

Chemia materiałów wybuchowych

Materiały do wykładów z chemii dla górników

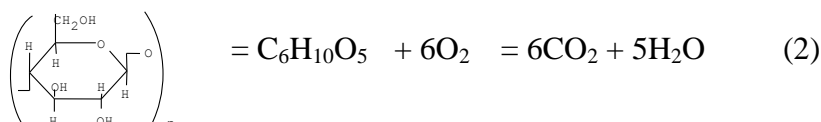
Jan Drzymała

Wprowadzenie

Według mitów greckich ludzkość otrzymała ogień od Prometeusza u zarania dziejów człowieka. Źródła kopalne wskazują, że rzeczywiście ogień i spalanie substancji towarzyszy człowiekowi od tysięcy lat. Do wytwarzania ognia służą paliwa naturalne (drewno, węgiel, ropa naftowa, tłuszcze i inne substancje palne), a do ich spalania niezbędny jest tlen z powietrza. Reakcja całkowitego spalania pierwiastka węgla, który jest głównym składnikiem węgla kamiennych, zachodzi według reakcji:

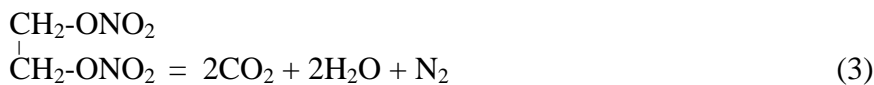


a spalanie drewna, którego głównym składnikiem, obok ligniny jest celuloza, można dla jednego segmentu cząsteczki celulozy, zapisać równaniem:



Spalanie wykorzystywano do ogrzewania, przyrządzania posiłków, do celów rolniczych, a także rzemieślniczych. Dalszy postęp w wykorzystaniu spalania na użytek człowieka nastąpił z chwilą odkrycia, kilkaset lat przed naszą erą w Chinach, że spalanie niektórych mieszanin może zachodzić bez obecności tlenu z powietrza lub z małym dostępem tlenu z powietrza pod warunkiem, że mieszanina ta posiada w sobie odpowiednią ilość tlenu. Zaobserwowano, że spalanie to może zachodzić bardzo szybko a nawet wybuchowo. Pierwszy materiał wybuchowy to czarny proch, czyli mieszanina 75% saletry potasowej, 15% węgla drzewnego i 10% siarki (Smoleński i Heger, 1964). Proch czarny pojawił się w Europie zachodniej w XIV i był używany np. w bitwie pod Grunwaldem w 1410 roku. Proch czarny był jedynym materiałem wybuchowym do połowy XIX wieku, kiedy rozwój nauki pozwolił na odkrycie wielu, znacznie silniejszych od prochu, materiałów wybuchowych, które zaczęto stosować do broni palnej i do prac górniczych. Najpierw pojawił się azotan(V) celulozy (substancja potocznie nazywana nitrocelulozą), potem trójazotan(V) glicerolu (potocznie nitrogliceryna) i dynamit. Na początku XX wieku zaczęto stosować trotyl. Są to substancje wybuchowe innego rodzaju niż proch czarny, gdyż same w sobie zawierają tlen potrzebny do spalania, a wybuch jest powodowany

reorganizacją atomów w cząsteczce materiału wybuchowego. Reorganizacja atomów w cząsteczce diazotanu(V) glikolu etylenowego (potocznie nitroglikolu) zachodzi według reakcji:



podczas gdy wybuch prochu czarnego może zachodzić w wyniku reakcji spalania substancji palnej (S oraz C) za pomocą utleniacza (KNO_3) mniej więcej według reakcji:



Działanie materiałów wybuchowych, zarówno tych opartych na spalaniu jak i tych opartych na reorganizacji cząsteczki polega na reakcji chemicznej zapoczątkowanej bodźcem zewnętrznym prowadzącej do gwałtownego powstawania dużej ilości gazów i energii, które mają zdolność do gwałtownego rozprzestrzeniania się.

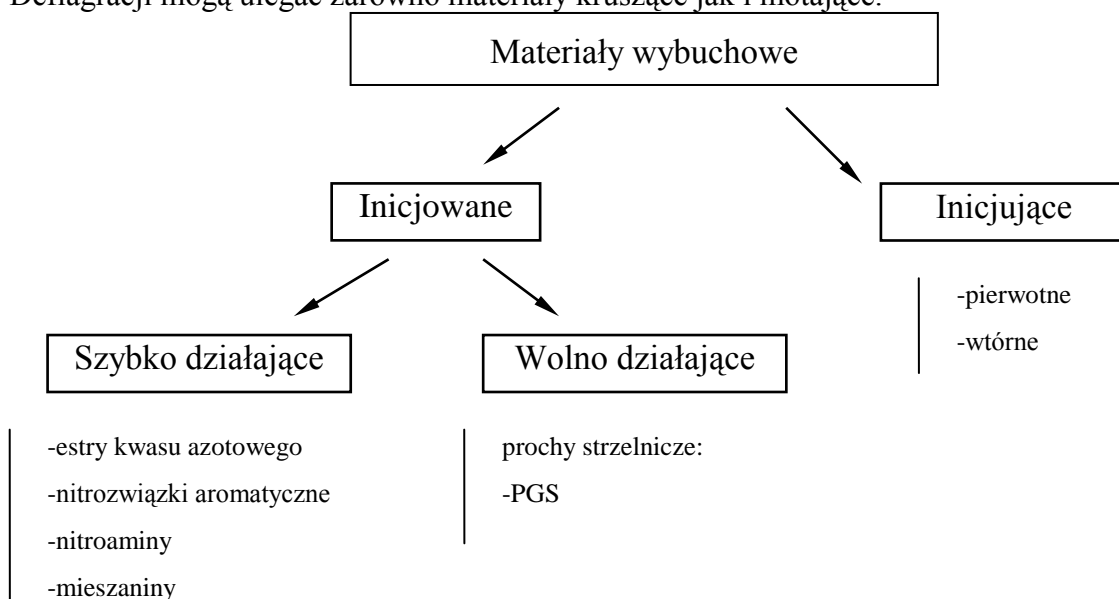
Dalszy rozwój materiałów wybuchowych dokonywał się dzięki eksperymentom nad nowymi rodzajami broni i odpalaniem rakiet, a w połowie XX wieku pojawiła się broń atomowa i termojądrowa. Wybuch jądrowy ma inny charakter niż wybuch klasycznych materiałów wybuchowych, gdyż polega on na wyzwoleniu olbrzymiej energii podczas łańcuchowej reakcji rozszczepiania jąder ciężkich pierwiastków lub reakcji termojądrowej polegającej na syntezie lekkich jąder pierwiastków. Wyzwolona energia powoduje burzący podmuch otaczających gazów (powietrza) oraz gazów powstałych w wyniku odparowania otaczających wybuch substancji, który posiada olbrzymią siłę niszczącą. Obecnie klasyczne (nie jądrowe) materiały wybuchowe są wykorzystywane jako paliwa raketowe, substancje pirotechniczne oraz materiały kruszące i miotające.

Materiały wybuchowych w górnictwie

Materiałami wybuchowymi nazywamy indywidualia chemiczne lub mieszaniny, które pod wpływem energii bodźców zewnętrznych tj. mechanicznych, cieplnych, elektrycznych lub wybuchowych ulegają reakcji chemicznej przebiegającej samorzutnie i szybko z wydzieleniem dużej ilości ciepła i gazów. Wybuch jest gwałtowną zmianą stanu równowagi układu prowadzącą do pracy mechanicznej. Wybuch składa się z dwóch etapów. Pierwszy, to zamiana energii chemicznej na energię substancji silnie sprężonej. Drugi to rozszerzanie sprężonej substancji prowadzące do niszczenia otoczenia. Wybuchowi towarzyszy fala detonacyjna powodująca wstrząsy i huk.

Wyróżnia się następujące rodzaje wybuchu: detonacja, wybuch zwykły i deflagrację. *Detonacja* polega na rozkładzie cząsteczek materiału wybuchowego z prędkością od 1000 do 8500 (a nawet więcej, Cooper, 1996) m/s, który prowadzi do krótkotrwałych, ale silnych ciśnień gazów, które rozprężając się kruszą otaczające środowisko. Materiały detonujące nazywamy *kruszącymi*. Detonacje

poznaje się po obecności fali detonacyjnej (drżania powietrza i ziemi) i silnym huku. *Wybuch zwykły* polega na szybkim spalaniu się substancji palnej mieszaniny wybuchowej z udziałem tlenu zawartego w innym składniku materiału wybuchowego. Wybuch zwykły zachodzi z prędkością od 400 do 1000 m/s. Podczas wybuchu zwykłego rozprężania gazów jest wolniejsze niż przy detonacji. Materiały które ulegają wybuchowi zwykłemu nazywa się *motającymi*. Wybuchowi zwykłemu towarzyszy huk. *Deflagracja* polega na nierównomiernym i raczej powolnym niejednorodnym zachodzeniu reakcji potencjalnie wybuchowej, która zachodzi z prędkością od kilku do kilkudziesięciu m/s. Deflagrację można porównać do bardzo szybkiego palenia się. Deflagracji może towarzyszyć gwizd lub syk. Deflagracji mogą ulegać zarówno materiały kruszące jak i motające.



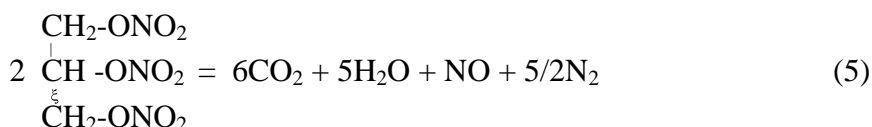
Rys. 1. Podział materiałów wybuchowych stosowanych w górnictwie (Sztuk i współ., 1980)

Inną cechą materiałów wybuchowych, obok szybkości rozkładu jest wrażliwość. *Wrażliwość* materiału wybuchowego to podatność na działanie bodźców zewnętrznych, które inicjują wybuch. Bodźce zewnętrzne to energia cieplna (ogrzanie, iskra lontu prochowego, płomień), energia wybuchu (z innego materiału wybuchowego lub lontu detonacyjnego), oraz energia mechaniczna (uderzenie, ukłucie lub tarcie). Materiały wybuchowe stosowane w górnictwie można podzielić na inicjowane i inicjujące, a inicjowane na szybko i wolno działające (rys.1). Materiały *inicjowane szybko działające* powinny być mało wrażliwe na impulsy mechaniczne cieplne i elektryczne lecz ulegać wybuchowi pod wpływem materiału *inicjującego*. Materiał wybuchowy *inicjujący* powinien odznaczać się dużą wrażliwością na wszystkie bodźce zewnętrzne. Materiały inicjowane wolno działające powinny być wrażliwe na płomień, a mało na czynniki mechaniczne, cieplne oraz uderzenie fali detonacyjnej.

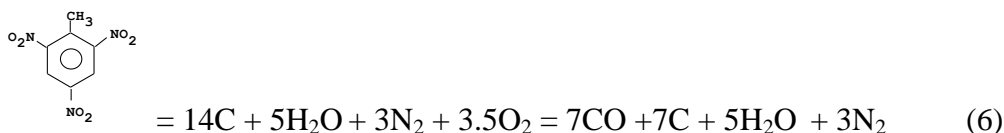
Chemia wybuchu

Reakcje zachodzące w materiałach wybuchowych szybko działających polegają na rozpadzie struktury cząsteczkowej z utworzeniem nowych prostych atomów i cząsteczek. W wyniku wybuchu powstają takie związki jak C, CO, CO₂, H₂O, NO, NO₂, oraz N₂. Rodzaj produktów reakcji zależy od ilości tlenu dostępnego w detonującej substancji. Tlenu może być tyle ile trzeba do całkowitego związania węgla do CO₂ i wodoru do H₂O, albo więcej lub mniej. Ilość tlenu w materiale wybuchowym opisuje *bilans tlenowy* (Śliwa, 1977). Bilans tlenowy może być dodatni, ujemny oraz zerowy. Materiał ma dodatni bilans tlenowy, gdy ilość w nim tlenu jest większa niż to jest wymagane do całkowitego związania węgla w CO₂ i wodoru w H₂O. Ta nadmiarowa ilość tlenu reaguje z azotem dając trujące tlenki azotu, co może być wadą materiału wybuchowego.

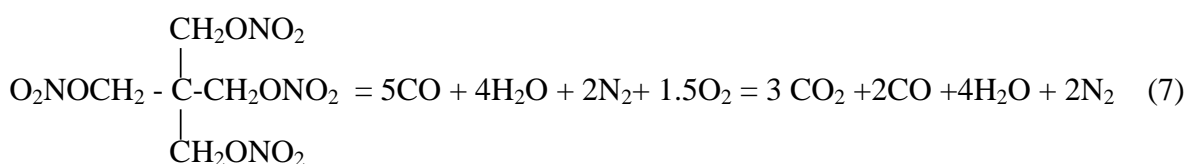
Typowym przykładem materiału wybuchowego o dodatnim bilansie tlenowym jest triazotan(V) glicerolu. Jego detonacja zachodzi według reakcji:



Reakcje wybuchowe materiału o ujemnym bilansie tlenowym prowadzą do powstawania produktów stałych i/lub trującego CO. Tlen całkowicie wiąże wodór do wody, ale jest go za mało, aby związać węgiel w CO₂, dlatego oprócz CO₂ powstaje CO, a nawet węgiel pierwiastkowy. Przykładową substancją o silnie ujemnym bilansie tlenowym jest trójnitrotoluen (trotyl):

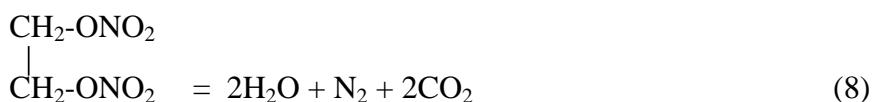


Przykładem substancji o lekko ujemnym bilansie tlenowym jest pentryt. Jego detonacja zachodzi według reakcji:



Jak widać z powyższej reakcji rozpad wybuchowy materiału o lekko ujemnym bilansie tlenowym prowadzi do powstawanie trującego tlenku węgla, ale nie powstaje węgiel pierwiastkowy.

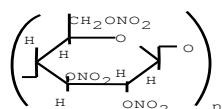
Trzecia grupa materiałów wybuchowych ma zerowy bilans tlenowy. Jest on bardzo korzystny, gdyż przy wybuchu nie wydzielają się substancje trujące, a także energia wybuchu jest największa. Zerowy bilans tlenowy wybuch ma diazotan(V) glikolu etyloвого:



Materiały wybuchowe szybko działające

W materiałach wybuchowych kruszących, jak już podano poprzednio, prędkość rozchodzenia się fali detonacyjnej powodującej rozpad struktury chemicznej materiału jest większa niż 1000 m/s. Tak szybki wybuch powoduje kruszenie otaczającego środowiska. Pod względem chemicznym materiały wybuchowe szybko działające to związki na bazie estrów kwasu azotowego, nitrozwiązków aromatycznych, nitroamin oraz mieszanin tych związków z innymi materiałami. Wszystkie materiały kruszące stosowane do prac podziemnych muszą mieć zerowy lub dodatni bilans tlenowy, aby nie powstawał trujący tlenek węgla.

W estrach kwasu azotowego (HNO_3) grupa nitrowa $-\text{NO}_2$ tworzy ugrupowanie $-\text{C}-\text{O}-\text{NO}_2$. Estry kwasu azotowego mogą powstawać w reakcji z węglowodanami lub alkoholami wielowodorotlenowymi. Do estrów z węglowodanami zaliczamy azotan(V) celulozy (potocznie nitroceluloza) o wzorze:



czyli teoretycznym wzorze ogólnym $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{ONO}_2)_3]_x$. Jest to biała włóknista substancja nierozpuszczalna w wodzie a rozpuszczalna w rozpuszczalnikach organicznych. Ma zdolność do tworzenia roztworów koloidalnych. Maksymalna teoretyczna zawartość azotu w azotanie(V) celulozy wynosi 14.14 %, a praktyczna jest zawsze mniejsza, co oznacza, że stopień znitrowania jest mniejszy niż teoretyczny. Suchy azotan(V) celulozy o zawartości azotu powyżej 10% ma właściwości wybuchowe i nazywany jest bawełną strzelniczą lub kolodionową. Azotan(V) nitrocelulozy stosowany jest nie tylko do materiałów wybuchowych (prochy bezdymne, dynamit, inne), ale także do wyrobu lakierów, emalii malarskich, celuloиду i sztucznej skóry. Celuloid, tworzywo sztuczne zawierające nitrocelulozę, ogrzane do temperatury 180°C i uderzone, wybucha jak dynamit.

Tabela 1. Ważniejsze estry kwasu azotowego (HNO_3) z alkoholami stosowane jako materiały wybuchowe kruszące

| Substancja | Wzór | Właściwości |
|------------------------|---|---|
| triazotan(V) glicerolu | $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{ONO}_2 \\ \\ \text{CHONO}_2 \\ \\ \text{CH}_2\text{ONO}_2 \end{array}$ | bezbarwna, oleista, trująca, silnie wybuchowa ciecz. $T_f = 8^\circ\text{C}$. W stanie stałym przełamywana wybuchem. |

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| diazotan(V) glikolu etylenowego | $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{ONO}_2 \\ \\ \text{CH}_2\text{ONO}_2 \end{array}$ | bezbarwna, trująca, wybuchowa ciecz. Trudno zamarzany materiał wybuchowy gdyż jego $T_i = -22,3^\circ\text{C}$. |
|---------------------------------|--|---|

Do estrów kwasu azotowego z alkoholami należą na przykład triazotan(V) glicerolu (potocznie nazywany nitrogliceryną) i diazotan(V) glikolu etylenowego (potocznie nazywany nitroglikolem). Ich wzory i właściwości opisano w tabeli 1. W grupie nitrozwiązków aromatycznych grupa nitrowa $-\text{NO}_2$ związana jest bezpośrednio z atomem węgla. Związki te są dobrymi środkami wybuchowymi i mają tę zaletę, że są mało czułe na bodźce mechaniczne. W tabeli 2 podano przykładowe nitrozwiązki aromatyczne.

Do grupy nitroamin zalicza się tetryl, heksogen i nitroguanidynę. W nitroaminach grupa nitrowa $-\text{NO}_2$ związana jest z atomem azotu grupy aminowej tak, jak to pokazano w tabeli 3. Nitroaminy są silnymi materiałami wybuchowymi, są także trwałe chemicznie i trudne do zainicjowania, dlatego używane są jako materiały wybuchowe inicjujące wtórne.

Tabela 2. Przykładowe nitrozwiązki aromatyczne

| Substancja | Wzór |
|---|--------------------------------|
| a) dwunitrobenzen b) trójnitrobenzen | a b |
| a) nitrotoluen b) dwunitrotoluen c) trójnitrotoluen | a b c |
| ksylit | |
| heksyl | |
| a) nitronaftalen b) dwunitronaftalen c) trojnitronaftalen | a b c |
| dwunitrofenol | + |

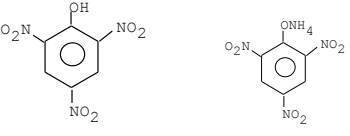
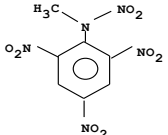
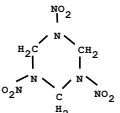
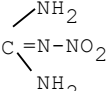
| | |
|---|--|
| a) kwas pikrynowy b) pikrynian amonu |  a b |
|---|--|

Tabela 3. Substancje wybuchowe z grupy nitroamin

| Nazwa | wzór chemiczny | barwa | Inne cechy |
|--|--|-----------|---|
| tetryl (trójnitrofenylometylnitroamina) |  | żółta | silnie toksyczna |
| heksogen (trójnitrotrójazyna) |  | biała | nie reaguje z metalami materiał silnie wybuchowy |
| nitroguanidyna |  | bezbarwna | trwała chemicznie trudna do zainicjowania |

Dla polepszenia wybranych właściwości, materiały wybuchowe miesza się z innymi środkami wybuchowymi, substancjami palnymi lub związkami bogatymi w tlen. Otrzymany mieszaniny stosuje się jako materiały kruszące lub miotające. Poniżej będą omówione dwie najczęściej stosowane grupy zwane mieszaninami „nitroglicerynowymi” i mieszaninami amonowo-saletrzanymi.

Do „nitroglicerynowych” materiałów wybuchowych zalicza się dynamity. Dynamity to mieszanina ciekłego triazotanu(V) glicerolu z substancjami stałymi, które nadają mu cechy plastyczne. Początkowo triazotan(V) glicerolu stosowano jako materiał kruszący w stanie płynnym. Było to niewygodne i niebezpieczne. Nobel jako pierwszy zastosował mieszaninę triazotanu(V) glicerolu z ziemią krzemkową otrzymując dynamit, który łatwo było formować w ładunki i łatwo zdetonować od spłonki z piorunianem rtęci. Dalszy rozwój dynamitu polegał na zamianie wybuchowo obojętnej ziemi krzemkowej na inne na przykład na mączkę drzewną lub wybuchowe jak azotan(V) celulozy i saletrę amonową. W ten sposób produkuje się tradycyjne dynamity, żelatyny wybuchowe, dynamity żelatynowe oraz barbaryty, mieszaniny o niskiej (około 20 %) zawartości triazotanu(V) glicerolu.

Znana sól saletra amonowa NH_4NO_3 jest materiałem wybuchowym. Zmieszanie saletry amonowej w ilości 50% z żelatynowaną dwunitrochlorohydryny lub azotanem(V) glikolu etylenowego pozwala na otrzymanie żelatynowanego materiału wybuchowego dobrze działającego w niskich

temperaturach. Saletrę amonową miesza się także z wieloma innymi substancjami otrzymując materiały wybuchowe, które mają zastosowanie zarówno w górnictwie odkrywkowym jak i w górnictwie podziemnym. W górnictwie stosuje się amonity, które są mieszaniną saletry amonowej i innych materiałów wybuchowych oraz substancji palnych i obojętnych. Mieszanie saletry amonowej z triazotanem(V) glicerolu (4%) oraz pewnej ilości soli kuchennej, aby obniżyć temperaturę wybuchu, daje karbonity. Karbonity stosuje się w kopalniach węglowych niemietanowych.

Saletra amonowa jest także bazą do produkcji metanitów, materiałów wybuchowych stosowanych w kopalniach węgla zawierającego wybuchowy metan i pył węglowy. Metanity zawierają około 4% nitrogliceryny i inne dodatki jak na przykład sól kuchenną, które obniżają temperaturę reakcji. Metanit specjalny jonowymienny (MSJ1) zawiera NaNO_3 i NH_4Cl , które dostarczają podczas wybuchu tych samych składników co mieszanina saletry amonowej i soli kuchennej gdyż:



Materiały wybuchowe mogą występować w różnych postaciach tj. postaci sypkiej, granulowanej, prasowanej, półplastycznej oraz w formie plastycznej. Materiały plastyczne szybko działające są najczęściej mieszaniną zawierającą od 75 do 95% materiału wybuchowego, na przykład pentrytu lub heksogenu oraz od 5 do 25% plastyfikatora na przykład kauczuku. Przykładem plastycznego materiału wybuchowego może być czeski Semtex o szybkości detonacji ok. 6500 m/s, który produkowany na bazie pentrytu (Mecir i Valek, 1969). Pentryt dzięki symetrycznej budowie cząsteczki odznacza się dużą odpornością na czynniki mechaniczne i chemiczne. Z tego powodu nie jest także higroskopijny, daje łatwo się także łatwo formować np. przez krojenie nożem, ma niską prężność par, a więc jest trudno wyczuwalny, a małe ilości jego pyłów nie są groźne przy wdychaniu (Urbański, 1955). Dlatego jest on chętnie stosowany przez terrorystów.

Materiały wybuchowe wolno działające (miotające)

Materiały miotające o prędkości reakcji około 600 m/s używa się głównie w górnictwie skalnym. Jako materiały miotające stosuje się prochy dymne, przede wszystkim PGS (proch górniczy skalny). Proch strzelniczy dymny czarny jest mieszaniną saletry potasowej (KNO_3), węgla drzewnego oraz siarki i stosowany jest od kilku tysięcy lat. Proch dymny bardzo łatwo się zapala od płomienia.

Materiały wybuchowe inicjujące

Dobre materiały wybuchowe muszą być bezpieczne podczas ich produkcji, transportu i magazynowaniu, a zatem muszą się charakteryzować dużą odpornością na wybuch pod wpływem prostych bodźców zewnętrznych takich jak tarcie, wstrząs czy temperatura. Detonacja bezpiecznych

materiałów wybuchowych odbywa się tylko pod wpływem silnego bodźca, jakim jest wybuch powodowany innym materiałem wybuchowym zwanym inicjującym. Czasami stosuje się więcej niż jeden materiał inicjujący. Gdy stosuje się dwa materiały inicjujące, pierwszy z nich nazywany się pierwotnym, a drugi, który przenosi wybuch od inicjującego do zasadniczego materiału wybuchowego nazywa się inicjującym wtórnym.

Do pierwotnych inicjujących materiałów wybuchowych należą piorunian rtęci, azydek ołowiu oraz trójnitrorezorcynian ołowiu (TNRO). Piorunian rtęci o wzorze $(C=N-O)_2Hg$ jest białym proszkiem. Niestety powoduje on korozję niektórych metali, zwłaszcza aluminium. Piorunian rtęci najlepiej przechowywać pod wodą, gdyż w kontakcie z wodą traci zdolności wybuchowe. Azydek ołowiu o wzorze $Pb(N_3)_2$ jest, podobnie jak piorunian rtęci białym proszkiem, ale w stanie wilgotnym nie traci właściwości wybuchowych. Wchodzi w reakcje z metalami szlachetniejszymi od ołowiu, np. z miedzią oraz jej stopem mosiądzem i wtedy staje się bardziej zdolny do wybuchu.

Do wtórnych materiałów wybuchowych inicjujących zalicza się tetryl, heksogen, pentryt, oktogen, tetrazen i acetylenek miedzi (I). Ich wzory podano w Tabeli 4.

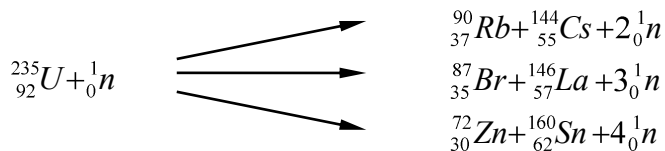
Tabela 4. Substancje wybuchowe inicjujące wtórne. Tetryl oraz heksogen omówiono w tabeli 3.

| Nazwa | wzór chemiczny | barwa | Inne cechy |
|-------------------------------------|--|----------|---|
| pentryt (czterozotan pentaerytrytu) | $ \begin{array}{c} CH_2 - ONO_2 \\ \\ O_2NO-H_2C-C-CH_2-ONO_2 \\ \\ CH_2 - ONO_2 \end{array} $ | biała | nie reaguje z metalami |
| tetrazen | $ \begin{array}{c} N-N \parallel \\ \parallel \quad C-N=N-NH-C-NH_2 \cdot H_2O \\ N-NH' \quad \quad \quad \parallel NH \end{array} $ | żółta | dodatek uczulający w spłonkach azydkowych |
| acetylenek miedzi(I) | $Cu-C \equiv C-Cu$ | brunatna | łatwo zapala się od rozgrzanego drutu |

Jądrowe materiały wybuchowe

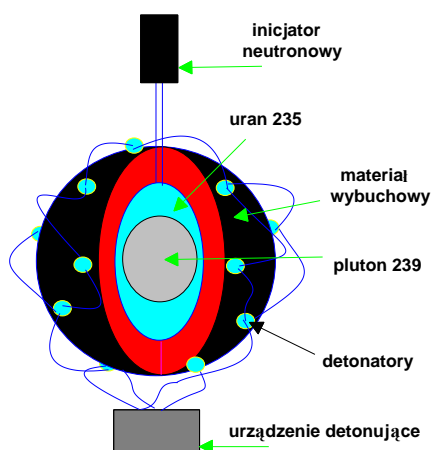
Pewne izotopy ciężkich pierwiastków mogą ulec rozpadowi podczas bombardowania ich jąder neutronami o odpowiednio wysokiej energii. W wyniku reakcji rozpadu jąder wyzwala się znaczna energia, związana z przechodzeniem pewnej ilości masy w energię z zgodnie równaniem Einsteina $E = mc^2$. Gwałtowne wydzielanie się dużej ilości energii powoduje falę uderzeniową o znacznej sile niszczącej. Jeżeli proces rozszczepiania jąder prowadzi się powoli, wydzielane ciepło można wykorzystać do celów ciepłowniczych i produkcji energii elektrycznej. Do produkcji materiałów

wybuchowych jak i materiałów dla elektrowni atomowych zastosowanie znalazł uran, posiadający 92 protony i 143 neutrony czyli 235 nukleonów co zapisuje się jako uran-235 oraz pluton-239 posiadający 94 protony (Młochowski, 1992). Proces rozpadu uranu jest skomplikowany i powoduje wydzielanie się różnych produktów. Najczęściej są to produkty związane z reakcjami:

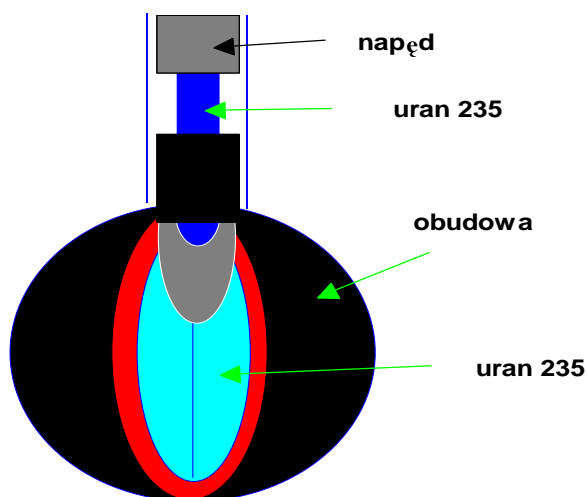


W reakcji uwalniają się neutrony, które powodują, że reakcja rozprzestrzenia się w całej objętości materiału uwalniając olbrzymią ilość energii. Dla przykładu można podać, że rozszczepienie 1 g uranu 235 daje $84 \cdot 10^6$ kJ, czyli znacznie więcej niż powstaje podczas spalania 1 g węgla (34kJ) czy z detonacji 1 g trotylu (2.8 kJ). W reakcji jądrowej następuje zanik pewnej ilości masy (co nie uwzględnia się w zapisie równania reakcji jądrowej), a pojawia się energia w ilości $9 \cdot 10^{10}$ kJ na gram zanikającej masy. W wyniku rozkładu 1 grama uranu-235 zanika $9.33 \cdot 10^{-4}$ g czyli około miligrama.

Teoretycznie kontrolowany wybuch jądrowy można zastosować do burzenia skał czy złóż, ale technika ta, z powodów wielkiej skali, zanieczyszczeń środowiska substancjami radioaktywnymi i oporami psychicznymi nie została dotąd zastosowana. Na rysunku 1 pokazano schematycznie plutonowy ładunek wybuchowy. Jest on zbudowany z trzech warstw. Wewnątrz znajduje się pluton 239 w formie kuli. Dokoła umieszczona jest warstwa uranu 238. Trzecią warstwę stanowi materiał wybuchowy, do którego dołączone są od góry detonatory połączone z urządzeniem detonującym. Do wybuchu plutonu dochodzi, gdy włączy się urządzenie detonujące, które uruchamia materiał wybuchowy. Detonujący materiał wybuchowy wywiera duże ciśnienie na pluton poprzez ekran uranowy. W wyniku tej kompresji wzrasta gęstość plutonu. W tym samym czasie uruchamiane jest dodatkowe urządzenie, w którym następuje emisja neutronów. Neutrony inicjują reakcje rozpadu plutonu, a uciekające neutrony są wylapywane i odbijane przez ekran uranowy z powrotem do plutonu. W ten sposób duża ilość neutronów przy masie krytycznej plutonu zapewnionej przez zwiększone ciśnienie w plutonie dzięki wybuchowi powoduje reakcje łańcuchową rozpadu jąder plutonu. Nieco inaczej działa ładunek uranowy (rys. 2). Masę krytyczną osiąga się przez wybuchowe połączenie dwóch kawałków uranu. Najmniejsza masa zwana masą krytyczną dla uranu-235 wynosi 40kg, dlatego ładunek uranowy jest stosunkowo duży.



Rys. 1. Bomba plutonowa



Rys. 2. Bomba uranowa

Literatura

Cooper, P. W., Explosives Engineering, New York, Wiley-VCH, 1996

Mečíř R., Válek D., Novodobá vrtací a trhací technika, SNTL, Praha 1969

Młochowski, J., Podstawy chemii, Politechnika Wrocławska, 1992

Smoleński D., Heger, L., Spalanie i detonacja. W : Podstawowe problemy współczesnej techniki, tom IX, PWN, 1964, 3-39

Sztuk, H., Śnieżek J., Wojtkiewicz, H., Technika urabiania skał, Wyd. Pol. Wrocł., Wrocław, 1980

Śliwa, W., Wybrane działy chemii dla studentów Wydziału Górniczego, Wyd. Pol. Wrocł., Wrocław, 1977, 235-246

Urbański T., Chemia i technologia materiałów wybuchowych, tom 1-3., Wyd. MON., Warszawa 1954