размер и форма частиц кварцито-песчанника, измельченного постадийно в ПВИ (см. рис. 2), ЦПСА (см. рис. 3) и ВАД (см. рис. 4), объединенных в технологический комплекс для производства высокодисперсных материалов.

Результаты опытно-промышленных испытаний

Наименование материала	ПВИ			ЦПСА			ВАД		
	производительность $\times 10^3$, кг/ч	удельная поверхность, m^2/kg	удельные затраты, (кВт·ч)/т	производительность, кг/ч	удельная поверхность, m^2/kg	удельные затраты, (кВт·ч)/т	производительность, кг/ч	удельная поверхность, m^2/kg	удельные энергозатраты, кг/кг
Кварцито-песчаник	До 2	-	3	100	540	18	35	1890	1,6
Песок					510				
Портланд-цемент	-	-	485		35				

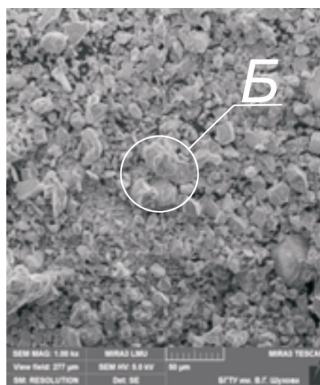


а)

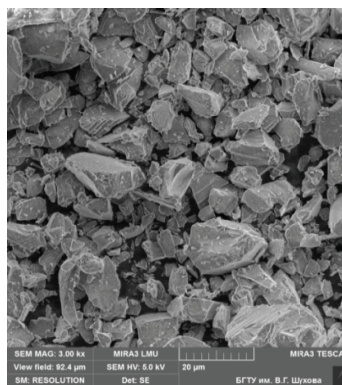


б)

Рис. 5. Микродефектная структура зерен кварцито-песчаника после многократного измельчения в пресс-валковом измельчителе:
 а – локальный объект деформированного материала (спрессованной пластины);
 б – микрообъект «А»



а)



б)

Рис. 6. Размер и форма частиц кварцито-песчаника, измельченного в центробежном помольно-смесительном агрегате:
 а – локальный объект измельченных частиц; б – микрообъект «Б»

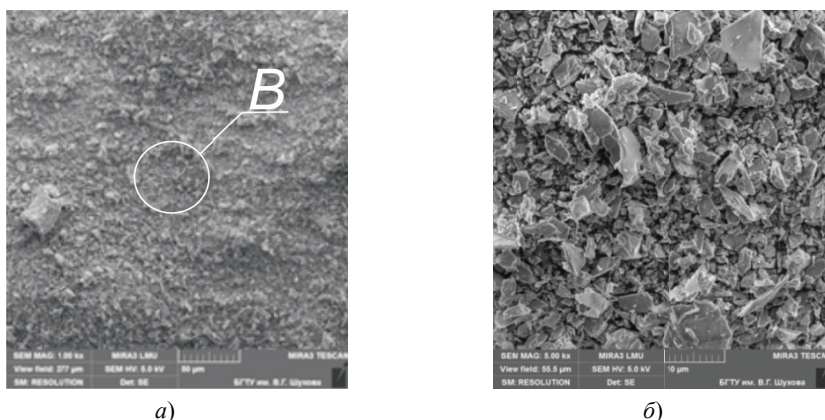


Рис. 7. Микрочастицы кварцито-песчанника, измельченного в вихреакустическом диспергаторе:

а – локальный объект частиц; *б* – микрообъект «В»

Проведенные конструкторско-технологические разработки патентозащищенных агрегатов и их испытания позволили разработать технологический комплекс для постадийного измельчения материалов с различными физико-механическими свойствами. Установлены рациональные режимы работы помольных агрегатов для получения тонкодисперсных материалов: в ПВИ (частиц размерами 200...500 мкм с микродефектной структурой); ЦПСА (частиц с размером 30...50 мкм); ВАД (частиц с размером < 20 мкм и удельной поверхностью частиц 1750...1890 м²/кг). Исследована микроструктура, размер и форма тонкодисперсных частиц, полученных с использованием разработанных агрегатов, объединенных в технологический комплекс для получения высокодисперсных материалов.

Список литературы

1. Клименко, В. Г. Активация основного доменного шлака продуктами термообработки природного гипса / В. Г. Клименко, А. В. Балахонов, М. Ю. Елистраткин // Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53, № 7. – С. 7 – 10.
2. Техника и технология предизмельчения материалов для производства нанокомпозитов / В. С. Севостьянов [и др.] // Нанотехнологии производству: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – 2007. – № 1. – С. 165 – 171.
3. Разработка и исследование энергосберегающего помольного оборудования для высокодисперсного измельчения материалов / С. В. Севостьянов [и др.] // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – № 3. – С. 76 – 80.
4. Мищенко, С. В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / С. В. Мищенко, А. Г. Ткачев. – М. : Машиностроение, 2008. – 320 с.
5. Пат. 2340398 Российская Федерация, С1 В02С 4/00. Пресс-валковый агрегат / А. М. Гридчин, В. С. Севостьянов, В. С. Лесовик, А. А. Романович, Г. М. Редькин, А. В. Колесников. – № 2007112760/03 ; заявл. 05.04.2007 ; опубл. 10.12.2008. Бюл. № 34.
6. Пат. 2277973 Российская Федерация, С1 В02С17/08. Помольно-смесительный агрегат / А. М. Гридчин, В. С. Лесовик, В. С. Севостьянов, В. И. Уральский, Е. В. Сеница. – № 2005118705/03 ; заявл. 24.06.2005 ; опубл. 20.06.2006. Бюл. № 17.
7. Севостьянов, В. С. Центробежный помольно-смесительный агрегат / В. С. Севостьянов, В. И. Уральский // Вестн. БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2005. – № 11. – С. 215 – 217.

8. Пат. 2226432 Российская Федерация, С1 В02С19/06. Вихреакустический диспергатор / В. С. Севостьянов, В. С. Лесовик, Д. Н. Перельгин, А. С. Горлов, С. П. Нечаев. – № 2003102929/032003102929/03 ; заявл. 31.01.2003 ; опубл. 10.04.2004. Бюл. № 10.

9. Севостьянов, В. С. Энергосберегающие помольные агрегаты / В. С. Севостьянов. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2006. – 435 с.

Technological System and Units for Manufacturing of Fine and Ultrafine Materials

V. S. Sevostyanov¹, V. I. Uralsky¹, I. P. Boychuk²,
D. N. Perelygin¹, R. A. Ermilov¹

*Departments of Technological Facilities, Machines and Mechanisms (1);
Software for Computer Engineering and Automated Systems (2);
V. G. Shukhov Belgorod State Technological University, Belgorod, Russia;
mehanikus@mail.ru*

Keywords: vortex-acoustic dispersant; stage milling; press roller shredder; technological system; fine product; centrifugal grinding and mixing unit.

Abstract: Ultrafine grinding of recyclable materials is one of the technological methods of improving the quality of products and expanding the range. The use of scientific and technical developments to create an energy-saving technological system and patent-protected machines for step-by-step grinding of materials ensures the development of innovative technologies for the production of new types of building materials and products.

References

1. Klimentov V.G., Balakhonov A.V., Elistratkin M.Yu. [Activation of the main blast furnace slag with products of heat treatment of natural gypsum], *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Chemistry and Chemical Technology], 2010, vol. 16, no. 7, pp. 7-10. (In Russ.)

2. Sevost'yanov V.S., Strokova V.V., Ural'skii A.V., Perelygin D.N. [Technique and technology of pre-grinding of materials for the production of nanocomposites], *Nanotekhnologii proizvodstvu: sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Nanotechnology production: a collection of proceedings of the International Scientific and Practical Conference], 2007, no. 1, pp. 165-171. (In Russ.)

3. Sevost'yanov V.S., Perelygin D.N., Ural'skii V.I., Gorlov A.S., Glagolev E.S., Babaevskii A.N. [Development and research of energy-saving grinding equipment for high-dispersity grinding of materials], *Transactions of the Belgorod State Technical University*, 2014, no. 3, pp. 76-80. (In Russ.)

4. Mishchenko S.V., Tkachev A.G. *Uglerodnye nanomaterialy. Proizvodstvo, svoistva, primeneniye* [Carbon nanomaterials. Production, properties, application], Moscow : Mashinostroeniye, 2008, 320 p. (In Russ.)

5. Gridchin A.M., Sevost'yanov V.S., Lesovik V.S., Romanovich A.A., Red'kin G.M., Kolesnikov A.V. *Press-valkovyi agregat* [Press Roller Assembly], Russian Federation, 2008, Pat. 2340398. (In Russ.)

6. Gridchin A.M., Lesovik V.S., Sevost'yanov V.S., Ural'skii V.I., Sinitsa E.V. *Pomol'no-smesitel'nyi agregat* [Milling and mixing plant], Russian Federation, 2006, Pat. 2277973. (In Russ.)

7. Sevost'yanov V.S., Ural'skii V.I. *Tsentrobezhnyi pomol'no-smesitel'nyi agregat* [Centrifugal mixing and mixing unit], Transactions of the Belgorod State Technical University, 2005, no. 11, pp. 215-217. (In Russ.)

8. Sevost'yanov V.S., Lesovik V.S., Perelygin D.N., Gorlov A.S., Nechaev S.P. *Vikhre-akusticheskii dispergator* [Vortex-acoustic dispersant], Russian Federation, 2004, Pat. 2226432. (In Russ.)

9. Sevost'yanov V.S. *Energoberegayushchie pomol'nye agregaty* [Energy-saving grinding units], Belgorod : BGTU, 2006, 435 p.

Technologischer Komplex und Aggregate für Erhalten der feinteiligen und ultrafeinen Materialien.

Zusammenfassung: Die ultrafeine Vermahlung der zu verarbeitenden Materialien ist eines der technologischen Verfahren, um die Qualität der Produkte zu verbessern und die Palette ihrer Produktion zu erweitern. Die Nutzung der wissenschaftlich-technischen Entwicklungen zur Schaffung eines energiesparenden technologischen Komplexes und patentrechtlich geschützter Aggregate für die schrittweise Vermahlung von Materialien sichert die Entwicklung innovativer Technologien für die Herstellung neuer Arten von Baustoffen und Produkten.

Ensemble technologique et agrégats pour l'obtention des matériaux de haute et ultra dispersité

Résumé: Le broyage hyperfin de matériaux recyclables est une des techniques de l'augmentation de la qualité des articles produits et du développement de la gamme de la production. L'utilisation des études scientifiques et techniques sur la création du complexe technologique d'une économie d'énergie et des agrégats à brevets protégés du broyage par stades des matériaux assure le développement des technologies innovantes pour la production de nouveaux types de matériaux et des produits.

Авторы: *Севостьянов Владимир Семенович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические комплексы, машины и механизмы»; *Уральский Владимир Иванович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы»; *Бойчук Игорь Петрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»; *Перельгин Дмитрий Николаевич* – старший преподаватель кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы»; *Ермилов Родион Андреевич* – аспирант кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия.

Рецензент: *Уваров Валерий Анатольевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия.