

УДК 621.98.07

## ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ УПАКОВКИ ТВЕРДОСПЛАВНОЙ КРОШКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДРОБЛЕНИЯ ВЗРЫВОУДАРНЫМ МЕТОДОМ

**Д. Л. Пирогов**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, 39600 г. Кременчуг, Украина. E-mail: [vldrag@polytech.poltava.ua](mailto:vldrag@polytech.poltava.ua)

Рассмотрен процесс дробления твердосплавных отходов взрывоударным методом и влияние плотности упаковки на повторных стадиях дробления крошки в ударных камерах взрывоударного контейнера. Разработана конструкция взрывоударного контейнера с уплотнением крошки сжатым воздухом. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие влияние предварительного уплотнения упаковки твердосплавной крошки на повторных стадиях дробления.

**Ключевые слова:** твердые сплавы, взрыв, удар, контейнер.

## INFLUENCE THE PACKING DENSITY OF HARD METAL POWDER ON THE EFFICIENCY OF FRAGMENTATION BY BLAST AND SHOCK

**D. L. Pirogov**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University  
vul. Pervomayskaya, 20, 39600, Kremenchug, Ukraine. E-mail: [vldrag@polytech.poltava.ua](mailto:vldrag@polytech.poltava.ua)

The process of crushing of hard-alloy wastes a explosion and blow method and influence of packing closeness is considered on the repeated stages of crushing of crumb in the shock chambers of explosion and blow container. The construction of explosion and blow container is worked out with the compression of crumb the compressed air. The experimental researches confirming influence of preliminary consolidation of packing of a crumb from a firm alloy, at repeated stages of crushing are spent.

**Key words:** carboaloes, explosion, blow, container.

## ВПЛИВ ЩІЛЬНОСТІ УПАКОВКИ ТВЕРДОСПЛАВНОЇ КРИХТИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДРОБЛЕННЯ ВИБУХОУДАРНИМ МЕТОДОМ

**Д. Л. Пирогов**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: [vldrag@polytech.poltava.ua](mailto:vldrag@polytech.poltava.ua)

Розглянутий процес дроблення твердосплавних відходів вибуховоударним методом і вплив щільності упаковки на повторних стадіях дроблення крихти в ударних камерах вибуховоударного контейнера. Розроблена конструкція вибуховоударного контейнера з ущільненням крихти стислим повітрям. Проведені експериментальні дослідження, щодо підтвердження впливу попереднього ущільнення твердосплавної крихти на подальших стадіях подрібнення.

**Ключеві слова:** тверді сплави, вибух, удар, контейнер.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** На современном этапе развития науки и техники регенерация отходов твердых сплавов производится химическими методами (разложением по чистым химическим компонентам); цинк-методом и электрофизическим методом (разрушением связывающих компонентов); методом взрыва, механическим методом (разрушением как связки, так и карбидной составляющей) [1, 2].

Одним из перспективных методов дробления твердосплавных отходов с целью их утилизации и повторного использования является взрыв. Метод взрыва основан на использовании энергии, освобождающейся при взрыве с очень большой скоростью в ограниченном объеме. В результате этого монокристаллические куски твердого сплава разрушаются на частицы достаточно малого размера (~300мкм) осколочной формы. Разрушение кусковых отходов твердых сплавов осуществляется в условиях действия высоких градиентов давлений и скоростей нагрузки.

На эффективность процесса взрывания, конечные результаты дробления твердосплавных пластин (твердосплавного лома), экономичность процесса дробления, работоспособность и долговечность

взрывных камер оказывают влияние такие факторы, как тип и мощность заряда, вид и плотность упаковки отходов во взрывных камерах, тип и расположение детонатора и др. Наряду с многими достоинствами данного метода дробления, одним из существенных его недостатков является необходимость последующего дополнительного дробления крошки твердого сплава механическим средством (размалыванием, ударом), что увеличивает затратную составляющую метода и снижает его экономическую эффективность. Поэтому создание комбинированных методов дробления с точки зрения повышения его экономической эффективности имеет существенное значение.

До настоящего времени рассматриваемый метод совмещенного многостадийного дробления кусковых материалов одновременно взрывом и ударом от одного зарядного устройства в литературе не рассматривались. В работах [3,4] показана необходимость исследования поведения материалов в процессе высокоскоростного нагружения. Рассматриваются прочность и пластичность как структурно-чувствительные свойства реальных металлов, которые определяются числом, типом и пространствен-

ним расположением дефектов их кристаллического строения.

Из приведенного краткого анализа отечественных и зарубежных источников установлено, что при динамическом нагружении имеют место два принципиально различных характера поведения материала. Зависимость стандартных механических характеристик от скорости деформации является неоднозначной и имеет большой разброс динамических характеристик даже для одного и того же материала. Выявлены факторы, влияющие на механические свойства материалов при высокоскоростном динамическом нагружении. Многие из положений проведенных исследований как в области взрыва, так и удара должны быть учтены в математической модели, описывающей процессы дробления твердых сплавов взрывом, ударом и высоким давлением [5, 6].

В связи с вышеизложенным целью работы являются экспериментальные исследования влияния плотности упаковки отдельных фракций крошки на эффективность их дробления в ударных камерах взрывоударного контейнера многостадийного совмещенного метода дробления твердосплавных отходов.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** С целью совершенствования технологии дробления твердосплавных отходов взрывом нами был разработан метод совмещенного многостадийного взрывоударного дробления. Он состоит в том, что дробление твердосплавных отходов осуществляется за счет энергии ударных волн, выделяемой тепловой энергии, давления газов и удара поршня-ударника от взрыва одного заряда [2]. Для исследования особенностей нового метода дробления была разработана модель конструкции трехкамерного взрывоударного контейнера (рис. 1).

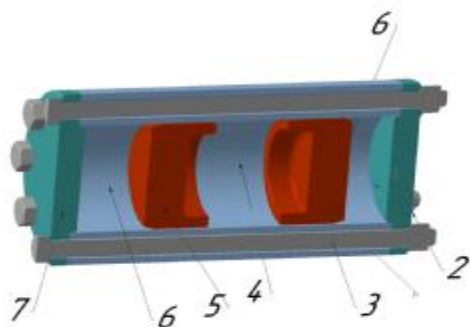


Рисунок 1 – Модель трехкамерный контейнер для многостадийного совместимого взрывоударного дробления кусковых твердосплавных отходов: 1 – цилиндр; 2 – гайка; 3 – болт стяжной; 4 – камера взрывная; 5 – поршень-ударник; 6 – камера ударная; 7 – крышка

Внутренняя полость взрывоударного цилиндра разделена вставленными в нее двумя поршнями-ударниками 5 на три полости (камеры). В среднюю (взрывную камеру) 4 загружается первичный твердосплавный лом вместе со взрывным зарядом. В боковые (ударные камеры) 6 загружается крошка,

полученная во взрывной камере при дроблении твердосплавного лома на предыдущем этапе дробления.

На рис. 2 показан экспериментальный образец контейнера в разобранном виде при осуществлении операции сортировки, полученной в результате взрыва крошки твердого сплава.

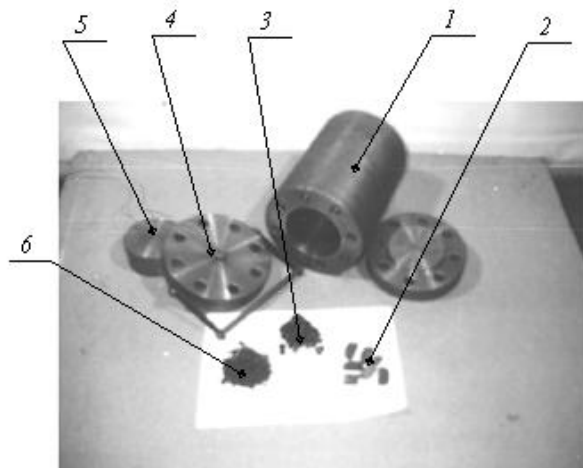


Рисунок 2 – Экспериментальный образец трехкамерного взрывоударного контейнера в разобранном состоянии: 1 – цилиндр; 2 – твердосплавный лом; 3 – крупная крошка; 4 – крышка; 5 – поршень-ударник; 6 – мелкая крошка

Необходимость такой сортировки связана с тем, что при дроблении твердосплавных отходов во взрывной камере образуется только определенная часть крошки, которая соответствует по своим размерам требованиям последующего прессования и спекания. Остальная часть крошки имеет размеры зерен, которые превышают допустимое значение гранул для получения необходимой смеси под прессование и спекание. Поэтому фракции крошки, полученные в результате сортировки в зависимости от их размеров, подвергаются дальнейшему дроблению в ударных камерах.

Образовавшиеся при взрыве в процессе дробления во взрывной камере в отдельных зернах фракций крошки микротрещины облегчают дальнейшее их дробление в ударных камерах.

Повторное дробление этих фракций в ударных камерах происходит за счет энергии взрыва при дроблении следующей порции твердосплавного лома во взрывной камере. Этим достигается повышение общей эффективности процесса дробления, который не требует дополнительного расхода энергии в ударных камерах.

При загрузке крошки для повторного дробления в ударную камеру она находится в свободном насыпном состоянии. Рельеф ее при этом формируется случайным образом в зависимости от угла положения ударного цилиндра в пространстве. С приходом ударной волны взрыва часть ее энергии расходуется на перемещение крошки в направлении движения ударной волны. Между передающей шайбой удар-

ного цилиндра и сформированным профилем насыпной крошки образуется свободное пространство, наличие которого снижает эффективность передачи энергии удара ударным поршнем в момент подхода его к передающей шайбе. Сформированный ударной волной профиль насыпной крошки является случайным и не гарантирует устранения неплотностей между передающей шайбой и образовавшимся рельефом в плоскости их соприкосновения. Это также приводит к снижению эффективности передачи ударного импульса по крошке за счет дополнительного демпфирующего эффекта.

Следовательно, для повышения эффективности передачи ударного импульса на весь массив крошки необходимо обеспечить предварительное ее уплотнение. Это может быть достигнуто с помощью механического или пневматического нажимного устройства.

На рис. 3 показано устройство капсулы, в которой предварительное формирование рельефа в ударной камере насыпной крошки и ее уплотнение осуществляются сжатым воздухом при его воздействии на передающую шайбу 4.

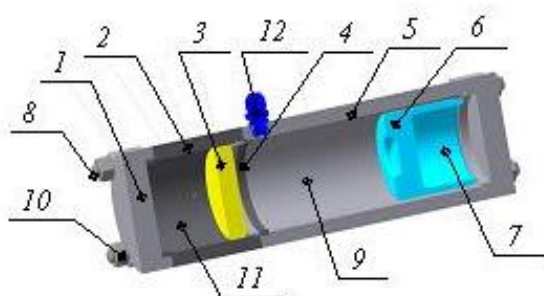


Рисунок 3 – Ударный пневмоцилиндр: 1 – крышка; 2 – капсула для размещения крошки; 3 – передающая шайба; 4 – пояс; 5, 6 – поршень-ударник; 7 – взрывная камера; 8 – шпилька; 9 – пневматическая камера; 10 – гайка; 11 – ударная камера; 12 – штуцер для подвода сжатого воздуха

Под действием передающей шайбы насыпная крошка, вне зависимости от угла положения ударного цилиндра в пространстве, перемещается и уплотняется равномерно по всей плоскости шайбы, создавая благоприятные условия для передачи на нее ударного импульса поршня-ударника 7.

Цилиндрическая рубашка поршня-ударника в конце хода перекрывает отверстие подвода сжатого воздуха, отсекая его от газов взрывной камеры.

Находящийся в ударной (пневматической) камере сжатый воздух вытесняется через предохранительный клапан. Противодействием воздушной подушки ударной камеры можно пренебречь в виду ее относительной малости в сравнении с давлением газов во взрывной камере. Данное устройство может быть использовано в качестве единичного модуля ударного цилиндра в модульной конструкции взрывоударного контейнера [5].

В результате проведенных исследований было установлено, что плотность упаковки оказывает существенное влияние на эффективность ее дробления. На рис. 4 показан график эффективности дробления крошки при ее уплотнении для разных по размерам фракций.

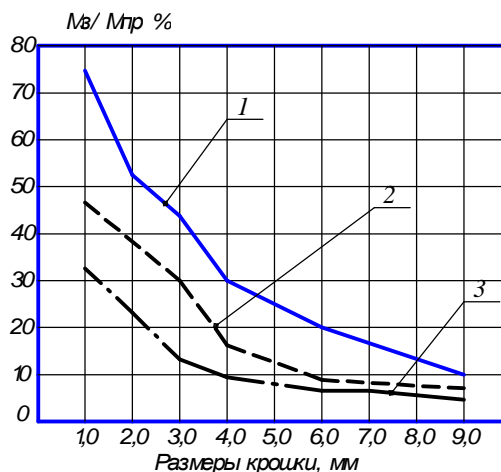


Рисунок 4 – Влияние плотности упаковки на эффективность дробления: Мз – масса загружаемой крошки; Мпр – масса просеянной крошки после дробления; 1 – при плотности упаковки давлением 0,4 МПа; 2 – при плотности упаковки давлением 0,2 МПа; 3 – при плотности упаковки давлением 0,05 МПа

Эффективность дробления определялась как отношение массы фракций после дробления, имеющие размеры меньше исходных, к загружаемой массе крошки. Разделение по размерам производилось методом просеивания через сито, ячейки которого равны размерам загружаемой крошки, и использовалось при просеивании ее до начала загрузки. Из показанных графиков видно, что эффективность дробления крошки возрастает с повышением плотности упаковки тем сильнее, чем меньше размеры фракций загружаемой в ударную камеру крошки. Это объясняется тем, что более мелкие фракции крошки изначально имеют плотность размещения выше, чем более крупные фракции, и обладают способностью более эффективного уплотнения отдельных составляющих фракций относительно друг друга при оказании на них давления. Эффективность дробления возрастает также с увеличением усилия уплотнения (давлением сжатого воздуха). Давление сжатого воздуха в пневматической камере составляло во время проведения эксперимента 0,05; 0,2; 0,4 МПа. Во взрывную камеру контейнера помещался пороховой заряд массой 60 г. Загружаемая крошка использовалась в соответствии с применяемой технологией совмещенного многостадийного взрывоударного дробления после ее первоначального дробления во взрывной камере взрывоударного контейнера.

**ВЫВОДЫ.** Проведенные экспериментальные исследования показали, что предварительное уплотнение загружаемой в ударные камеры взрывоударного

контейнера крошки оказывает существенное влияние на эффективность ее повторного дробления.

Предложенная конструкция предварительного уплотнения и формирования рельефа загружаемой крошки может быть рекомендована при разработке реальных конструкций взрывоударных контейнеров многостадийного совмещенного дробления отходов твердых сплавов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мещеряков Ю.И., Савенков Г.Г., Атрошенко С.А. Трещиностойкость материалов при высокоскоростном ударе // ПП. – 1990. – № 12. – С. 19–23.
2. Барахтин Б.К., Савенков Г.Г. Макро- и мезоскопические волны упруго-пластической релаксации при соударении скоростного ударника с металлической мишенью // Вопросы материаловедения. – 2002. – № 1 (29). – С. 247–253.
3. Степанов В. Г., Шавров И. А. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов. – Л.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
4. Савенков Г.Г., Иовлева И.Н. Микроструктурные особенности механизмов деформации и разрушения при динамическом нагружении средств разделения. Предприятие п/я А-7491. – Л., 1987. – 18 с. – Деп. в ЦНИИИТИ № 21337.
5. Пирогов Л.И., Драгобецкий В.В., Пирогов Д.Л. Удосконалення методу дроблення твердосплавних відходів // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Вип. 2/2005 (31). – Кременчук КДПУ, 2005. – С. 68–72.
6. Драгобецкий В.В., Уколов Р.В. Дробление взрывом утилизируемых изделий из спеченных твердых сплавов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Вип. 2/2001 (11).

– Кременчук: КДПУ, 2001. – С. 369–371.

#### REFERENCES

1. Meshcherjakov J.I., Savenkov G.G., Atroshenko S.A. Firmness of materials to formation of cracks at high-speed blow // PP. – 1990. – № 12. – P. 19–23 [in Russian].
2. Barahtin B.K., Savenkov G.G. Makro- and mezoskopicheskie waves elastic-plastic a relax at impact of the high-speed drummer with threw-likcheskoj a target // Voprosy materialovedeniya. – 2002. – № 1 (29). – P. 247–253 [in Russian].
3. Stepanov V.G., Shavrov I.A. High-energy pulse methods of processing of metals. L.: Mashinostroenie, 1975. – 280 p. [in Russian].
4. Savenkov G.G., Iovleva I.N. Microstructural features of mechanisms of deformation and destruction at dynamic weightings division means. The enterprise of p.b. A-7491. – L., 1987. – 18 p. – Dep. v CNIINTI № 21337 [in Russian].
5. Pirogov L.I., Dragobetsky V.V., Pirogov D.L. Perfection of methods of crushing of a waste from firm alloys // Transactions of KSPU. – Kremenchuk: KSPU, 2005. – Number 2/2005 (31). – P. 68–72 [in Russian].
6. Dragobetsky V.V., Ukolov R.V., Crushing by explosion of the utilized products from firm alloys // Transactions of KSPU. – Kremenchuk: KSPU, 2001. – Number 2/2001 (11). – P. 369–371 [in Russian].

Стаття надійшла 12.01.2011.

Рекомендована до друку  
д.т.н., проф. Драгобецьким В.В.