

УДАРНО-ВОЛНОВОЕ РАЗРУШЕНИЕ ТВЁРДОГО СПЛАВА

© Iu. Savchenko

SHOCK-WAVE DESTRUCTION OF THE SOLID ALLOY

Цель исследования – разработать технологические параметры импульсного воздействия дробления твёрдосплавных материалов, позволяющий получить продукт с заданными свойствами с целью экономии кобальта и повышения физико-механических характеристик мелкодисперсных твердых сплавов.

Методика. Наиболее важным и общим параметром при выборе схемы ударно-волнового нагружения для процесса разрушения твёрдого сплава является импульс давления бризантного ВВ на поверхности сборки. По определению импульс давления зависит от массы и скорости детонации ВВ. В качестве методики исследования в настоящей работе были рассмотрены схемы разрушения с использованием бризантных ВВ для дробления твердых сплавов.

Результаты. Проведен сравнительный анализ технологических схем регенерации металлокерамических сплавов. Каждая из рассмотренных схем имеет свои преимущества и недостатки. В зависимости от исходной фракции лома твёрдых сплавов выбирается схема импульсного нагружения. Разработана промышленная высокоэффективная технология производства режущего, разрушающего и формообразующего инструмента из вольфрамокобальтовых и вольфрамоникелевых сплавов путём прямой регенерации вторичного сырья без использования термохимических и металлургических методов.

Научная новизна. Установлено, что наиболее оптимальной схемой разрушения твёрдых сплавов является устройство для синхронизации зарядов применительно к схеме двухстороннего заряда дробления твердых сплавов системы карбид вольфрама-никель-кобальт с различным содержанием компонентов. Из анализа приведенных выражений следует, что предпочтительно выбирать скорость детонации инициирующего заряда ВВ выше скорости детонации основного заряда ВВ.

Практическая значимость. Оптимальной схемой разрушения твёрдых сплавов является устройство для синхронизации зарядов применительно к схеме двухстороннего заряда дробления твердых сплавов системы карбид вольфрама-никель-кобальт с различным содержанием компонентов.

Ключевые слова: *вольфрам, кобальт, инструмент, твёрдый сплав, металлокерамика, переработка отходов, гетерогенная среда, дефектообразование, взрывчатые вещества*

Определение научной проблемы и ее значение. Материаловедческие исследования сплавов карбида вольфрама с кобальтом, никелем и железом проводятся, начиная с 1926 г, когда появился этот класс материалов. Наиболее удачным оказалось применение кобальта как связующей фазы. Разработана промышленная высокоэффективная технология производства режущего, разрушающего и формообразующего инструмента из вольфрамокобальтовых и вольфрамоникелевых сплавов путём прямой регенерации вторичного сырья без использования термохимических и металлургических методов [1,2,3,5].

В работе [4] дана приближенная оценка реализуемым условиям инициирования плоских и цилиндрических поверхностей. Получены выражения, устанавливающие связь между параметрами плоского и полого цилиндрического зарядов ВВ (взрывчатых веществ) при единственном условии равенства развиваемого импульса давления на поверхности заряда ВВ при прочих равных условиях.

В отличие от ранее выполненных исследований, утверждающих наличие прямой связи параметров при инициировании плоских и цилиндрических поверхностей, показано, что при прочих равных условиях энергоёмкость при инициировании цилиндрических поверхностей выше инициирования плоских поверхностей.

При разработке технологических параметров импульсного воздействия на твёрдосплавные материалы с целью их дробления необходимо обеспечить режим нагружения, позволяющий получить продукт с заданными свойствами.

Начальные параметры процесса разрушения взрывом можно объединить в четыре группы.

1. Параметры заряда ВВ: скорость детонации, толщина, плотность, технологические свойства.

2. Параметры сборки: размеры, плотность укладки лома, физико-механические и технологические свойства разрушаемого материала, температура влажность окружающей среды.

3. Параметры ударно-волнового нагружения: импульс давления, давление и температура на фронте ударной волны, массовая скорость продуктов детонации, характер ударно-волнового нагружения.

4. Параметры схемы разрушения: основание, схема инициирования, конструкция заряда ВВ, взаимное расположение заряда ВВ и сборки.

Анализ исследований проблемы и публикации.

Наиболее важным и общим параметром при выборе схемы ударно-волнового нагружения для процесса разрушения твёрдого сплава является импульс давления бризантного ВВ на поверхности сборки. По определению импульс давления зависит от массы и скорости детонации ВВ.

Цели и задачи статьи.

С целью экономии кобальта и повышения физико-механических характеристик мелкодисперсных твердых сплавов разработать технологические параметры импульсного воздействия дробления твёрдосплавных материалов, позволяющий получить продукт с заданными свойствами.

Изложение основного материала.

Толщина (масса) заряда $M_{ВВ}$ определяет энергию взрыва E , выделяемую при детонации определённого типа ВВ: $E=Q \cdot M_{ВВ}$, где Q - удельная теплота взрыва (постоянная характеристика данного типа ВВ), КДж/кг. Таким образом, толщина заряда ВВ с учётом коэффициента использования энергии взрыва отражает количество энергии, сообщаемой разрушаемому материалу.

С увеличением толщины заряда ВВ длительность импульса возрастает, влияя на скорость детонации, стеснение заряда и время действия нагрузки; увеличивается время действия давления, что способствует более плавному снятию нагрузки и, следовательно, сохранению продукта. Нижний предел высоты заряда ВВ ограничивается критическим диаметром применяемого взрывчатого вещества.

Стеснение заряда влияет на скорость детонации и время действия нагрузки. Ограничение заряда оболочкой из какого-либо материала предотвращает поперечное рассеивание продуктов взрыва, что способствует более полному протеканию реакций и увеличению действия продуктов взрыва на разрушаемый материал.

Давление детонации связано со скоростью детонации и плотностью зависимостью: $P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_1}\right) \rho_0 V_D^2$, где ρ_0 и ρ_1 - соответственно плотность исходного взрывчатого вещества и в зоне реакции. Если имеется избыточное давление детонации, то вследствие сильной релаксационной волны происходит интенсивное разрушение твёрдого сплава. На рис. 1-4 представлены схемы обжата цилиндрической ампулы зарядами бризантных ВВ. Каждая из представленных схем имеет свои преимущества и недостатки. В зависимости от исходной фракции лома твёрдых сплавов выбирается схема импульсного нагружения.

Наиболее оптимальной схемой разрушения твёрдых сплавов является устройство для синхронизации зарядов применительно к схеме двухстороннего заряда.

Устройство для синхронизации инициирования зарядов ВВ состоит из кольца ЕВСФ трапециевидного по сечению и усеченного конуса ОАГІ с цилиндрическим пояском ІГЈО' на меньшем основании конуса (рис. 5). Материал для кольца ЕВСФ: металл, дерево, оргстекло. Материал для усеченного конуса с пояском: пластилин, пластические массы, гипс, глина, дерево, металл, оргстекло.

Наружный радиус R_H^h наружного заряда толщиной h_H и внутренний радиус R_B^h внутреннего заряда ВВ толщиной h_B связаны с геометрическими характеристиками обрабатываемой заготовки (или коаксиально собранных заготовок): толщиной δ , наружным R_H и внутренним R_B радиусами, соотношениями

$$\begin{aligned} R_B^h &= R_H - \delta - h_B = R_B - h_B; \\ R_H^h &= R_H + h_H = R_B + \delta + h_H. \end{aligned} \quad (1)$$

В устройстве для синхронного инициирования зарядов ВВ могут применяться взрывчатые вещества с различными скоростями детонации; на поверхности ОАВD со скоростью детонации D_1 , в канале АВGE между кольцами и усеченным конусом со скоростью детонации D_2 , по наружной поверхности кольца в канале CDF со скоростью детонации D_3 . Примем

$$\alpha = \frac{D_2}{D_1}, \quad \beta = \frac{D_3}{D_1}. \quad (2)$$

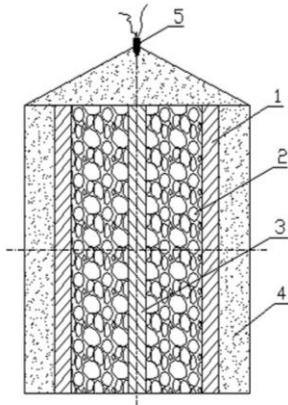


Рис. 1. Схема обжатия цилиндрической ампулы внешним цилиндрическим зарядом ВВ 1 - ампула; 2 – реакция смесь (лом); 3 – металлический стержень; 4 – заряд ВВ; 5 – капсуль-детонатор

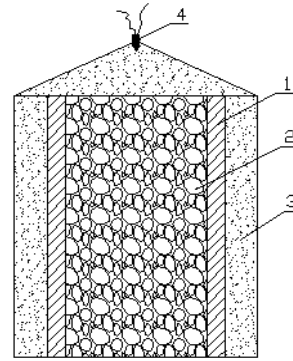


Рис. 2. Схема обжатие цилиндрической ампулы внешним цилиндрическим зарядом ВВ без внутреннего стержня 1 - ампула; 2 – реакция смесь (лом); 3 – заряд ВВ; 4 – капсуль-детонатор

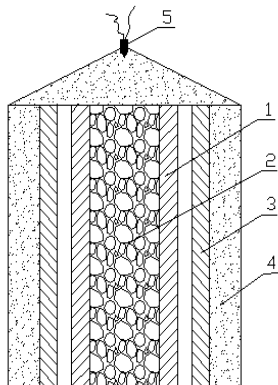


Рис. 3. Схема обжатия цилиндрической ампулы метаемой цилиндрической оболочкой с внешним цилиндрическим зарядом ВВ: 1 – ампула; 2 – реакция смесь (лом); 3 – метаема оболочка; 4 – заряд ВВ; 5 – капсуль-детонатор

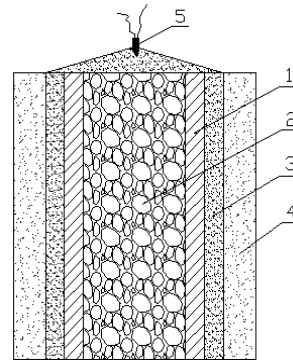


Рис. 4. Схема обработки лома с использованием внешнего цилиндрического двухслойного заряда ВВ цилиндрическим зарядом ВВ: 1 – ампула; 2 – реакция смесь (лом); 3 – заряд ВВ; 4 – заряд ВВ; 5 – капсуль-детонатор

Определим радиус OA из условия равенства времени начала инициирования зарядов ВВ

$$\frac{OA}{D_1} + \frac{AE}{D_2} = \left(\frac{OC}{D_1} + \frac{CF}{D_3} \right) \gamma, \quad (3)$$

где γ - отношение времени начала детонации внутреннего заряда ВВ к времени начала детонации наружного заряда ВВ.

Из соотношений (2) и рис. следует, что

$$\frac{OA}{D_1} + \frac{H}{\alpha D_2 \sin OAE} = \left(\frac{R_H^h - d_3}{D_1} + \frac{H}{\beta D_1} \right) \gamma, \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} OAE = \frac{H}{OA - R_B^h - d_4}, \quad (5)$$

где H - толщина устройства, $|CD| = d_3$, $|JE| = d_4$. Учитывая соотношения между обратными тригонометрическими функциями

$$OAE = \operatorname{arctg} \frac{H}{OA - R_B^h - d_4} = \arcsin \frac{H}{\sqrt{(OA - R_B^h - d_4)^2 + H^2}},$$

приведя подобие членов, получим квадратное уравнение для определения радиуса OA

$$OA^2 \left(1 - \frac{1}{\alpha^2} \right) + 2OA \left[\frac{R_B^h + d_4}{\alpha^2} - \left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right) \gamma \right] + \left[\left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right)^2 \gamma^2 - \frac{(R_B^h + d_4)^2 + H^2}{\alpha^2} \right] = 0 \quad (6)$$

При применении в устройстве однородного взрывчатого вещества с некоторой скоростью детонации и одинаковой толщине каналов, следовательно, $\alpha = \beta = 1$, $d_3 = d_4 = d$, получим выражение для определения радиуса OA .

$$OA = \frac{(R_B^h + d)^2 + H^2 - (R_H^h - d - H)^2 \gamma^2}{2(R_B^h + d - \gamma(R_H^h - d + H))} \quad (7)$$

В общем случае из выражения (6) искомый радиус OA равен

$$OA = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - 1} \left(- \left[\frac{R_B^h + d_4}{\alpha^2} - \left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right) \gamma \right] \pm \sqrt{\left(\frac{R_B^h + d_4}{\alpha^2} - \left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right) \gamma \right)^2} \right) \quad (8)$$

Предположим, что скорость детонации D_2 меньше скорости детонации D_1 , следовательно $0 < \alpha < 1$. С учетом свойств корней квадратного уравнения свободный член уравнения (6) должен быть отрицательным, а именно

$$\left[\left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right)^2 \gamma^2 - \frac{(R_B^h + d_4)H^2}{\alpha^2} \right] \left(1 - \frac{1}{\alpha^2} \right) < 0. \quad (9)$$

Из неравенства (9) получим условие, связывающее скорость детонации D_2 и D_1

$$D_1 > D_2 > D_1 \sqrt{\frac{(R_B^h + d_4)^2 + H^2}{\left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right)^2 \gamma^2}}. \quad (10)$$

С учетом соотношения (9) и неравенства (10) радиус OA равен

$$OA = \frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} \left[\left(\frac{R_B^h + d_4}{\alpha^2} - \left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right) \gamma \right) + \sqrt{\left(\frac{R_B^h + d_4}{\alpha^2} - \left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right) \gamma \right)^2 - \left(\left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right)^2 \gamma^2 - \frac{(R_B^h + d_4)^2 + H^2}{\alpha^2} \right) \left(1 - \frac{1}{\alpha^2} \right)} \right] \quad (11)$$

В предположении, что скорость детонации D_2 , больше скорости детонации D_1 , а именно $\alpha > 1$, получим условие, связывающее скорости детонации D_2 и D_1

$$D_2 < D_1 \sqrt{\frac{(R_B^h + d_4)^2 + H^2}{\left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right)^2 \gamma^2}}, \quad (12)$$

а из соотношения (8) радиус OA равен

$$OA = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - 1} \left[- \left(\frac{R_B^h + d_4}{\alpha^2} - \left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right) \gamma \right) + \sqrt{\left(\frac{R_B^h + d_4}{\alpha^2} - \left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right) \gamma \right)^2 - \left(\left(R_H^h - d_3 + \frac{H}{\beta} \right)^2 \gamma^2 - \frac{(R_B^h + d_4)^2 + H^2}{\alpha^2} \right) \left(1 - \frac{1}{\alpha^2} \right)} \right] \quad (13)$$

Из условия равенства радиуса OA внутреннему радиусу R_B^h внутреннего заряда BB определим значения α и β , при которых усеченный конус заменится прямым цилиндром с радиусом основания R_B^h .

Из треугольника AMB находим

$$OB = OA + \frac{d_2}{H} \sqrt{(OA - R_B^h - d_4)^2 + H^2}, \quad (14)$$

где $d_2 = |AM|$.

Внутренний радиус большего основания кольца равен

$$O'E = R_B^h + d_4, \quad (15)$$

Наружный радиус кольца равен

$$OC = O'F = R_H^h - d_3. \quad (16)$$

Перечень ссылок

1. Savchenko, Iu., Gurenko, A., Naumenko, O.. (2016) Cutting-edge industrial technology of mining tool manufacturing // *Mining of Mineral Deposits*. 10 (4), 105-110. http://mining.in.ua/articles/volume10_4/14.pdf
2. Патент №15322 (2000), Дідик, Р.П., Савченко, Ю.В., Вьюнник, О.М., Анциферов, А.В., Пащенко, Н.И., Тубеляева, Г.Д. та ін. Спосіб регенерації вольфрамівмісних твердих сплавів. МКИ В22F 3/08, 3/12; С22В 34/36 (Україна), Бюл. №6.
3. Schneider, A., Anciferov, A., Savchenko, Iu., Didyk, R., and Vjunik A. (1999). Verfahren und Einrichtung zur Wiedergewinnung von harten Legierungen. 196 27 983 В22F 9/06 (DE).
4. Савченко, Ю.В. (2016) Моделирование параметров при инициировании плоских и цилиндрических высокоемодульных источников энергии // *Гірничі електромеханіка та автоматика*: наук.-техн. зб. – Д. : НГУ, 97, 116 – 120. http://gea.nmu.org.ua/docs/2016/2/97_116-120.pdf
5. Анциферов, А.В., Савченко, Ю.В. (2017) Перспективная технология переработки твёрдых сплавов // *Збагачення корисних копалин*: наук.-техн. зб., 67 (108), 30–35. <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2017-67-108/05.pdf>

АНОТАЦІЯ

Мета дослідження – розробити технологічні параметри імпульсного впливу дроблення твердосплавних матеріалів, що дозволяє отримати продукт з заданими властивостями з метою економії кобальту і підвищення фізико-механічних характеристик дрібнодисперсних твердих сплавів.

Методика. Найбільш важливим і загальним параметром при виборі схеми ударно-хвильового навантаження для процесу руйнування твердого сплаву є імпульс тиску бризантного ВВ на поверхні збірки. За визначенням імпульс тиску залежить від маси і швидкості детонації ВР. Як методики дослідження в даній роботі були розглянуті схеми руйнування з використанням бризантних ВВ для дроблення твердих сплавів.

Результати. Проведено порівняльний аналіз технологічних схем регенерації металокерамічних сплавів. Кожна з розглянутих схем має свої переваги і недоліки. Залежно від вихідної фракції брукту твердих сплавів вибирається схема імпульсного навантаження. Розроблено промислову високоефективна технологія виробництва ріжучого, що руйнує і формотворного інструменту з вольфрамокобальтових і вольфрамонікелевих сплавів шляхом прямої регенерації вторинної сировини без використання термохімічних і металургійних методів.

Наукова новизна. Встановлено, що найбільш оптимальною схемою руйнування твердих сплавів є пристрій для синхронізації зарядів стосовно до схеми двостороннього заряду дроблення твердих сплавів системи карбід вольфраму-нікель-кобальт з різним вмістом компонентів. З аналізу наведених виразів випливає, що переважно вибирати швидкість детонації ініціюючого заряду вибухової речовини вище швидкості детонації основного заряду вибухової речовини.

Практична значимість. Оптимальною схемою руйнування твердих сплавів є пристрій для синхронізації зарядів стосовно до схеми двостороннього заряду дроблення твердих сплавів системи карбід вольфраму-нікель-кобальт з різним вмістом компонентів.

Ключові слова: вольфрам, кобальт, інструмент, твердий сплав, металокераміка, переробка відходів, гетерогенна середа, дефект утворення, вибухові речовини

ABSTRACT

The study purpose. To develop technological parameters of the pulsed impact of crushing of carbide materials, which makes it possible to obtain a product with predetermined properties in order to save cobalt and improve the physicomechanical characteristics of finely dispersed hard alloys.

Methodology. The most important and general parameter in the choice of the shock-wave loading scheme for the process of destruction of a solid alloy is the pressure pulse of the blasting explosive at the assembly surface. By definition, the pressure pulse depends on the mass and velocity of detonation of explosives. As a research technique in this paper, we considered the destruction schemes using brisant explosives for crushing hard alloys.

Results. A comparative analysis of technological schemes for the regeneration of metal-ceramic alloys is carried out. Each of the schemes considered has advantages and disadvantages. Depending on the initial fraction of the scrap of hard alloys, a pulse loading scheme is chosen. An industrial high-efficiency technology for the production of cutting, destructive and forming tools from tungsten-cobalt and tungsten-nickel alloys has been developed by direct regeneration of secondary raw materials without using thermo-chemical and metallurgical methods.

Scientific novelty. It has been established that the most optimal scheme for the destruction of solid alloys is a device for charge synchronization applied to a two-way charge circuit for the crushing of hard alloys of a tungsten-nickel-cobalt carbide system with a different content of components. From the analysis of the above expressions it follows that it is preferable to select the detonation velocity of the initiating charge BB above the detonation velocity of the main charge BB.

Practical significance. The optimal scheme for the destruction of solid alloys is a device for synchronizing charges with respect to the scheme of two-way charge of crushing of hard alloys of the tungsten-nickel-cobalt carbide system with different components content.

Keywords: *tungsten, cobalt, tool, hard alloy, metal ceramics, recycling, heterogeneous medium, defect formation, explosives*

УДК 624.131.37:519.25

© О.А. Сдвижкова, О.С. Ковров, Т.В. Мнищенко

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЛИНИСТИХ ПОРІД

© O. Sdvyzhkova, O. Kovrov, T. Mnishenko

STATISTICAL ASSESSMENT OF CLAY ROCKS STRENGTH PROPERTIES

Мета. Виконати дослідження фізико-механічних властивостей м'яких глинистих порід за допомогою серійних випробувань на зсув та проаналізувати статистичний розподіл кута внутрішнього тертя та зчеплення.