

ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА ИЗ ПОРОХОВ УТИЛИЗИРУЕМЫХ БОЕПРИПАСОВ

Докт. техн. наук, проф. ЛОЖЕЧНИКОВ Е. Б.,
инж. ЛОЖЕЧНИКОВА Е. Е.

Белорусский национальный технический университет

Новые технологии, способы получения и обработки материалов в значительной степени базируются на использовании нетрадиционных энергоносителей, обеспечивающих высокоскоростное импульсное нагружение объекта обработки. К таким энергоносителям относится промышленное взрывчатое вещество (ВВ) гранипоры БП-1, представляющее механическую смесь в соотношении 1:1 дробленых трубчатых баллиститных и пироксилиновых порохов, флегматизированных маслом (~1,5 % по массе индустриального или веретенного). Использование гранипор позволяет решать не только технологические задачи импульсной (до 1000 м/с) обработки при минимальных затратах традиционных энергоносителей, но и эффективно использовать пороха утилизированных боеприпасов.

Высвобождаемые при утилизации артиллерийских выстрелов трубчатые пороха представляют физически и экологически опасные материалы, хранение которых требует значительных затрат и ограничено во времени [1, 2]. В связи с этим значительную часть артиллерийских порохов сжигают. Известные и используемые технологии переработки трубчатых порохов в гранипоры базируются в основном на традиционных операциях и оборудовании [3–6]. Баллиститные и пироксилиновые пороха «дробят» раздельно. Процесс осуществляют в воде. Дробленный порох сушат в центрифуге, а затем – в потоке горячего воздуха, смешивают и флегматизируют. Такая технология, на наш взгляд, обладает существенными недостатками:

- перечисленные операции разделены во времени и пространстве, что обуславливает необходимость межоперационного накопления (складирования) взрывоопасных материалов;
- дробление пороха осуществляется в воде, что предопределяет опасные операции центрифугирования и сушки;
- раздельное дробление разными способами баллиститного и пироксилинового порохов обуславливает операцию их смешивания – трудоемкую и опасную даже в случае ее совмещения с флегматизацией;
- технология многооперационна, требует значительных производственных площадей, разнообразного оборудования и достаточно большого количества производственного персонала, непосредственно контактирующего со взрывчатыми веществами.

Способы дробления трубок пироксилинового пороха основаны на их обработке между встречно-вращающимися зубчатыми валками (при продольной подаче трубок) или профильными ножами (с поперечной подачей трубок). Для гранулирования баллиститного пороха используют валковый гранулятор, отличающийся от обычных тем, что отверстия выполнены в ребордах одного из валков. Трубки пороха обжимаются в закрытом калибре, образуемом двумя нагретыми до 90 °С валками. Приведенный в результате нагрева и давления в пластическое состояние порох выдавливается через отверстия реборд и срезается ножами в гранулы.

Анализ физико-химических процессов инициирования реакции и горения порохов свидетельствует о возможности упрощения технологии их переработки в гранипоры за счет исключения их увлажнения, а следовательно мероприятий по удалению влаги, и совмещения операций дробления трубок предварительно флегматизированных пироксилинового и баллиститного порохов. Последнее исключает операцию смешивания продуктов дробления. Это допустимо и возможно при создании способа совместного дробления как пироксилинового, так и баллиститного порохов и условий, исключающих возгорание и горение пороха, т. е. прогрев во времени поверхностного слоя, необходимый для физико-химических превращений его компонентов с образованием конденсированной фазы [1, 2].

Возможность возгорания пороховой пыли от электростатического разряда устранима исключением таких разрядов за счет предварительной флегматизации пороха маслом и омеднения инструментов и других открытых деталей, а также удалением из зоны обработки высокодисперсных частиц хрупкоразрушаемого пироксилинового пороха высокоскоростным, расширяющимся потоком воздуха вытяжной пневмотранспортной системы. Создание в зоне резания-дробления расширяющегося потока воздуха обеспечивает охлаждение пороха и инструментов, а также условия затухания горящего пороха при вылете его из ствола.

Эти условия реализованы в разработанном технологическом комплексе для переработки трубчатых порохов в гранипоры, состоящем из станка 1, аспиратора 2 и соединяющего их трубопровода 3 (рис. 1).

На сваренной из прямоугольных труб станине станка установлена ножевая головка, в расточках плит 4 которой на подшипниках – два вала с дисковыми ножами 5 и зубчатыми колесами. Загрузочный бункер 6 вместе с панелями и приемным лотком 7 герметично закрывает рабочее пространство ножевой головки. Диффузор 8, нижняя щелевая часть которого расположена над зоной резания-дробления, обеспечивает подсос воздуха и образование в зоне среза высокоскоростного потока расширяющегося воздуха.

Захватываемые пазами дисковых ножей трубки пороха поштучно подаются в зону резания-дробления, из которой продукты дробления транспортируются в аспиратор. Поток воздуха в системе пневмотранспорта контролируется безконтактным датчиком 9 и регулируется шибером 10.

В аспираторе вследствие резкого увеличения объема скорость и направление движения воздуха резко изменяются, что приводит к выпаданию гранул пороха в лоток и через стакан 11 в контейнер 12 или другую тару. Конструкция выгрузного устройства такова, что при смене контейнера 12 поднимаемый стакан перекрывает лоток, не допуская через него подсоса воздуха. Привод валов дисковых ножей с пазами осуществляется от электродвигателя через ременную передачу и редуктор (рис. 2), а вращение вала гладких ножей – через зубчатую передачу, колеса которой установлены на шейках валов.

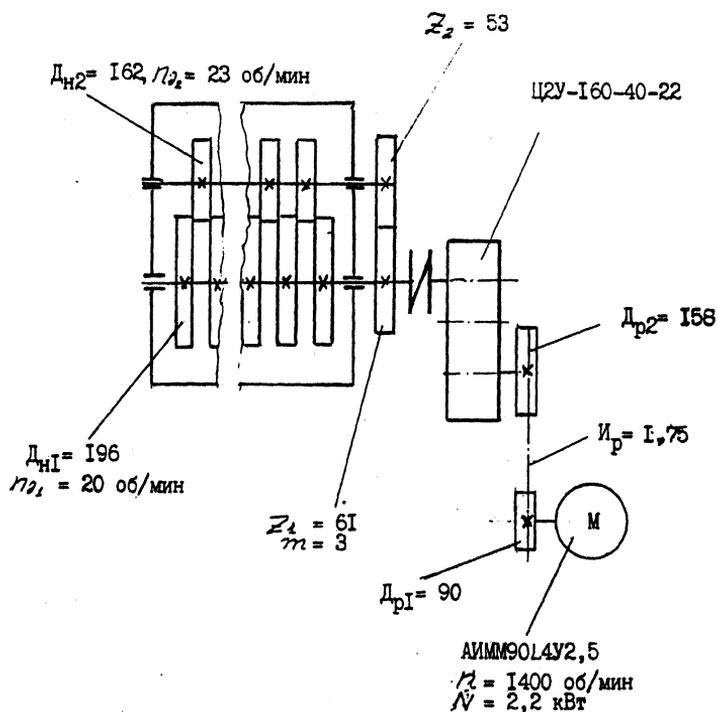


Рис. 2. Кинематическая схема станка для дробления пороха

Размеры (диаметры) дисковых ножей и частоты их вращения приняты такими, чтобы удельная мощность трения–скольжения по контактной пороха с инструментами поверхности была исчезающе малая, значительно меньшая допустимой для баллиститных и пироксилиновых порохов.

Безопасность механической обработки чувствительных материалов, к которым относятся пороха, определяется многими факторами, но, прежде всего, давлением и удельной мощностью трения–скольжения по контактной с инструментом поверхности, которые обуславливают деформационный нагрев и физико-химическое активирование обрабатываемого материала. Вследствие диссипации энергии в сравнительно большом объеме возможность инициирования реакции в деформируемом объеме трубок по сравнению с контактными поверхностями мало вероятно.

Процесс дробления организован таким образом, что трубки пороха поштучно захватываются из бункера пазами дисковых ножей и транспортируются в зону резания–дробления, где они входят в контакт с гладкими ножами (рис. 3). Очевидно, что вследствие постоянных угловых частот

ω_1, ω_2 вращения дисковых ножей и переменного радиуса R_{ki} вращения контактной поверхности пороха рассогласование скоростей контактирующих поверхностей

$$\Delta v = v_1 - v_k \cos \beta = 2\pi(R_1\omega_1 - R_{ki}\omega_2 \cos(\alpha_{li} + \alpha_{ki})). \quad (1)$$

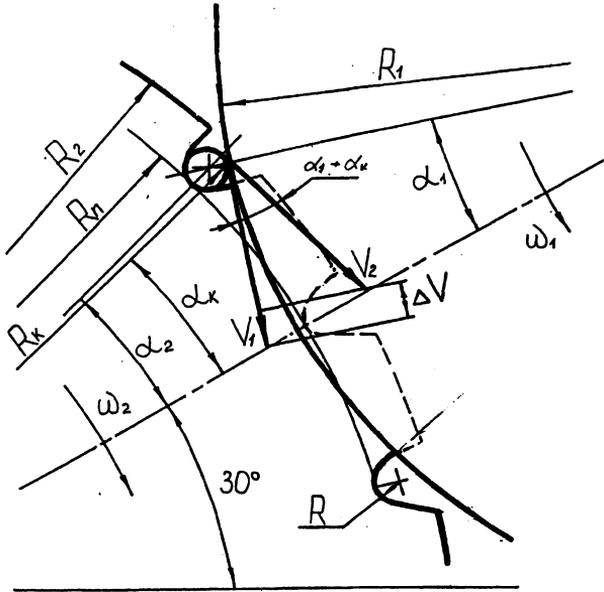


Рис. 3. Схема резания трубок пороха

Второй член правой части (1) – проекция окружной скорости центра контактной поверхности на направление окружной скорости поверхности гладких ножей. Поскольку трубки пороха при внедрении в них ножей прогибаются, их сминаемая поверхность приобретает форму, близкую к треугольной. Вследствие этого площадь контактной поверхности определяем по высоте $0,5b$ и основанию треугольника в функции глубины внедрения h ; режущей кромки ножа в порох, равной $\sqrt{hd_n - h^2}$ (b – толщина ножа)

$$F_{cm} = 0,25b\sqrt{hd_n - h^2}. \quad (2)$$

Тогда усилие одного среза при контактом напряжении смятия σ_{cm}

$$P_1 = 0,25\sigma_{cm}b\sqrt{hd_n - h^2}, \quad (3)$$

а удельная мощность трения–скольжения трубки пороха по контактной с гладким ножом (один срез) поверхности

$$n = f\sigma_{cm}\Delta v_i = 2\pi f\sigma_{cm}(R_1\omega_1 - R_{ki}\omega_2 \cos(\alpha_{li} + \alpha_{ki})). \quad (4)$$

Функциональные зависимости переменных R_{ki} и α_{ki} от угла поворота α_{li} гладких ножей и изменяющейся глубины внедрения их в трубки пороха h определены решением геометрических задач, вытекающих из рис. 3:

$$\alpha_{ii} = \operatorname{arctg} \frac{(R_n + 0,5d_n) \sin \alpha_{2i}}{\alpha_w - (R_n + 0,5d_n) \cos \alpha_{2i}}; \quad (5)$$

$$\alpha_{ki} = \operatorname{arctg} \frac{R_1 \sin \alpha_{ii}}{\alpha_w - R_{ii} \cos \alpha_{ii}}; \quad (6)$$

$$\alpha_{2i} = \alpha_2 - \omega_2 t; \quad (7)$$

$$\alpha_2 = \arccos \frac{(R_n + 0,5d_n)^2 + \alpha_w^2 - (R_1 - 0,5d_n)^2}{2(R_n + 0,5d_n)\alpha_w}; \quad (8)$$

$$h_i = R_1 + 0,5d_n - \sqrt{(R_n + 0,5d_n) \sin \alpha_{2i} + (\alpha_w - (R_n + 0,5d_n) \cos \alpha_{ii})^2}, \quad (9)$$

где α_w – межосевое расстояние $m(Z_1 + Z_2)$; d_n – диаметр трубок пороха.

Очевидно, что энергия трения–скольжения за время t одного среза определяется выражением

$$A = \int_0^t n F_{\text{см}i} dt. \quad (10)$$

Решение интеграла (10) из-за громоздкости не приводится.

С помощью ЭВМ составлена программа решения полученных математических моделей резания трубок пороха и выполнены расчеты для условий их переработки в описанном станке.

Результаты расчетов показали, что внедрение ножей в порох на глубину 1,5...2 мм, при которой образуется срез, происходит за 0,012...0,016 с, что соответствует повороту дисков с порохом в пазах на угол 2,27°. При этом усилие одного среза возрастает пропорционально росту контактной поверхности для баллиститного пороха до 240Н, пироксилинового – до 840...850Н.

Удельная мощность трения–скольжения для баллиститного пороха в начале резания ($h = 0$), равная 23,83 кВт/м², вследствие уменьшения радиуса вращения центра контактной поверхности R_k , а следовательно, и рассогласования скоростей ΔV с 28,0 до 23,4 мм/с, уменьшается при $h = 2$ мм до 19,89 кВт/м².

Энергия трения–скольжения между гладким диском и баллиститным порохом (один срез) за время $t = 0,01646$ с составляет ($F_{\text{ср}} = 14$ мм²)

$$A_1 = n_{\text{ср}} \cdot 14 \cdot 10^{-6} \cdot 0,01646 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

При резании одной трубки пороха длиной 600 мм, на гранулы 20 мм наиболее вероятно 30 срезов. На диске имеются 24 паза. Следовательно, за один оборот диска с пазами произойдет 720 срезов, а за час при частоте вращения дисков с пазами $\omega_2 = 0,3817 \text{ с}^{-1}$ ($n = 22,9$ об/мин) – 989366, что

соответствует числу гранул пороха длиной 20 мм и мощности трения–скольжения:

$$A_{\text{час}} = 989280A_1 = 989280 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 4946,4 \text{ Дж/ч}$$

или выделению теплоты

$$Q_{\text{час}} = 4946,4 \cdot 0,239 = 4,94 \text{ кДж/ч, т. е. } - 4,2 \text{ Дж на 1 кг пороха.}$$

Так как у пироксилинового пороха $\sigma_{\text{см}}$ в 3...3,5 раза больше, чем у баллиститного, но глубина внедрения ножей для его хрупкого разрушения в 1,5 раза меньше, то мощность трения–скольжения на один срез для него будет равна:

$$A_{\text{час}} = 4946,4 \cdot 3,5 \cdot 0,5 = 8656,2 \text{ Дж.}$$

Очевидна безопасность принятого способа резания трубок пороха в потоке расширяющегося воздуха, что подтверждено проведенными экспериментами при испытании станка ПРО1.

Мощность привода многодисковых ножниц станка – 2,2 кВт, вентилятора – 1,5 кВт. Производительность при коэффициенте загрузки K_3 , равном 1, составляет 1000 кг/ч, эксплуатационная – 300...350 кг/ч. Масса оборудования – 700 кг.

Проведенные испытания подтвердили работоспособность и безопасность разработанной конструкции, однако выявили ряд недостатков во вспомогательных устройствах, устраненных во второй модели линии, разработанной по заказу специализированной организации России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пороха, твердые топлива и взрывчатые вещества / В. К. Марьин, В. П. Зеленский, Б. М. Орлов и др. – М.: Изд-во МО СССР, 1984. – 202 с.
2. Адреев К. Е. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. – М.: Наука, 1966. – 346 с.
3. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных боеприпасов / Ю. Г. Шукин, Б. Н. Кутузов, Г. В. Мацеевич, Ю. А. Татищев. – М.: Недра, 1998. – 319 с.
4. Смирнов Л. А., Тиняков О. В. Конверсия. – Ч. 4: Утилизация снятых с вооружения боеприпасов и твердотопливных ракет. – М., 1996. – 160 с.
5. Смирнов Л. А., Тиняков О. В. Конверсия. – Ч. 5: Конверсионные промышленные взрывчатые вещества. – М., 1998. – 182 с.
6. Жегров Е. Ф., Телеченков В. Е., Текунова Р. А. О некоторых особенностях переработки утилизируемых артиллерийских порохов и ракетных топлив в промышленные взрывчатые вещества // Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов / II Всерос. науч.-техн. конф: Сб. докл. – М.: ЦНИИТИКПК, 1997. – С. 137–141.

Представлена кафедрой
машин и технологий
обработки металлов давлением
имени С. И. Губкина

Поступила 18.02.2002