

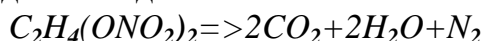
Лекция I

Обща характеристика на експлозивите

1. Експлозивни. Общи понятия

Експлозивите са индивидуални вещества или смеси, способни под влияние на външно въздействие (нагриване, триене, удар и т.н.) да предизвикат бърза, саморазпространяваща се химична реакция, съпроводена от отделяне на голямо количество енергия и образуване на газове. Разстоянието, на което се отмества фронтът на реакцията за единица време, се нарича скорост на взривно превръщане.

Експлозивите обикновено се състоят от въглерод, водород, азот и кислород. Когато те се разпадат, започва процес на окисление на горивните елементи на експлозивите (въглерод и водород), от окислителните елементи (кислород). В първоначалното вещество окислителните и горивните елементи обикновено са свързани посредством буферен елемент – азот, което осигурява устойчивост на молекулата в нормално състояние. Така всеки експлозив съдържа както горивни елементи, така и окислителни, което им позволява да се разпадат в самоподдържащ се режим съпроводен от отделяне на енергия при отсъствие на кислород във въздуха. Съотношението между броя атоми кислород, който се съдържа в експлозива, и броя атоми кислород, необходим за пълното окисление на горивните елементи на експлозива до техните висши оксиди, се нарича **кислороден баланс** (КБ). Например, взривното разпадане на етиленгликолдинитрата изглежда по следния начин:

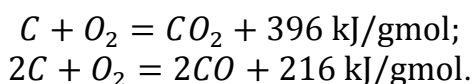


В зависимост от съдържанието на кислород експлозивите се делят на:

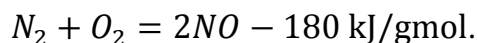
- експлозивни с нулев кислороден баланс са тези, при които кислородът е точно толкова, колкото е необходим за изгарянето на въглерода и водорода до висши оксиди (CO_2 и H_2O);
- експлозивни с отрицателен кислороден баланс са експлозивни – при които кислородът не достига за пълното окисление на горящите елементи;
- експлозивни с положителен кислороден баланс – при който наличният кислород е в повече от необходимото за окисление на горящите елементи до висши оксиди.

Общоизвестно разбиране е, че при взривяване на експлозивни с нулев кислороден баланс, взривната реакция протича най-пълно с максимално окисляване на въглерода и водорода, като се отделя възможно най-голямото количество топлина.

При взривяване на експлозивни с недостиг на кислород (отрицателен КБ), определена част от въглерода се окислява до въглероден монооксид (CO) вместо до въглероден диоксид (CO_2), при което се отделя значително по-малко количество топлина:



При взривяване на експлозивни с излишък на кислород се получават силно токсични азотни (нитрозни) оксиди, при което се поглъща топлина – реакцията е ендотермична:



Трябва да се отбележи, че това тълкуване по принцип е общоприето от различните автори с известни нюанси за протичане на взривната химична реакция.

Кислородният баланс на различните вещества може да се определи по формулата:

$$КБ = \frac{16(N-n)}{M} \cdot 100, \quad (1.1)$$

където: N е броят на кислородните атоми в една молекула от експлозив;

n – броят атоми кислород, необходими за окисление на горящите елементи в една молекула експлозив;

M – молекулната маса на веществото, g/mol;

16 – атомната маса на кислорода.

Л. В. Дубнов приема, че ако експлозивът съдържа въглерод, водород, алуминий, азот и кислород и се описва по формулата $C_aH_bAl_cN_dO_e$, то висшите оксиди са CO_2 и H_2O и кислородният баланс може да се представи във вида:

$$KB = \frac{[e - (2a + b/2 + 3/2c)]16}{12a + b + 27c + 14d + 16e} \cdot 100, \% \quad (1.2)$$

където: a, b, c, d, e са броят на атомите въглерод, водород, алуминий, азот и кислород;

$12, 1, 27, 14$ и 16 са атомните маси съответно на въглерода, водорода, алуминия, азота и кислорода.

Знаменателят в последният израз представлява молекулната маса на експлозива.

При определяне на съдържанието на кислород във взривните смеси се определя и кислородният коефициент α_k . Кислородният коефициент представлява съотношението на броя на атомите на кислорода e към броя на атомите на горимите елементи.

$$\alpha_k = \frac{e}{2a + b/2 + 3/2c} \quad (1.3)$$

Балансираните по съдържание на кислород експлозиви са тези, при които КБ е нула и кислородният коефициент α_k е 1.

Дубнов предлага кислородният баланс за взривните смеси да се определя по подобие на индивидуалните експлозиви. За целта се изчисляват количеството на всеки от химичните елементи, съдържащо се в един килограм взривна смес, като се изразяват в грам атоми, а след това КБ се определя по формулата:

$$KB = \frac{[e - (2a + b/2 + 3/2c)]}{1000} \cdot 100, \% \quad (1.4)$$

както и:

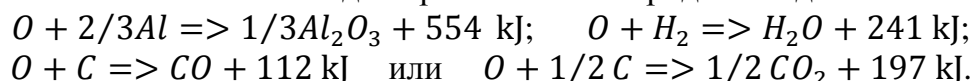
$$\alpha_k = e / (2a + b/2 + 3/2c). \quad (1.5)$$

В практиката на България и други страни в Европа кислородният баланс на взривните смеси се определя по формулата:

$$KB = K_1P + K_2P_2 + \dots + K_nP_n, \% \quad (1.6)$$

където: K_1, K_2, \dots, K_n е кислородният баланс на всеки един от компонентите на взривната смес, %; P_1, P_2, \dots, P_n – съдържанието на всеки компонент на взривната смес в част от единицата.

Според Дубнов, ако кислородният баланс е нулев или положителен, то максималната топлина Q_{max} се определя, като се изхожда от образуването на висшите оксиди на всички горящи елементи, съдържащи се в състава на експлозива. Ако кислородният баланс е отрицателен и кислородът не достига за образуването на висшите оксиди на всички елементи, то за определяне на максималния топлинен ефект Q_{max} трябва да се намерят тези реакции, които протичат с най-голямо отделяне на топлина в разчет на един атом кислород. Ако в състава на експлозива се съдържат горимите елементи въглерод, водород и алуминий, то топлинният ефект от възможните реакции при тяхното окисление към един грам атом кислород са следните:



На таблица 1.1 са дадени кислородният баланс и атомната/молекулната маса на някои химични съединения и елементи.

Таблица 1.1.

Кислороден баланс на някои химични съединения

Ингредиенти	Формула	Атомно или молекулно тегло	Кислороден баланс
Амониев нитрат	NH_4NO_3	80,00	+ 0,200
Натриев нитрат	NaNO_3	85,00	+0,471
Калиев нитрат	KNO_3	101,10	+0,386
Калциев нитрат	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	154,00	+0,488
Натриев нитрит	NaNO_2	69,00	+0,348
Натриев перхлорат	NaClO_4	122,50	+0,523
Амониев перхлорат	NH_4ClO_4	117,50	+0,340
Калиев перхлорат	KClO_4	138,50	+0,462
Калиев хлорат	KClO_3	122,55	+0,392
Калиев бихромат	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	430,35	+0,082
Хидрозониев нитрат	$\text{N}_2\text{H}_5\text{NO}_3$	95,00	+0,084
Метиламино нитрат	$\text{CH}_3\text{NH}_2\text{HNO}_3$	94,10	-0,340
Триметиламино нитрат	$\text{C}_3\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_3$	122,10	-1,040
Карбамид	$\text{CO}(\text{NH})_2$	60,00	-0,800
Натриев хлорат	Na_2ClO_3	60,00	+0,450
Амониев карбонат	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	96,10	-0,522
Амониев хлорид	NH_4Cl	53,49	-0,449
Вода	H_2O	18,02	0
Натриев хлорид	NaCl	58,44	0
Калиев хлорид	KCl	74,56	0
ДГ	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}$	224,00	-3,420
Восък	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$	254,50	-3,460
Минерално масло	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	170,50	-3,460
Микрокристален восък	$\text{C}_{35-50}\text{H}_{80-102}$	550,00÷570,00	-3,430
Асфалт	$\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	394,00	-2,760
Вазелин	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$	254,50	-3,460
Дървени въглища	C	-	-2,667
Каменни въглища	$\text{C}_{55}\text{H}_{34}\text{O}_6\text{S}$	822,82	-2,559
Графит	C	-	-0,727
Канифол	$\text{C}_{19}\text{H}_{39}\text{COOH}$	312,52	-2,970
Колоиден памук	$\text{C}_6\text{H}_7\text{N}_3\text{O}_{12}$	998,48	-0,369
Дървесно брашно	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$	362,16	-1,370
Целулоза	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$	162,06	-1,180
Хартия	-	-	-1,300
Керосин	-	-	-3,430
Минерални масла	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	170,13	-3,460
Парафин	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$	254,50	-3,460
Хексоген	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_6\text{N}_6$	222,00	-0,216
Етиленгликол	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$	62,00	-1,290
Пропандиол	$\text{C}_3\text{H}_6(\text{OH})_2$	76,09	-1,680
Тротил	$\text{C}_2\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$	227,00	-0,740
Нитробензол	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{NO}_2)_2$	168,11	-1,144
ТЕН	$\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$	316,15	-0,101
Нитроглицерин	$\text{C}_3\text{H}_6(\text{ONO}_2)_3$	228,11	+0,035
Нитрогликол	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2$	152,07	0

Октоген	$C_4H_8N_8O_8$	296,18	-0,216
Нитрогуанидин	$CH_2CN_4NHNO_2$	145,10	-0,346
Пикринова киселина	$C_6H_2(NO_2)_3OH$	213,11	-0,454
Тринитротолуол	$C_7H_5N_3O_6$	227,09	-0,740
Тетрил	$C_7H_5N_5O_8$	287,11	-0,474
Динитротолуол	$C_7H_8N_2O_4$	182,07	-1,142
Динитронафталин	$C_{10}H_6N_2O_4$	218,12	-1,393
Динитрогликол	$C_2H_4N_2O_6$	196,00	-0,408
Span – 80	$C_{24}H_{44}O_6$	428,00	-2,390
M – 201	$C_{23}H_{42}O_5$	398,00	-2,490
Натриев додекон сулфат	$C_{12}H_{25}SO_4Na$	288,00	-1,830
Натриев додекон сулфонат	$C_{12}H_{25}SO_3Na$	272,00	-2,000
Стеаринова киселина	$C_{18}H_{36}O$	284,47	-2,925
Калциев стеарат	$C_{36}H_{70}O_4Ca$	607,00	-2,740
Алуминий	Al	26,98	-0,889
Магнезий	Mg	24,31	-0,658
Желязо	Fe	55,85	-0,286
Силиций	Si	28,09	-1,139
Манган	Mn	54,94	-0,582
Сяра	S	32,06	-1,000
Карбоксиметил целулоза	$C_8H_8O_7$	216,08	-1,030
Гуар	$C_{10}H_{16}O_2$	278,21	-1,037
Акриламид	C_3H_5ON	71,00	-1,690

Посочените стойности на топлинните ефекти показват, че при недостиг на кислород в състава на експлозива за получаването на Q_{max} кислородът трябва последователно да се изразходва за окисляването на алуминия до Al_2O_3 , след това водородът до вода и въглеродът до въглероден монооксид. Останалото количество горящи елементи трябва да се отделят в свободен вид, т.е. във вид на молекули водород и твърд въглерод.

Въпреки това Дубнов твърди, че между елементите водород и въглерод, а така също и с образуващите се молекули азот, могат да протекат някои екзотермични реакции. По такъв начин например могат да се образуват някои въглеводороди или амоняк. При разчетите обаче обикновено тези екзотермични реакции се пренебрегват в предвид на това, че според него се образуват малки количества от тези вещества.

Съгласно принципа на Льо Шателие при свободното и неограничено разширяване на продуктите на взрива системата ще се стреми към равновесие, отговарящо на възможно най-големия обем, който могат да заемат газовете продукти на взрива. Това условие обаче невинаги е приемливо и трудно можем да си представим устойчиво съществуване в продуктите на взрива на свободен водород (H_2) или въглероден монооксид (CO) и свободен кислород (O_2), въпреки че лявата част на уравненията $2H_2+O_2=2H_2O$ и $2CO+O_2=2CO_2$ имат по-голям обем на газовете, отколкото дясната.

Съгласно условието за максималния обем на газовете по Льо Шателие при недостиг на кислород (отрицателен КБ) за пълното окисление на въглерода и водорода най-напред трябва да се окисли въглеродът до въглероден монооксид (CO), а след това останалият кислород да се разпредели по равно за окислението на CO до CO_2 и H_2 до H_2O . При достатъчен кислород (нулев или положителен КБ) трябва да се образуват продуктите на пълното окисление до висшите оксиди (въглероден диоксид CO_2 и водни пари H_2O).

Определянето на кислородния баланс и кислородния коефициент има важно значение за свойствата на новоразработваните експлозиви за граждански цели, за пълнотата на взривната химична реакция, както и за отделящите се в околната среда вредни газови емисии.

Показаните по-долу примери показват лекотата, с която се пресмята кислородният баланс на сложни експлозиви.

Пример 1:

Съставът на емулсионен експлозив е даден в таблица 1.2.

Да се пресметне неговият кислороден баланс.

Таблица 1.2.

Състав на емулсионен експлозив

Ингредиенти	Съдържание, %	Кислороден баланс, g/g
Амониев нитрат	69,7	+0,200
Натриев нитрат	10,0	+0,471
Вода	12,0	0
Емулгатор	1,0	-2,390
ДГ	1,5	-3,420
Восък	2,5	-3,470
Модификатор на плътността	0,3	-
Сяра	1,0	-1,000
Алуминий	2,0	-0,889

Замествайки значенията във формула (1.6), пресмятаме кислородния баланс:

$$\begin{aligned} \text{КБ} &= (+0,20) \cdot 0,697 + (+0,471) \cdot 0,10 + (-2,39) \cdot 0,01 + (-3,42) \cdot 0,015 + (-3,47) \cdot 0,025 + \\ &+ (-1,00) \cdot 0,010 + (-0,889) \cdot 0,020 = +0,1394 + 0,0471 - 0,0239 - 0,0868 - 0,01 - 0,0178 = \\ &= -0,0033 \text{ g/g или } -0,33\%. \end{aligned}$$

Пример 2:

В таблица 1.3 е даден състав, описан в патент на САЩ № 4149917. Да се определи кислородният баланс на експлозива.

Таблица 1.3.

Кислороден баланс на ingredientите на състав на ЕЕ на American Athos Powder Co.

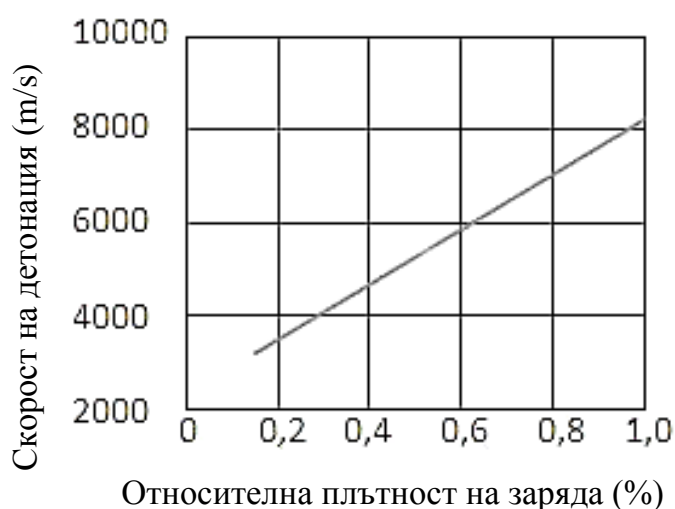
Ингредиенти	Съдържание	Кислороден баланс, g/g
Амониев нитрат	60,0	+0,200
Натриев нитрат	19,0	+0,471
Вода	15,0	0
Масло	0,5	-3,420
Восък	4,5	-3,460
Емулгатор	1,0	-2,390

Замествайки дадените в таблицата стойности във формулата за изчисляване на кислородния баланс на взривни смеси, ще получим:

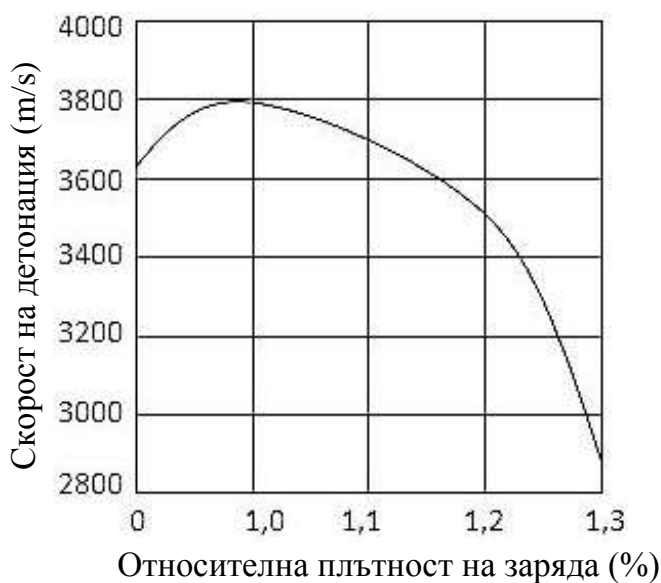
$$\begin{aligned} \text{КБ} &= (+0,20) \cdot 0,60 + (+0,471) \cdot 0,19 + (-3,42) \cdot 0,005 + (-3,46) \cdot 0,045 + (-2,39) \cdot 0,01 = \\ &= +0,2095 + (-0,1967) = +0,0128 \text{ g/g или } +1,28\% \end{aligned}$$

Протичането на устойчива детонация се определя най-вече от ефективността на процесите на активиране на химичния процес в момента, в който отделяща се енергия се предава на най-близко разположените до фронта на детонационната вълна слоеве на още неразпадналия се експлозив. Ако тази ефективност е прекалено малка, то фронтът на детонация ще се движи напред с намаляваща скорост и най-накрая ще премине в звукова вълна.

При еднородни мощни експлозиви скоростта на детонация нараства с увеличаване на плътността им обикновено до максимално възможната скорост (фиг. 1.1). При смесени амониево-селитрени експлозиви или слаби индивидуални (динитротолуол и др.) характерът на тази промяна е друг: увеличаването на плътността от насипна до определени по-високи стойности води до нарастване на скоростта на детонация, но при по-нататъшно увеличаване на плътността, скоростта на детонация започва да пада и процесът може съвсем да спре (фиг. 1.2).



Фигура 1.1. Зависимост на скоростта на детонация от плътността на мощни индивидуални експлозиви.



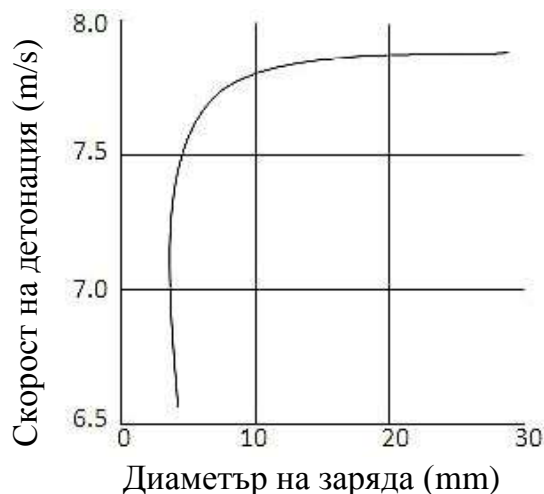
Фигура 1.2. Скорост на детонация на амонал 80/20 (80% амониева селитра, 20% алуминий) в заряди с диаметър 110 mm в зависимост от плътността.

При увеличаване на диаметъра на заряда точката на прегъване на кривите, показващи зависимостта на скоростта на детонация от плътността на експлозива, може да се измести към по-голяма плътност.

Тази разлика се обяснява с различни механизми на развитие на процеса на детонация. Счита се, че при мощни индивидуални експлозиви фронтът на детонационната вълна е хомогенен; силната ударна вълна се разпространява в заряда, притиска намиращите се по-напред слоеве на експлозива, предизвиквайки тяхното нагряване и понататъшни химични превръщания. Такъв механизъм на възбуждане на детонация се нарича хомогенен. Според разчети достатъчно за възбуждане на реакция нагряване на слоя експлозив може да се случи при скорост на детонация $6000 \div 8000$ m/s. Хомогенният процес е характерен за експлозиви, имащи висока степен на еднородност.

При по-малки скорости на детонация повишаването на температурата за сметка на притискане на плътния еднороден слой на експлозива е незначително и не може само по себе си да стане причина за възникване на химично превръщане. Възбуждането на устойчив процес на детонация при по-малки скорости на детонация е по-вероятно да стане не по механизма на хомогенното загряване, а чрез загряване на **отделни участъци** в разреза на заряда експлозив, в които се концентрира енергията на ударната вълна. Тези локални участници могат да се бъдат балончета газ, които се нагряват при повишаване на налягането до много висока температура, а също така различни видове включения, предизвикващи неравномерност на движение на масата, вътрешното триене и вследствие на това силно местно нагряване. Този механизъм присъства в по-малка степен и в случай на хомогенен процес. Също така следва да се отбележи, че тъй като експлозивът не се превръща мигновено в продукти на взрива, то в свитите продукти на взривното превръщане в детонационната вълна винаги има частици на още невстъпилия в реакция експлозив или компоненти, които доизгаряйки, в продължение на определено време подхранват със своята енергия ударната вълна. Когато обаче горенето на частици, които попадат във вълната на разреждане, се забавя и тяхната енергия за ударната вълна става безполезна, възникват т. нар. **химични загуби**.

При инициране на детонация в цилиндрични заряди чрез стандартен импулс се оказва, че за всеки експлозив в зависимост от условията на опаковане съществува т. нар. **стабилен диаметър на заряда**. С намаляване на диаметъра на заряда по-ниско от стабилния, се увеличават загубите от енергията на взрива в околната среда и скоростта на детонация намалява, така че при диаметър по-малък от т. нар. **критичен** не протича процес на устойчива детонация (виж фиг. 1.3).



Фигура 1.3. Зависимост на скоростта на детонация от диаметъра на заряда за композиция „В“ (60/40, Хексоген/тротил).

Инициращите експлозиви (ИЕ), които се характеризират с висока скорост на протичане на химичната реакция, детонират в заряди с диаметър по-голям от $0,01 \div 0,10$ mm. За някои грубодисперсни промишлени експлозиви (например амониева селитра или АНФО) критичният диаметър може да достигне няколко десетки сантиметра. Критичният диаметър се явява характеристика, която непосредствено определя детонационната способност на експлозива и почти винаги е правопропорционална на дебелината на зоната на реакция за всеки конкретен експлозив.

Критичният диаметър за всеки експлозив може да варира в доста широки граници и зависи най-вече от:

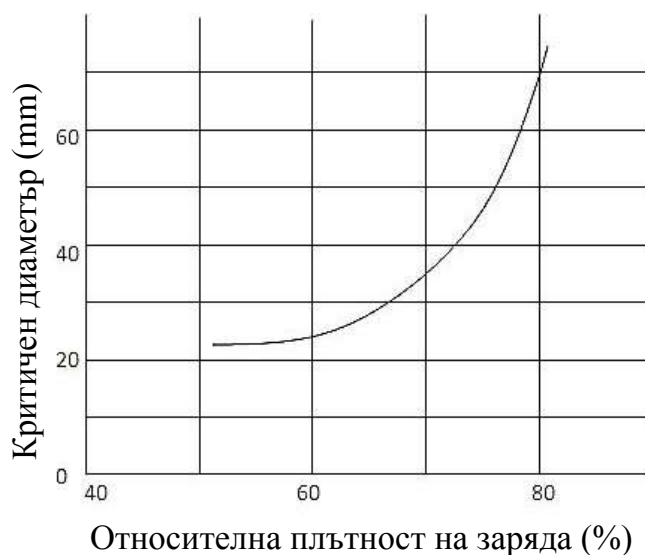
1. Страничното отвеждане на газове, т.е. от вида обвивка, в която е поместен заряда – масивната обвивка намалява загубите в околната среда и по този начин способства за поддържане на детонационната вълна. Например, критичният диаметър на АНФО в хартиена обвивка е $60 \div 70$ mm, а в стоманена обвивка – $25 \div 30$ mm.

2. Плътноста и непрекъснатостта на експлозива. За прахообразни индивидуални експлозиви (тротил, хексоген) критичният диаметър на детонация е толкова по-малък, колкото по-голяма е плътността експлозива. Критичният диаметър на слабочувствителни и маломощни експлозиви (амониева селитра, динитротолуол и др.) за разлика от мощните индивидуални експлозиви не намалява, а напротив – расте с увеличаване на плътността (фиг. 1.4). При взривяване на амониевоселитрени експлозиви със значително съдържание на индивидуален бризантен експлозив (например аматол 50/50) се наблюдава „преходна“ зависимост на критичния диаметър от плътността: в областта на малки плътности – характерна за маломощни експлозиви, а при големи плътности (за дадения аматол $\rho > 1,2 \text{ g/cm}^3$) – характерна за обичайни индивидуални експлозиви (фиг. 1.5). Това означава, че енергията на превръщане на втория компонент – тротил или някакъв друг мощен експлозив, когато съдържанието му в сместа е голямо, е **достатъчна** за осигуряване на детонация при по-нататъшно уплътняване на експлозива без енергийното подхранване на вторични реакции. В непрекъснати експлозиви (пластични експлозиви, ляти смеси и др.) относителното увеличаване скоростта на детонация от критична до максимална при промяна в диаметъра е незначително в сравнение с прахообразните или порестите експлозиви.

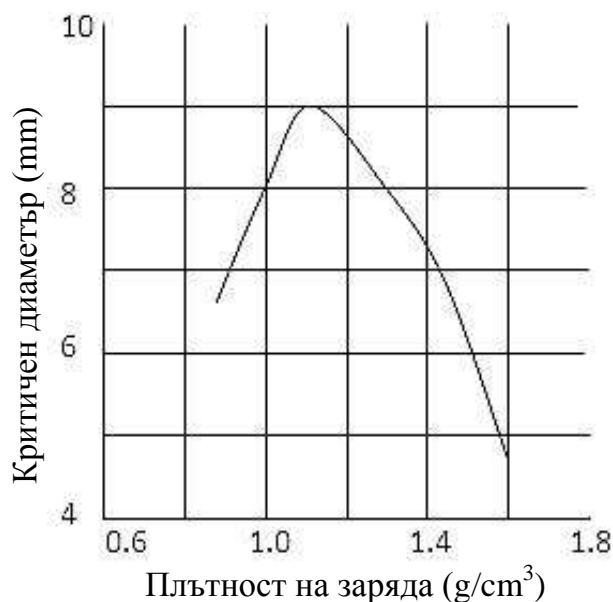
3. Средния размер на зърната на експлозива. С увеличаване на размера на частиците на експлозивите критичният диаметър на детонация нараства. Така за тротил с големина на частиците $0,06$ mm критичният диаметър на детонация се равнява на 9 mm, а при големина на частиците $0,5$ mm той е 28 mm (фиг. 1.6).

4. Температурата на експлозива. С увеличаване на температурата критичният диаметър намалява.

Детонацията на **течните експлозиви** преминава по различен начин в сравнение с твърдите: при искрово инициране възниква бавно горене, което след известно време (стотни от секундата) преминава в нормална скорост на процеса. За нитроглицерина и неговите анализи съществуват две стационарни скорости на детонация. Високата скорост (до 8000 m/s) съответства на теоретичната хидродинамична скорост, а ниската скорост на детонация, равна примерно на 2000 m/s , малко превишава скоростта на звука в тези вещества. Слабото първично инициране винаги възбужда детонация от по-нисък порядък, която в благоприятни условия преминава във високоскоростна, а обратен преход не се наблюдава. Освен това мощността на взрива на течните експлозиви от типа на нитроглицерина винаги в по-голяма степен зависи от силата на инициатора и вида на обвивката, отколкото при обичайните твърди експлозиви. Някои твърди експлозиви също могат да имат две скорости на детонация, например хидрозинов нитрат, но за тях това е по-малко характерно.



Фигура 1.4. Зависимост на критичния диаметър от плътността за амониев перхлорат (АПХ).

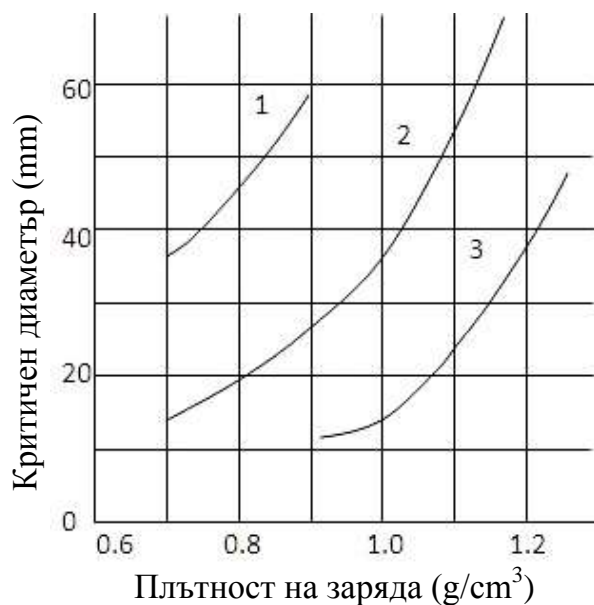


Фигура 1.5. Зависимост на критичния диаметър от плътността на сместа амониева селитра/тротил (Аматол 50/50).

Експлозивите могат да бъдат индивидуални химични съединения (например тротил, тринитробензол и др.), но най-често се използват смеси на различни вещества. Това позволява да се постигнат необходимите експлоатационни характеристики; технологичност, безопасност на изготвяне и съхраняване, икономическа целесъобразност и т.н. Например, най-често използваният експлозив за снарядяване на боеприпаси във военно време не е чист тротил, а негови смеси с амониева селитра (аматоли). В качеството на компоненти за смесени експлозиви могат да се използват както взривни, така и невзривни съединения.

Голямо разпространение получиха смесени експлозиви от типа окислител – гориво. В качеството на окислител обикновено се използват неорганични соли, способни при разлагане да отделят кислород (нитрати, по-рядко – перхлорати), като гориво – високоенергетични органични съединения (продукти на нефтопреработка, отпадъци от целулозната и зърнената промишленост, ситнодисперсни прахове на метали

и т.н.) или индивидуални експлозиви, отделящи при разлагане горящи газове CO , CH_4 , H_2 и сажди (тротил, динитронафталин).



Фигура 1.6. Зависимост на критичния диаметър от плътността за сместа амониева селитра/торф (Динамон Т): 1 – грубодисперсна селитра, 2 – селитра със средна дисперсност, 3 – ситнодисперсна селитра.

Таблица 1.4.

Критичен диаметър на детонация, mm, при плътност $1 g/cm^3$.
Размерът на частиците е от порядъка на 0,18 mm.

Експлозив	В стъклена тръба	В хартиена обвивка
Оловен азид	0,01÷0,02	-
ТЕН	1,00÷1,50	-
Хексоген	1,00÷1,50	4
Тетрил	-	7
Тротил	8,00÷10,00	11
Амонит 6	10,00÷12,00	12

Таблица 1.5.

Критичен диаметър на детонация при различни плътности

Експлозив	Плътност ρ , g/cm^3	Критичен диаметър D, mm
Тротил (пресован)	1,56	3,5
Тротил (лят)	1,56	30,0
Тетрил	1,70	3,5
ТЕН	1,61	0,3
ТЕН (флегматизиран)	1,60	1,5
Хексоген (флегматизиран)	1,63	4,0
Октоген (флегматизиран)	1,74	4,0
ТХ - 40 (лят)	1,69	7,0

Въвеждането на неорганични окислители позволява няколко пъти да се намали стойността на експлозива и в повечето случаи да се повиши фугасното действие (бризантността в този случай намалява, тъй като намалява скоростта на детонация).

Съставът на сместа обикновено се определя по такъв начин, че да се получи кислороден баланс близък до нула, и се отнася особено за експлозивите за граждански цели. Подобни смеси като например амониево-селитрените експлозиви (АСЕ) обикновено имат някои недостатъци: при отсъствие в сместа (или малко съдържание) на индивидуален експлозив и при силно уплътняване (на практика повече от $1,4 \text{ g/cm}^3$) те губят способността си да детонират. Това се случва, и поради това че в смесените експлозиви, например в амонитите, превръщането на компонентите не протича с еднаква скорост. По-активните компоненти могат да се превършат в газообразни продукти по-бързо от другите. Налягането влияе на скоростта на химичното превръщане на компонентите по различен начин, затова при промяна на плътността на експлозива химичното превръщане на компонентите и взаимодействието на продуктите на превръщане могат да се изместят във времето и това да предизвика ръст на химичните загуби и понижаване на параметрите на детонационната вълна. При значително уплътняване амониевата селитра в състава на АСЕ тя може да се прояви като инертно вещество в детонационната вълна и, поглъщайки енергия, да направи сместа неспособна да детонира.

Освен това много от прахообразните АСЕ притежават висока хигроскопичност, склонни са към спичане и следователно към увеличаване на плътността. В резултат на това при овлажняване дори с 1% способността им към детонация намалява няколко пъти. За подобряване на детонационната способност в тези смеси се въвеждат сенсibiliзатори – бризантните експлозиви: ТЕН, хексоген и т.н., или се прилагат различни методи за намаляване на плътността на експлозива (добавяне на разрихлители), както и оситняване на компонентите и осигуряване по-добър контакт между горивото и окислителя (например, чрез добавяне повърхностно активни вещества или емулгиране).

Ако в качеството на гориво се използват метални прахове (например алуминий), то окислителите могат да бъдат не само съединения с активен кислород, но и съединения със свързан кислород, способни в тези условия да встъпят в екзотермична реакция с метала. При това алуминият се окислява до Al_2O_3 , водородът почти напълно се възстановява, а CO_2 преминава в CO . Затова на практика понякога се използват смеси на индивидуални експлозиви с метали, в които експлозивите се явяват окислител по отношение на метала, например, алумотол (тритонал). За разлика от индивидуалните експлозиви взривното разлагане на АСЕ, съдържащи невзривни компоненти, протича на два етапа: първо детонира основният експлозив, след това с продуктите на взрива реагира металният напълнител (компонент), увеличавайки енергията на взрива и следователно повишавайки фугасното действие. Това, обаче, е напълно вярно само за плътните експлозиви с едър или пасивиран чрез свързване алуминий. В някои промишлени смесени експлозиви алуминият, напротив, реагира на детонационния фронт и благодарение на отделящата се енергия поддържа детонационната вълна.

От смесените експлозиви в боеприпаси се използват предимно удобни за производство и употреба ляти смеси и сплави на основата на тротила (съдържание – повече от 20%) с различни вещества (амониева селитра, хексоген, ТЕН, динитронафталин и т.н.). От такива експлозиви се правят отливки с необходимата форма, например, шашки-детонатори. При взривяване на смеси от индивидуални експлозиви се счита, че всеки от компонентите се разлага поотделно с отделяне на съответното количество топлина, а общият топлинен ефект се събира. Някои доста чувствителни, мощни бризантни експлозиви често се използват с добавка от 4÷8% флегматизатор.

Флегматизаторите са различни вещества, които се добавят за понижаване на чувствителността на експлозива, увеличаване водоустойчивостта, подобряване пресуемостта и пластичността. За тези цели се използват парафин, церезин, вазелин, восък и различни полимери.

За провеждане на взривни работи понякога се използват смесени експлозиви на основата на течен кислород (оксиликвити), течни и сгъстени нитроефири и нитропарафини (динамити, солвенити и т.н.), соли на хидразин (астралити) и т.н.

Обособена група промишлени експлозиви са предохранителните (антигризутните) експлозиви, предназначени за извършване на взривни работи в мини, опасни по газ и прах. Подобни експлозиви са сходни по състав с амонитите, но съдържат **пламегасители** – хлориди на натрий и калий в количество 12÷70% (обикновено 20÷25%). Пламегасителите разреждат взривната смес, поглъщат част от топлината и възпрепятстват възпламеняване на метановъздушната смес или въглищния прах. Пламегасителите или предварително се добавят към сместа във вид на прах, или той се образува по време на взрива в активно ситнодисперсно състояние в резултат на реакция, например, между калиев нитрат и амониев хлорид. Топлината на взрива на предохранителните ЕПЦ е 2,1÷3,8 MJ/kg, скоростта на детонация е около 2500 m/s и повече.

2. Класификация на експлозивите

В днешно време са известни голямо количество експлозиви. Експлозивите се класифицират по редица признаци, по-важни от които са по състав, свойства, физично състояние и др. По своя състав те се разделят на индивидуални експлозиви и състави на тяхна основа.

Към индивидуалните експлозиви се отнасят химични съединения, в които при външни въздействия протича разрушаване на химичните връзки в молекулите с последваща рекомбинация на атомите в крайни продукти на взрива, в резултат на което горящите елементи се съединяват с окислителите. Образуването на продукти на взрива в този случай може да се разглежда като вътрешно молекулно окисление. Индивидуалните експлозиви са предимно органични съединения, съдържащи една или повече групи NO_2 , най-често нитроестери и нитросъединения. От нитроестерите най-голяма популярност имат: нитроглицерин или глицеринтринитрат $C_3H_5(ONO_2)_3$; нитроцелулоза $[C_6H_7O_2(OH)_{3-n}(ONO_2)_n]_x$; пентаеритриттетранитрат или ТЕН $C[CH_2ONO_2]_4$. Най-често използваните представители на нитросъединенията са: тринитротолуол (ТНТ, тротил) $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$; пикринова киселина $C_6H_2(NO_2)_3OH$; тринитробензол (ТНБ) $C_6H_3(NO_2)_3$; циклотриметилентринитрамин или хексоген $(CH_2NNO_2)_3$; циклотетраметилентетранитрамин или октоген $(CH_2NNO_2)_4$. Към индивидуалните експлозиви се отнасят също солите на азотната, хлорната и гърмящата киселина например, амониевата селитра NH_4NO_3 , калиевият перхлорат $KClO_4$, гърмящият живак $Hg(ONC)_2$. Съществуват също индивидуални експлозиви, разпадащи се при взрив на елементи със съответното отделяне на топлина без окисление, например оловен азид $Pb(N_3)_2$.

Взривните състави представляват композиции, състоящи се от поне две химично несвързани по между си вещества. Обикновено единият от компонентите е богат на кислород, а във втория или кислородът е недостатъчен за вътрешно молекулно окисление, или въобще отсъства (въгледороди, метали – алуминий, магнезий). Често към индивидуалните експлозиви се добавят компоненти в това число и взривни не само за изменение на тяхното действие, но и за придаване на специални качества, например голяма здравина и пластичност. Взривните смеси се състоят от следните групи взривни

и невзривни компоненти: сенсibiliзатори; окислителни и кислородоносители; горящи добавки; пламегасители.

От гледна точка на използването на експлозивите тяхната класификация е целесъобразно да се прави по областите на използване. Класификацията се извършва въз основа на следните три признака:

- чувствителност към външни въздействия, водещи до появата на определена форма на взривно превръщане;
- характерно, относително леко възбуждане и устойчиво взривно превръщане;
- най-добре изразен вид на действие на взрива.

В съответствие с тези признаци експлозивите се разделят на четири групи:

I група – инициращи или първични експлозиви;

II група – бризантни или вторични експлозиви;

III група – метателни експлозиви (барути, твърди ракетни горива);

IV група – пиротехнически състави.

Всяка една от тези групи подробно са разгледани в дисциплината „Взривна техника и технологии“.