

3. Luhovoy P.Z. Eksperymentalne modeliuвання deformovanoho stanu navkolo poperechnoho peretynu tsylindrychnoho shpura pry yoho statychnomu navantazheni / P.Z. Luhovoy, K.K. Tkachuk, T.V. Hrebeniuk // Problemy obchysliuvalnoi mekhaniky i mitsnosti konstruktsii. Zbirnyk naukovykh prats.-Dnipropetrovsk: Lira 2012. Vypusk-20. – 232 – 237 s.

*Стаття надійшла до редакції 20.03.2014 р.*

УДК 662.1: 662.2

**Р. В. Закусило, к. т. н., А. М. Романченко, асп., В. Р. Закусило, к. т. н., (Шосткинський інститут Сумського Державного Університету), В. Г. Кравець, д. т. н. (НТУУ «КПІ»)**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИБОРУ ПОЛІМЕРНОЇ КОМПОЗИЦІЇ ТА МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ ОБОЛОНОК ДЛЯ К-ТРУБ**

**R. V. Zakusylo, ph.d, A. M. Romanchenko, postgraduate student, V. R. Zakusylo, ph.d., (Institute Shostkinsky SSU) V. H. Kravets, doc. of tech sc. (NTUU «KPI»)**

### **STUDY SELECTION IN POLYMER COMPOSITIONS AND METHODS OF MANUFACTURE SHELLS FOR K-PIPES**

*Розроблено К-труби для відбійки блочного каменю. Підібрано полімерну композицію на базі ПЕВТ 15803-020 та метод екструзійного формування циліндричної основи К-труб. Описано технологічні режими виготовлення елементів К-труб. Запропоновано циліндричну екструзійну головку. Розроблено фіксуючі втулки для герметизації ВР та подовження заряду. Доведено дієздатність отриманої конструкції подовжених зарядів.*

**Ключові слова:** вибухова речовина, вибухові роботи, поліетилен, К-труби, подовжений заряд, екструзія.

*Разработаны К-трубы для отбойки блочного камня. Подобрано полимерную композицию на базе ПЭВД 15803-020 и метод экструзионного формования цилиндрической основы К-труб. Описаны технологические режимы изготовления элементов К-труб. Предложено цилиндрическую экструзионную головку. Разработаны фиксирующие втулки для герметизации ВВ и удлинения заряда. Доказано дееспособность полученной конструкции удлиненных зарядов.*

**Ключевые слова:** взрывчатое вещество, взрывные работы, полиэтилен, К-трубы, удлиненный заряд, экструзия.

*The K-tubes for breaking out of the block of stone are developed. Selected polymer composition based on LDPE 15803-020 and method of extrusion molding for cylindrical base to K-tubes. Describes the technological modes of production elements of the K-tubes. Offer the extrusion cylinder head. The locking sleeve to seal the explosive and prolong the charge a developed. Capability of the resulting construct elongated charges proven.*

*Keywords: explosive, blasting, polyethylene, K-tubes, elongate charge, extrusion.*

**Вступ.** В останні роки в провідних по буровибухових технологіях країнах активно розроблюються та впроваджуються вибухові заряди з заниженою швидкістю детонації для так званого м'якого вибуху, такі як GURIT (Nitro Nobel, Швеція), "K-tube" (Фінляндія) [1]. Ці заряди представляють собою полімерні трубки, заповнені вибуховою речовиною (ВР). Вони використовуються для відділення кам'яного блоку від масиву при відбійці блочного каменю. Швидкість детонації зарядів в трубах не перевищує 2000 м/с, що і являється передумовою так званого м'якого вибуху.

**Мета роботи.** Основною метою проведених в даній роботі досліджень була розробка полімерної композиції і підбору методу формування полімеру в циліндричну оболонку, яка може бути використана для виготовлення зарядів з низькою швидкістю детонації типу К-труб, для відбійки блочного каменю.

**Матеріал і результати дослідження.** Головна особливість вибухових робіт при розробці блочного каменю – обов'язкове обмеження руйнівних напруг в процесі відділення блоку від масиву. Особливої обережності необхідно дотримуватися для збереження скелі, що залишилася, цілою.

Для збільшення водостійкості та зручності в обігу вибухова речовина повинна бути упакована в тверді пластмасові трубки, які завозять на кар'єр і заряджають шпури не доторкаючись до ВР. При цьому трубки мають бути оснащені опереним фіксатором, що дозволяє фіксувати їх між собою та в шпурах на необхідному рівні з урахуванням тріщинватості блоку. Це дозволяє виробляти відбій блоку з мінімальним його пошкодженням [2].

При виборі параметрів зарядів і, як слідство, геометрії їх полімерного каркасу необхідно чітко уявляти механізм руйнування масиву гірських порід під дією вибуху. Діаметр шпуру і тип вибухової речовини (ВР) в ньому визначають потенційну енергію ВР, що виділяється при вибуху в даній точці масиву, і характеристику вибухового імпульсу.

До вибухового складу для відбійки блочного каменю пред'являються наступні вимоги: безпека в обігу, водостійкість, швидкість детонації не вище 2000 м/с, невисока теплота вибуху, невеликий критичний діаметр детонації, надійна працездатність від штатних засобів ініціювання. Велике значення для виконання всіх перелічених умов приділяється до полімерної оболонки К-труб.

Полімерна оболонка К-труб зобов'язана зберігати цілісність та сухість розміщеного в її порожнині заряду ВР. Це може бути виконано у разі ретельного підбору полімерного матеріалу та способу його переробки в зазначений виріб.

Поставлена задача ускладнюється тим, що температурний діапазон використання К-труб досить великий – від -30 до +50 °С. Крім того, обидва кінця К-труби мають бути герметично закриті, а зовнішній кінець оснащений фіксатором для з'єднання К-труб між собою, та для унеможливлення випадання із шпурів. Додатково полімерний матеріал має в повному обсязі окислюватися

при значних температурах (при температурі вибуху) та не окислюватися при контакті з вибуховою речовиною, яка використовується для зарядів К-труб [3].

В якості окислювача у вибуховій суміші використовують перхлорат калію, як досить безпечну і малочутливу речовину [2]. Оскільки він досить хімічно стійкий в якості каталізаторів розкладання необхідно застосовувати азотнокислий барій і окисли металів, наприклад, двоокис титана, а в якості невибухового пального доступний і дешевий нафтопродукт – дизельне паливо або олія, в якості сенсibilізатора можуть використовуватися конверсійні матеріали А-ІХ-1, А-ІХ-2, МС, які одночасно підвищують і потужність суміші при наступному співвідношенні компонентів, %:

- перхлорат калію – 65 - 85;
- азотнокислий барій – 5 - 10;
- двоокис титана – 2 - 4;
- дизельне паливо - 3 - 6;
- А-ІХ-1 (А-ІХ-2, МС) – 5 - 15.

Для виготовлення оболонки труб з полімерних матеріалів був за основу вибраний метод екструзії. Екструзійний метод дає можливість змінювати товщину, діаметр і довжину трубки. Можливе виготовлення труб різного діаметру та товщини стінок на одному і тому же екструдері міняючи формуючий інструмент.

При виборі складу композиції були розглянуті, як можливі складові, поліетилен, поліаміди, полікарбонати та полістироли. Встановлено, що поліаміди, полікарбонати та полістироли мають значну температуру плавлення, а також недостатню еластичність для використання їх в оболонці К-труб. Крім того поліаміди, на відміну від поліетиленів, містять в своєму складі азот, що ускладнює їх вибухову деструкцію з повним окисленням, а полікарбонати та полістироли містять бензольні кільця, що також знижує швидкість їх окислення і деструкції та підвищує небезпеку для навколишнього середовища.

Щодо поліетиленів (ПЕ) слід зазначити, що поліетилен  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$  — є карбоцепним полімером аліфатичного органічного вуглеводню олефінового ряду. Термопластичний насичений полімерний вуглеводень; твердий, безколірний, жирний на дотик матеріал. Він легший за воду, горить повільно синюватим полум'ям без кіптяви.

Різні молекули даного полімеру складаються з різного числа молекул мономеру. Тому й молекулярні маси різних молекул даного полімеру різні. В галузі полімерних сполук молекулярна маса показує не масу кожної окремої молекули, а середню молекулярну масу. Молекулярна маса окремих молекул даного полімеру може значно відрізнитися від його середньої молекулярної маси. А середня молекулярна маса полімеру може істотно змінюватися залежно від умов його одержання, а разом з тим змінюються і властивості полімеру.

ПЕ стійкий до дії води, не реагує з лугами будь-якої концентрації, з розчинами нейтральних, кислих і основних солей, органічними і неорганічними кислотами, навіть концентрованою сірчаною кислотою.

При кімнатній температурі не розчиняється і не набухає в жодному з відомих розчинників. Але під високим тиском деструктує (окислюється) та може бути розчинений навіть в перегрітій до 180 °С воді.

З часом розкладається з утворенням поперечних міжланцюгових зв'язків, що призводить до підвищення крихкості на тлі невеликого збільшення міцності. Нестабілізований ПЕ на повітрі піддається термоокислювальній деструкції (термостарінню).

Існує два основних типи поліетиленів – високого (ПЕВТ) та низького (ПЕНТ) тиску (також є поліетилен середнього тиску, але скоріше це різновид ПЕНТ і вони не мають такого значного розповсюдження, як вищезазначені типи ПЕ). Характеристики ПЕВТ наведено у табл. 1. Характеристики ПЕНТ наведено у табл. 2 [4-6].

Для визначення пріоритетів при виготовленні оболонки К-труб було досліджено два базові поліетилені основних типів: поліетилен високого тиску (ПЕВТ 15803-020) і поліетилен низького тиску (ПЕНТ-273) для попереднього відпрацювання технології. Дані матеріали є дешевими і, у свою чергу, відображають характерні властивості як аморфних (ПЕВТ 15803-020), так і кристалічних (ПЕНТ-273) полімерів і дадуть надалі можливість підібрати найбільш відповідну композицію, яка б задовольняла заданим вимогам.

Таблиця 1. Фізико-механічні показники поліетиленів високого тиску

№ зп	Назва характеристики	Норма
1	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	910-930
2	Температура плавлення, °С	106-110
3	Температура розм'якшення, °С	70-80
4	Твердість по вдавненню кульки, 10 <sup>4</sup> Па	17,64-22,54
5	Модуль пружності при згинанні, МПа	88,2-127,4
6	Руйнівне напруження при згинанні, МПа	11-19
7	Руйнівне напруження при розтягу, МПа	10-16
8	Відносне подовження, %	500-600
9	Питомий об'ємний електричний опір, Ом × см	1 × 10 <sup>16</sup> –1 × 10 <sup>17</sup>
10	Питомий поверхневий електричний опір, Ом	1 × 10 <sup>15</sup>
11	Температура крихкості, °С	мінус 85-120
12	Водопоглинення за 30 діб, %	0,020
13	Температура крихкості після 500 годин опромінення лампою ДРТ-375, °С	мінус 60-70

Таблиця 2. Фізико-механічні показники поліетиленів низького тиску

№ зп	Назва характеристики	Норма
1	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	940-960
2	Температура плавлення, °С	125-135
3	Температура розм'якшення, °С	80-100
4	Твердість по вдавненню кульки, 10 <sup>4</sup> Па	44,1-57,8
5	Модуль пружності при згинанні, МПа	588-833
6	Руйнівне напруження при згинанні, МПа	19,6-37,2
7	Руйнівне напруження при розтягу, МПа	18-30
8	Відносне подовження, %	200-800

9	Питомий об'ємний електричний опір, Ом × см	$1 \times 10^{16} - 1 \times 10^{17}$
10	Питомий поверхневий електричний опір, Ом	$1 \times 10^{14}$
11	Температура крихкості, °С	мінус 80-150
12	Температура крихкості після 500 годин опромінення лампою ДРТ-375, °С	мінус 60

Велике значення при виготовленні циліндричної полімерної трубки для К-труб було приділено підбору екструзійної головки [7-10].

Підібрана (та удосконалена) екструзійна головка містить корпус з виконаним в ньому циліндричним каналом, в якому встановлені шарнірно закріплені пластини з пристроями регулювання їх положення. Внутрішня частина формуючого каналу покрита еластичним термостійким матеріалом. Вищезазначене дозволяє стабілізувати тиск у передматричній зоні екструдера при зміні технологічних параметрів процесу в ході переробки різної вихідної полімерної сировини за рахунок автоматичної зміни прохідного перетину формуючого каналу.

На рис.1 зображена запропонована циліндрична головка екструдера з регульованим профілем формуючого каналу в розрізі.

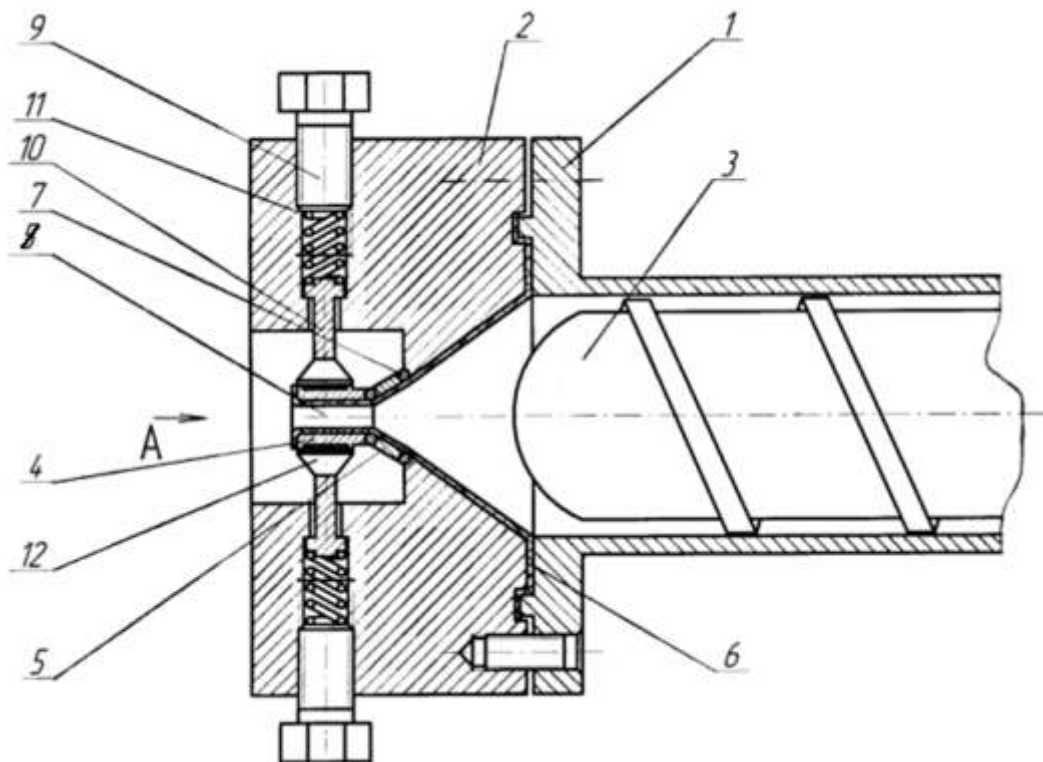


Рис. 1. Циліндрична екструзійна голівка з регульованим перерізом формуючого каналу:

1 – фланцеве з'єднання; 2 – корпус, з'єднаний з екструдером; 3 – циліндрична екструзійна голівка 4 – шарнірно закріплені формуючі пластини; 5



– проміжні пластини, 6 – прокладка; 7 – шарніри і пристрої регулювання тиску в передматричній зоні екструдера; 8 – формуючий циліндричний канал; 9 – болти; 10 – штоки; 11 – пружини; 12 – упори

Для надання правильної форми внутрішнього діаметру трубки з ряду способів калібрування труб був вибраний спосіб охолоджуючого калібруючого дорна.

Вибраний метод охолодження відформованої трубки – метод зрошувальних кілець. Даний метод має ряд переваг перед охолоджуючими ваннами:

- дозволяє охолодити труби різного діаметру;
- дає більш рівномірне охолодження плаву, що, у свою чергу, впливає на рівномірність структури по шарах полімеру і на коливання усадки;
- немає необхідності використовувати дорогу апаратуру для підтримки температури холодагента як у випадку охолоджуючих ванн.

Виконані ескізи формуючого та калібруючого інструменту, а також центруючого елемента.

Використання композиції на основі ПЕНТ-273 було визнано недоречним, в зв'язку з важкістю його формування та гігроскопічністю.

Рекомендовані режими екструдювання ПЕВТ 15803-020, виходячи з результату досліджень, складають 150-155°C в зонах екструдера, та 153-158°C в екструзійній головці. Швидкість формування трубки має складати 1,8 м/хв.

Далі, розрізані по необхідних розмірах трубки надходять на операцію формування днища трубки. Виготовлення днища здійснюється з гранульованого полімеру, необхідна кількість якого засипається в металевий стакан. Стакан нагрівається за допомогою електричного нагрівача пристрою. Регулювання температури здійснюється за допомогою лабораторного трансформатора.

Після приведення полімеру у в'язкий стан в стакан вставляється пластикова трубка, одягнена на спеціальний пуансон. Після витримки трубки не менш десяти секунд у такому положенні далі здійснюється пресування, після чого здійснюється охолодження стакану. Потім трубку з днищем знімають зі стакану та пуансону.

В імпортованих аналогах на даній стадії обмежуються вальцюванням одного з кінців трубки, з наступним розміщенням усередині вальцьованих крайок пластмасової пробки, виготовленої методом лиття під тиском.

Фіксує втулку (муфту) виготовляли із пластмасових трубок довжиною 8 см. Таку трубку одягають на спеціально виготовлену насадку. Далі трубку з насадкою опускають у гарячу воду для приведення трубки у еластичний стан і здійснюють виготовлення внутрішнього бортика на відстані 2,5 см від одного з кінців трубки. Після цього знімають трубку з насадки і розміщують біля зробленого бортика кружок з пластмаси. Далі роблять надрізи уздовж трубки для виготовлення гальмівних крилець.

Після виготовлення необхідних інструментів було напрацьовано невелику кількість трубок з поліетиленів високого і низького тиску.

Виготовлені дослідні зразки поліетиленових труб з внутрішнім діаметром 27 мм, товщиною стінки 1-1,5 мм, довжиною 450 мм зі стиковочними та фіксуєчими елементами. Технологія дозволяє виготовляти труби будь-якої необхідної довжини (зразки труб відображено на рис. 2). Крім того, стикувальні елементи дозволяють нарощувати труби для одержання потрібної довжини, а фіксуєчі елементи дозволяють фіксувати труби в необхідному місці шпуру в залежності від тріщинуватості гірничого масиву.

Випробування показали, що К-труби виготовлені з ПЕВТ 15803-020 методом екструзії являються дієздатними, надійно захищають заряд від вологого середовища, не порушають цілісності при транспортуванні, витримують попадання прямих сонячних променів.

Про повноту детонації зарядів в трубах судили по наявності воронки та відсутності залишків ВР на місці вибуху.



Усі патрони з ВР для зарядів типу К-труб детонували повністю:

- швидкість детонації 1,6 – 1,8 км/с,
- повнота детонації – повна;
- залишків поліетилену та зарядів не виявлено.

Рис. 2. Подовжені заряди К-труб

### Висновки

Розроблено полімерну композицію на базі ПЕВТ 15803-020 та метод екструзійного формування циліндричної основи К-труб для відбійки блочного каменю. Описано фізико-механічні характеристики полімерів, визначено технологічні режими їх переробки та підібрано і удосконалено циліндричну екструзійну головку. Розроблено фіксуєчі втулки для герметизації ВР та подовження заряду. Встановлено, що заряди К-труб на базі дослідно підібраної циліндричної оболонки, можуть використовуватись для якісної відбійки блочного каменю.

---

**Список використаних джерел**

1. Product catalogue/ Nitro Nobel, Gyttorp, S-713 82 Nora, Sweden. – 64 с.
2. Shidlovskij A.A. Pirotehnika v narodnom hozjajstve / A.A.Shidlovskij, A.I. Sidorov, N.A Silin.– М.: Mashinostroenie, 1978.- 312 s.
3. Zakusylo V. R. Doslidzhennia po rozrobtisi vybukhovykh zariadiv dlia vidkolu blochnoho kameniu ta tekhnolohii yikh vyrobnytstva // V. R.Zakusylo, A. A. Zheltonozhko, R. V. Zakusylo, L. V. Boyko, L. N. Uzzhyna, A. Z. Marharian. - Visnyk Kremenchutskoho derzhavnogo politekhnichnoho universytetu. – Kremenchuk: KDPU, 2005. – Vyp. 5/2005 (34). – S. 88-90.
4. GOST 16337-77. Polijetilen vysokogo davlenija tehnicheckie uslovija. – IPK, Izdatel'stvo standartov, Moskva. – 1979. – 35 s.
5. GOST 16338-85. Polijetilen nizkogo davlenija tehnicheckie uslovija. – IPK, Izdatel'stvo standartov, Moskva. – 1987. – 34 s.
6. Kataev V. M. Spravochnik po plasticheskim massam. Tom 1 / V.M. Kataev, V.A. Popov, B.I. Sazhin. – М. Himija, 1975. – 448 s.
7. Oborudovanie po pererabotke plastmass / [pod. red. V. K. Zavgorodnego]. – М. Mashinostroenie, 1976. – 407 s.
8. Tehnika pererabotki plastmass / [pod. red. N. I. Basova i V. Broja]. – М.: Himija, 1985. – 528 s.
9. Bortnikov V. G. Osnovy tehnologii pererabotki plasticheskikh mass / V. G. Bortnikov. – L.: Himija, 1983. – 304 s.
10. Korshak V. V. Tehnologija plasticheskikh mass / V. V. Korshak – М.: Himija, 1985. – 560 s.

*Стаття надійшла до редакції 27.12.2013 р.*

УДК 658.009.12: 622.271

**В. Г. Кравець, д. т. н., проф. (НТУУ «КПІ»), О. А. Темченко, к. т. н., доц. (ДВНЗ «Криворізький національний університет»)**

**ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ  
ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ВІДКРИТОЇ ГІРНИЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ**

---

**V. H. Kravets, dr. sc. (tech.), professor (NTUU «KPI»), O. A. Temchenko, cand. sc. (tech.), docent (SHEE «National University of Kryvyi Rih»)**

**PRIORITY DIRECTIONS OF ENSURE THE COMPETITIVENESS OF  
MINING ENTERPRISES IN THE APPLICATION OF OPEN CAST MINING  
TECHNOLOGY**