

УДК 539.375

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРОЕНИЯ ИЗЛОМОВ ПРИ ВЗРЫВНОМ РАЗРУШЕНИИ
УТИЛИЗИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ И ОЦЕНКА
ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ**

*Пирогов Д.Л., ст. преподаватель, Коноваленко А.Д., к.т.н, доц., Костин В.В., к.т.н., доц.,
Драгобецкий В.В., д.т.н., проф.
Кременчугский государственный политехнический университет
39614 г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20
Email: vldrag@polytech.poltava.ru*

В даній статті проаналізовані проблеми використання виробів із спечених твердих сплавів, що утилізували. Розглянуті варіанти розв'язання проблеми. Описана технологія дроблення вибухом. Проведений фрактографічний аналіз руйнованих поверхонь.

Ключові слова: тверді сплави, дроблення, вибух.

In this article the problems of salvaged articles of sintered hard alloys have been analysed, after native solutions of the problem have been investigated, the methods of crushing by explosion have been described. The fractographical analysis presented.

Key words: hard alloys, explosion, crush.

Введение. Процессы дробления в общей классификации механических технологий входят в класс процессов, связанных с разрушением вещества. В данной работе рассматривается задача использования вторичных ресурсов, содержащих вольфрам. Последний является основным компонентом твердых сплавов и ряда легированных сталей. Мизерная добыча этого материала не позволяет в полной мере удовлетворить запросы промышленности Украины. Задача использования вторичных ресурсов, содержащих вольфрам, чрезвычайно актуальна и экономически выгодна.

Анализ предварительных исследований. Механизм, характеризующий процесс дробления, возможен при осуществлении следующих физико-химических эффектов: термохимического метода, транспортных реакции, разрушения химически связанных веществ, выделения из сжатых газов, насыщения водородом, разрушения окисей, сжигания, растворения в смесях, соединения взаимно-активных веществ, окисления, образования комплексонов, термоциклирования, ударом, взрывом и др. При выборе метода дробления конкретного материала необходим учет его химико-механических свойств до и после дробления и особенностей дальнейшего использования продуктов дробления.

Для повторного использования вольфрамосодержащих сплавов необходимо дробление изделий до фракций диаметром не более 3 мм. Анализ методом дробления показал, что наиболее приемлемо использование систем, работающих на взрывчатом веществе [1]. Однако и в этом случае уровень разрушающих напряжений довольно высок, а, следовательно, требуются большие массы взрывчатого вещества. Для сплава ВК6 соотношение масс взрывчатого вещества к массе дробящегося материала составляет 0,1-0,12, а для сплава ВК20 - 0,3-

0,36. Поэтому для эффективного дробления необходимы высокопрочные металлоемкие и дорогостоящие взрывные камеры либо дополнительная предварительная обработка утилизируемых изделий перед дроблением, т.е. необходима интенсификация существующих технологий дробления. Одним из направлений интенсификации и совершенствования процесса дробления является использование взрыво-ударных контейнеров для совместного многостадийного дробления твердосплавного лома [2].

На процесс дробления оказывают интенсифицирующее влияние состояние поверхности, поверхностно-активные вещества, переменное температурное поле, электрическое и магнитное поля. [1].

Цель работы. Обоснование и экспериментальная оценка эффективности взрывного дробления утилизируемых изделий из твердых сплавов. Выявление механизма разрушения твердых сплавов методом фрактографического анализа.

Материал и результаты исследований. Проводились исследования по дроблению твердых сплавов, применяемых в обработке металлов давлением (вырубные штампы, вытяжные штампы, твердосплавные волокна). Вольфрамкобальтовые и вольфрамоникелевокобальтовые сплавы обладают высокой твердостью, высоким сопротивлением при сжатии, ударной вязкостью. Структура металлокерамических вольфрамкобальтовых твердых сплавов состоит из очень твердых с высоким модулем упругости светлых зерен карбида вольфрама и пластичных прослоек кобальта в котором растворено небольшое количество карбида вольфрама.

Процесс дробления осуществлялся двумя методами:

1) иницированием взрывчатого вещества, находящегося в непосредственном контакте с разрушаемыми изделиями (контактный взрыв);

2) метанием поршня с помощью взрывчатого вещества (удар упругим телом).

В первом случае разрушение происходит в волне разгрузки. В общем случае давление, развиваемое на поверхности металла, можно получить из условия непрерывности напряжений и перемещений на контакте и уравнений сохранения [3].

Во втором случае поршень из высокопрочной нержавеющей стали толщиной 50 мм под действием продуктов взрыва разгоняется до скорости в несколько тысяч метров в секунду внутри контейнера [3]. Но даже при скоростях удара несколько десятков метров в секунду возникающие ударные волны достигают интенсивности, превосходящей предел прочности [3]. Кроме того, подвижный поршень и стенки контейнера являются источниками возмущений. Импульс ударных волн, предшествующий основному разрушающему усилию, вкладывает в процесс разрушения динамическую наследственность, влияющую на процесс дальнейшего дробления. Таким образом, распространению упругой волны сопутствуют эффекты релаксации напряжений за фронтом. Усилить эффект динамической последовательности возможно путем использования слоистого поршня ударника с различной акустической жесткостью составляющих слоев. В качестве второго слоя поршня (не соударяющегося с разрушаемыми объектами) использовали линзу из карбида вольфрама. В качестве первого слоя – нержавеющую сталь. В этом случае отраженная волна на границе будет ударной волной, дополнительно нагружающей разрушаемый объект. Учитывая то, что догрузочный импульс распространяется со скоростью упругой волны, можно, изменяя толщину первого слоя, управлять процессами откольного разрушения.

В дополнение к этому следует отметить циклический характер распространения трещины. В момент страгивания напряжения в вершине релаксируют, и трещина стремится затормозиться. Эта разгрузка через волны напряжений передается в точку приложения нагрузки на образец, после чего новый импульс вызывает дополнительную концентрацию напряжений [5]. При совпадении цикличности роста трещины с цикличностью действия импульсного нагружения вероятно интенсивное увеличение скорости роста и разветвления трещин с последующим разрушением объектов.

Необходимо учесть и тот факт, что можно таким образом подробен физические и геометрические параметры ударника – поршня и разрушаемых объектов, при которых энергия, «закачанная» в разрушаемый объект в результате ударного взаимодействия, будет максимальной.

Следует заметить, что множество утилизированных изделий из твердых сплавов: волокнистые, многогранные твердосплавные пластины, матрицы для

пробивки и вырубки, втулки, элементы штампованной оснастки и др. содержат цилиндрическое отверстие. Для таких изделий целесообразнее использовать накладной заряд взрывчатого вещества. Последний заполняет цилиндрическое отверстие. При его детонации из отверстия выходит цилиндрическая расходящаяся ударная волна. Волны разгрузки при разрушении изделий с гранями отражаются от смежных поверхностей и встречаются на диагоналях многогранника. Трещины зарождаются на ребрах многогранника и распространяются в радиальном направлении вовнутрь.

Эффективность дробления оценивалась по отношению массы разрушенных объектов, фракции дробления не более 3 мм, к общей массе утилизированных изделий. Толщина метаемого поршня принималась такой, чтобы после соударения он сохранял свою форму и не разрушался. Масса заряда взрывчатого вещества определялась в соответствии с методикой, приведенной в работе [1]. При метании поршня масса заряда взрывчатого вещества принималась $(0,5-1,5) \cdot m_n$ (здесь m_n – масса поршня). Дистанция ударной поверхности поршня от объекта дробления определялась по методике Дерibasа А.А. [4], т.е. соответствующей максимальной скорости разгона поршня. В экспериментах использовался монолитный поршень, изготовленный из нержавеющей стали и слоистый поршень с линзой из карбида вольфрама. Предварительные эксперименты показали:

1. Изменение толщины поршня позволяет в широких пределах варьировать продолжительностью импульса давления, но на эффективности дробления изделий из твердых сплавов это не сказывается.

2. Соотношение толщины слоев слоистого поршня при условии их достаточной прочности и жесткости, а также увеличение количества слоев и прослоек не оказывает влияния на эффективность дробления.

Для косвенной оценки эффективности разрушения утилизированных изделий из вольфрамокарбидовых сплавов и склонности к хрупкому разрушению использовался фрактографический анализ. Определялось строение изломов – структуры поверхностей распространения трещины. Изучение поверхностей изломов проводилось методами макро- и микроскопической фрактографии. Инструментом микроскопической фрактографии служил электронный микроскоп РЭМ-106И.

Методами фрактографического анализа установлено, что при принятых условиях нагружения (контактный взрыв и удар поршня) трещины распространяются путем реализации следующих микромеханизмов разрушения – ямочного отрыва и транскристаллитного скола. Результаты экспериментов сведены в таблицу.

Таблиця

Метод дроблення	Дистанція взрива	Отношение массы взрывчатого вещества к массе объекта дробления	Эффективность дробления
Накладной заряд ВВ	0	0,3	0,102
Накладной заряд ВВ	0	1,0	0,22
Углубленный заряд в объект дробления	0	0,3	0,26
Монолитный поршень	0,5h _n	0,3	0,338
Монолитный поршень	1,0 h _n	0,3	0,52
Монолитный поршень	1,5 h _n	0,3	0,414
Слоистый поршень	1,0 h _n	0,3	0,748
Слоистый поршень	1,5 h _n	0,3	0,449

Установлено, что межзеренный скол является характерным механизмом разрушения твердых сплавов. Реализация межзеренного скола, скорее всего, обусловлена локализацией течений в области прослоек кобальта, а также сегрегацией небольшого количества карбида вольфрама по границам зерен.

Известно, что механизм разрушения не является абсолютно доминирующим в процессе разрушения деформируемого тела. Поэтому вполне закономерно наличие ямочного отрыва или слияния микропустот (микротрещин). Последние зарождаются вследствие локализации пластической деформации возле границ зерен. В процессе роста и коалесценции таких пустот происходит микропластическая деформация перемычек между ними, локально достигающая высокого уровня.

Данный характер ямочных микрообразований на поверхности твердых сплавов в значительной мере зависит как от вида напряженного состояния, так и от структуры сплавов и уровня энергоемкости разрушения.

В данном случае фрактографический анализ использовался не для оценки физико-механических свойств твердых сплавов, а для выявления наиболее эффективных методов их разрушения и поиска путей интенсификации процесса дробления.

Характер изломов показал, что пути интенсификации процесса разрушения связаны в основном с локализацией деформирующих усилий в связующих пластических прослойках. При ударно-сплавов [3]. Использование других интенсифицирующих факторов процесса разрушения в волновом нагружении наиболее нагруженными являются именно мягкие компоненты твердых сплавов, таких как: взаимодействие сплава с активной средой, нагрев, термоциклирование, использование эффектов сверхпластичности и вибропластичности эффективно, но приводит к окислению вольфрама. Процесс восстановления вольфрама трудоемок, и регенерации твердых сплавов становится убыточной.

Выводы. Метод дробления, связанный с использованием кинетической энергии быстрорежущего слоистого поршня-ударника, изготовленного из нержавеющей стали с вольфрамовой линзой, по своей эффективности превосходит процесс дробления накладным зарядом взрывчатого вещества и монолитным поршнем-ударником. Дробление слоистым поршнем-ударником более производительное: на каждые 100 кг утилизированных изделий выход сырья увеличивается на 20-50 кг.

Методами фрактографии установлено, что разрушение происходит путем реализации нескольких механизмов: образованием трещин, ямочным отрывом, транскристаллитным и межзеренным сколом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Драгобецкий В.В., Уклов Р.В. Дробление взрывом утилизированных изделий из спеченных твердых сплавов. // Вісник КДПУ: Наукові праці КДПУ. Вип. 2/2001 (1). – Кременчук, 2000. – С. 309-311.
2. Взрывные камеры для дробления утилизированных изделий/Уколов Р.В., Пилипчук В.Н., Трушевская Л.П., Драгобецкий В.В. // Вісник КДПУ: Наукові праці КДПУ. Вип. 3/2002 (14). – Кременчук: КДПУ – С. 153-155.
3. Майборода В.П., Кравчук А.С., Холин Н.Н. Скоростное деформирование конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1986. – 264 с.
4. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск: Наука, 1972. - 188 с.
5. Ионов В.Н., Селиванов В.В. Динамика разрушения деформируемого тела. – М.: Машиностроение. 1987. – 272 с.

Статья поступила 15.02.07

Рекомендовано к печати д.т.н., проф.
Саленком О.Ф.