

A KUMULATÍV TÖLTETEK KIALAKULÁSA, HATÁSMECHANIZMUSUK ELMÉLETE

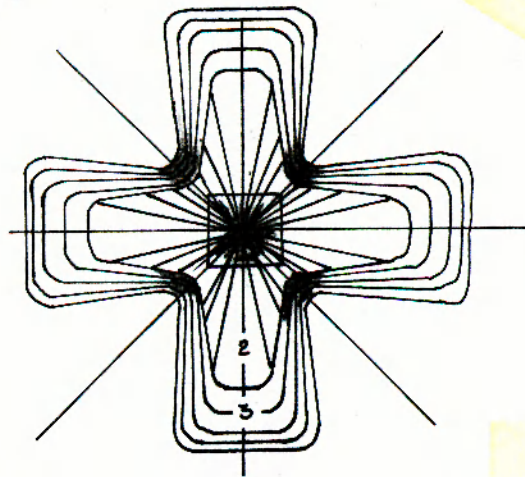
Dr. Lukács László mk. alezredes, egyetemi docens
a hadtudomány kandidátusa
MH Zrínyi Miklós Katonai Akadémia, Műszaki tanszék

A cikkben bemutatásra kerül a kumulatív töltetek kialakulása, a kutatás fontosabb állomásai, valamint a kumulatív hatás kialakulásának elmélete

1. A töltetek alakja - a kumulatív töltet kialakulása

A robbanóanyagokból képzett töltetek (melyek alakjuk szerint lehetnek összpontosítottak, nyújtottak, idomtöltetek stb., helyzetüket tekintve pedig külső vagy belső töltetek) robbanása során, a robbanási energia jelentős része elvész a környező közegben, pontosabban a keletkező ún. lökőhullám nem csak a felrobbantandó objektumra fejt ki hatást, hanem - a töltet formájától függő mértékben - a teljes környezetben. A lökőhullám intenzitása csökken a robbanás epicentrumától való távolodása során, mégpedig a töltet alakjától függően, különböző irányokban, különböző mértékben. Az 1.sz. ábrán látható, hogy egy kocka alakú összpontosított töltet robbanásakor, a robbanási gázok terjedése a legintenzívebben - és a távolság arányában a legkisebb csökkenéssel - az oldalakra merőlegesen történik. Ugyanakkor a sarkok felé közeledve az intenzitás jelentősen csökken. Ennek következtében kialakul, a kocka formájú összpontosított töltetekre jellemző, kereszt formájú robbanási gáztermék- és lökőhullám kiterjedési alakzat.

Már ebben a példában is szembetaláljuk magunkat a robbanás irányított hatásával, amit az a jelenség váltott ki, hogy a robbanási gázok a kezdeti stádiumban a töltet felületére merőlegesen mozdulnak el.



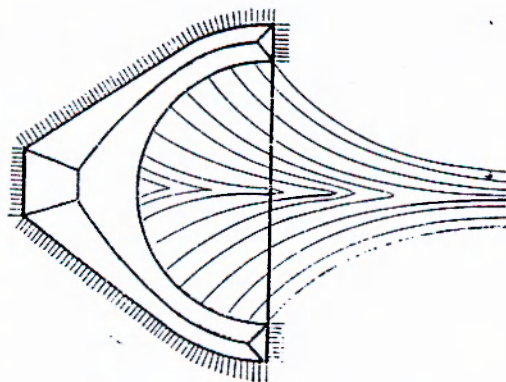
1.számú ábra: A robbanási gázok kiterjedése és a lökőhullám kialakulása az összpontosított töltet közvetlen környezetében 3

1- töltet; 2- robbanási gázok; 3- lökőhullám

Mivel a robbantási szakemberek egy adott robbanóanyag romboló hatását egy adott szerkezethez viszonyítva, csak a robbanóanyag mennyiségének növelésével tudták fokozni, a robbanóanyagból készült töltetek formájának változtatásával kezdtek kísérletezni. Ezáltal kívántak úgy hatásnövelést elérni, hogy ne kelljen arányosan a felhasznált robbanóanyag tömegét is növelni.

Megfigyelték, hogy ha a robbanóanyagba üreget, mélyedést készítettek, akkor a töltet robbanása során, ezen a helyen a robbanási gázok összetartó áramlása következett be (2.sz. ábra). Ebben az összetartó áramlásban a robbanási gázok sűrűsége, az összetartás függvényében megnövekedett és megnövekedett a töltet romboló hatása is. Ugyanakkor azt is megfigyelték, hogy ez a jelenség csak akkor következett be, ha az összetartó sugár kialakulásának időpontjában nem került eléje semmilyen akadály, a környező közeg sűrűsége pedig jelentősen kisebb volt, a robbanási gázok sűrűségénél. Ebből

következően ilyen hatás csak akkor figyelhető meg, ha a töltet robbanása a szabad levegőn vagy erősen ritkított közegben következik be; víz alatti, vagy föld alatti robbantásnál a környező közeg megakadályozza az összetartó robbanási gáz-sugár kialakulását.

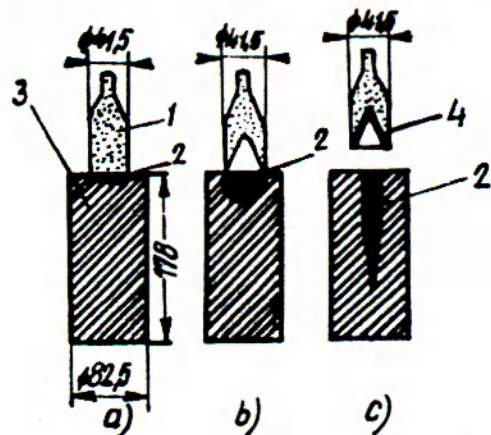


2.számú ábra: A robbanási gázok áramlása, bélés nélküli kumulatív töltet esetén³

A töltetek kumulációjának kérdésében 1884-ben az amerikai **Ch. E. Monroe** végzett először kísérleteket, mikor azt tapasztalta, hogy ha olyan robbanóanyagot tett fémlemezre, amelynek a fémmel érintkező felületén benyomott betűk voltak, a robbanóanyag elrobbanása során a betűk átnyomódtak a fémlemezre. A robbanóanyag helyi hatása tehát megnövekedett a betűüregek irányában. A szakirodalomnak egy részében, ennek alapján a mai napig Monroe-elynek nevezik a kumulatív hatást.

A homlokfelületén üregesen kiképzett és az ellenkező végén indított töltetek hatását **E. Neumann**, német kutató tisztázta alapos kísérletekkel, 1911-1912-ben. 1939-ben **F. R. Thomanek** arra a következtetésre jutott, hogy az irányított hatás növelhető, ha az üreg felületét fémbéléssel borítják.

Ezen elméletek bizonyítására nézzük meg egy kísérlet-sorozat három lépését, a 3.számú ábrán.



3.számú ábra: Tömör, kumulatív-kúpos (üreges) és béléssel ellátott kumulatív-kúpos töltet hatása az acéllemezre ¹

1- töltet; 2- a robbanás során képződő üreg az acél alátétben; 3- az acél alátét; 4- fém bélés

A 3/a ábrán acélhengerre állított, palack alakú töltet látható. A rajz léptékhelyesen készült (a főbb méretek mm-ben kerültek megadásra). A robbanóanyag pentritol (trotil és nitropenta elegye), tömege 150 gramm. A felülről iniciált (indított) töltet az acélhengert az ábrázolt módon benyomta (befektített rész).

Ugyanilyen acélhengeren, kúpalakú bemélyedéssel rendelkező, az acél felülete felé fordított töltetet robbantottak (3/b.ábra), mely töltet külső méretei megegyeztek az előzőével, tömege viszont csak 115 gramm volt. Azt gondolhatnánk, hogy egy ilyen töltet hatása gyengébb lesz mint a tömöré, hiszen amellettt hogy a robbanóanyag tömege kevesebb, ráadásul a töltetnek pont az a része került eltávolításra,

amely közvetlenül az acélhengerrel érintkezne, és amely emiatt (lásd előzőekben a robbanási gázoknak a töltet felületére merőleges kezdeti elmozdulását) a tömör töltetnél a leghatékonyabb volt. A valóságban az üreges töltet hatása sokkal intenzívebbnek mutatkozott, amit a benyomódás nagysága is igazol (szintén fekete rész). A kúpos üregű töltet robbanása után a kapott benyomódás mélysége kb. négyszer nagyobb volt, mint a tömör töltetnél.

A robbanás ilyen megnövelt hatását egy adott irányban kumulatív hatásnak nevezzük, az ilyen módon kialakított töltetet pedig kumulatív töltetnek.

A kumulatív hatás akkor jelentkezett a legerősebben, mikor a kúp alakú üreg belső felületére vékony fémréteget helyeztek (3/c. ábra). Az ábrán látható töltet kúpját egy 0,6 mm vastagságú acéllemezzel bélelték ki. Az acélhengerben ütött lyuk (befeketitett rész) némileg kisebb átmérőjű, mélysége viszont kb. négyszer nagyobb volt a bélés nélküli kúpos töltet hatásához viszonyítva. Hozzá kell tenni azt is, hogy a legnagyobb mélységet akkor kapták az acélbetétes töltettel való robbantások során, mikor a töltetet nem magára az átütendő felületre helyezték, hanem attól egy bizonyos távolságra (az ábra szerint).

A további kísérletek azt is bebizonyították, hogy különböző fémeket alkalmazva betétanyagként, ugyanazon tömegű és kialakítású kumulatív töltetnél, más-más hatás érhető el. Ugyancsak acélhengerre mért hatást vizsgáltak, 3 inch ($3 \times 25,4 = 76,2$ mm) átmérőjű kumulatív töltetekkel, melyekbe különböző fémekből készült, 1 mm vastagságú bélés kúpot helyeztek.

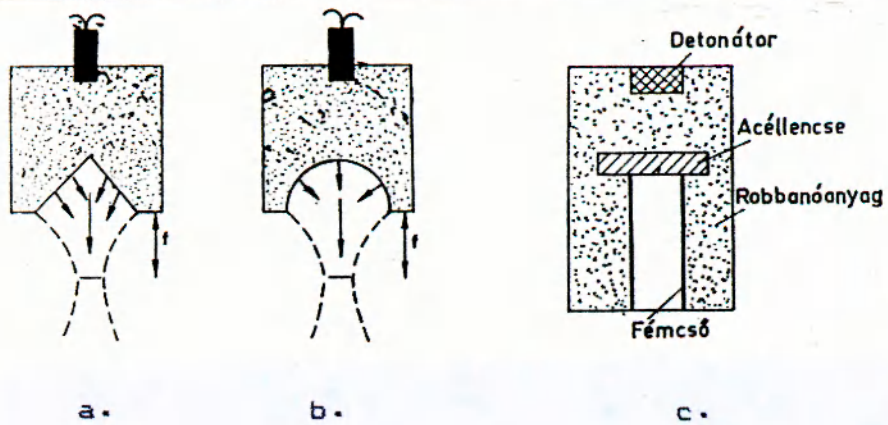
A kísérlet eredményét az 1.sz. táblázat tartalmazza.

Kumulatív töltetek hatása különböző betétanyagok
alkalmazása esetén ⁴

Betétanyag	A betétanyag sűrűsége kg/dm ³	A behatolás mélysége az acéllemezbe optimális eltartás esetén inch/mm	A behatoló nyílás átmérője mm
vörösréz	8,8	7,5/190,5	18
acél	7,8	5,0/127	16
cink	7,2	4,5/114,3	22
alumínium	2,7	5,0/127	23

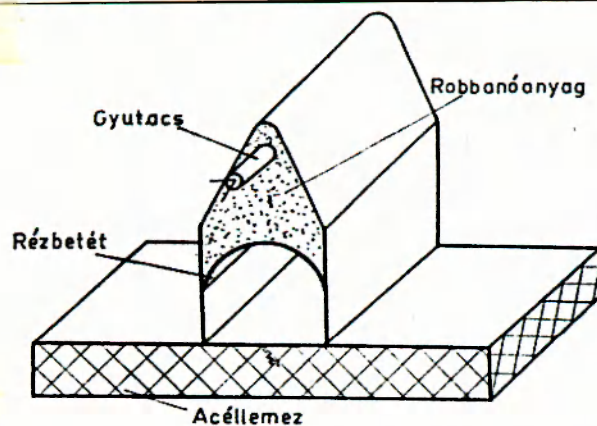
Mint látható, a legoptimálisabb hatást a legnagyobb sűrűségű vörösréz adta. Meglepő viszont, hogy a sűrűség szempontjából erősen eltérő acél és alumínium behatolási mélysége megegyező (127-127 mm), eltérés csak a behatoló nyílás átmérőjében mutatkozik.

A vizsgálódások másik eredménye az volt, hogy nem feltétlenül csak a kúpos kialakítású üreges töltetek robbanásakor (4/a. ábra) figyelhető meg a kumulatív hatás, hanem félgömb alakú (4/b. ábra), sőt hengeres üregek esetén is, ha az utóbbinál egy betétlencsét helyeztek el (4/c. ábra). Végezetül az is bebizonyosodott, hogy kumulatív hatás nem csak összpontosított töltetek esetén érhető el, hanem nyújtott tölteteknél is (5.sz. ábra).



4.számú ábra: Különböző kialakítású üregekkel
rendelkező kumulatív töltetek ¹

a-kúpos; b-félgömb alakú; c-acéllencsével ellátott hengeres

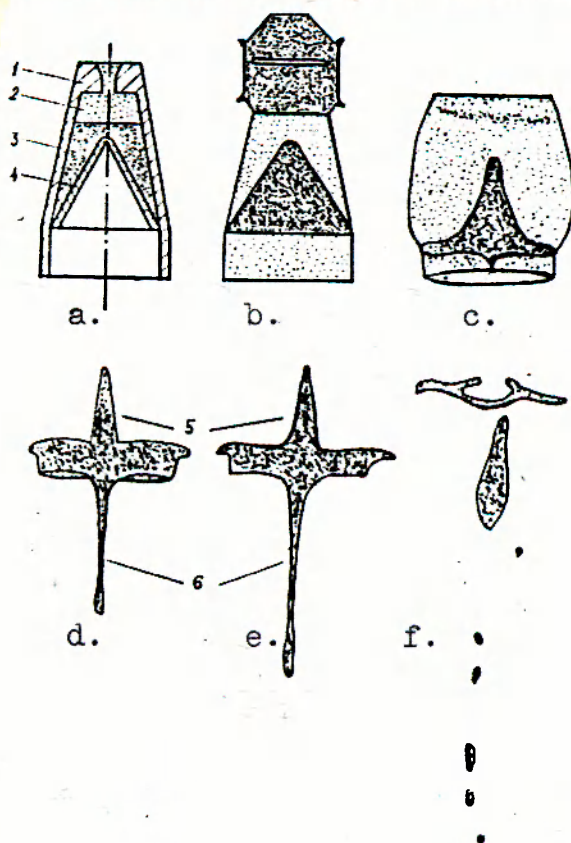


5.számú ábra: Lineáris vágótöltet
(kumulatív nyújtott töltet) ¹

2. A kumulatív hatás kialakulásának elmélete

Nézzük meg ezek után részletesebben a kumulatív töltetek "működésének" elvét, a kumulatív hatás kialakulásának elméleti alapjait. A 6.sz. ábrán, egy kumulatív töltet felrobbanása során készített impulzus Röntgen-felvétel sor lát-

ható, melyeket egy olyan berendezés készített, amely nagyhatású, rendkívül rövid ideig tartó Röntgen-sugár impulzusokat adott. A Röntgen-cső és a (szintén nagy sebességgel mozgó) film közé helyezve a vizsgált tárgyat, a filmfelvételen rögzítődtek az anyag pillanatnyi helyzetének (eloszlásának) képei.



6.számú ábra: Kúpos üregű kumulatív töltet robbanásának fázisai, az impulzus Röntgen-felvételek alapján: a- a töltet; 1- fém burkolat; 2- gyengén tömörített robbanóanyag; 3- erősen tömörített robbanóanyag; 4- réz bélés; b- a töltet Röntgen-képe; c- a töltet a robbanás után 6 μ s elteltével; d- 12,5 μ s elteltével; e- 17 μ s elteltével; f- 120 μ s elteltével; 5- a mag; 6- jet

A képet értékelve azt látjuk, hogy a detonációs hullám nyomásának hatására a fém bélés kezd elmozdulni a középpont felé, mintha összenyomódna és összezsugorodna (b. ábra). Az összezugsukódás után a bélés anyaga két részre oszlik, melyek szerepe lényegesen különbözik egymástól. Az összezsugsukódás középpontja fölött, a bélés külső rétegeiből képződik a mag (vagy "dugó") /5/ amelybe a bélés anyagának nagyobb része megy át. A magnak semmiféle szerepe nincs az átütő hatásban. A középpont alatt látható a bélés belső rétegeiből kialakult kumulatív sugár (a szakirodalom többnyire "jet" néven említi) - egy tulajdonképpen nagy sebességgel előre mozgó fémáram (d. és e. ábrák /6/). Ez a jet az (függetlenül viszonylag csekély tömegétől), mely kialakulásának csúcspontján találkozáva az akadállyal, biztosítja annak átütését még - normál robbantást tekintve - jelentős vastagság esetén is. Amennyiben a kialakult jet nem ütközik akadályba (itt van szerepe az optimális "eltartási távolság" megválasztásának), úgy egy idő után darabjaira szakad, mivel fejrésze gyorsabban mozog előre, mint a farokrész (f. ábra).

A béléses kumulatív töltetek hidrodinamikai elméletét, melyben a bélés anyagát összenyomhatatlan folyadéknak tekintette, M. A. Lavrentyev dolgozta ki először. Számításai szerint hengersizmetrikus kúpos üregű töltetek esetén a jet legnagyobb sebessége:

$$V_{max} = \frac{0,41 D}{\sqrt{\frac{m_b}{m_{t.a.}} + \frac{1}{3}}} * \left(1 + \operatorname{tg} \frac{\pi - 2\alpha}{4} \right),$$

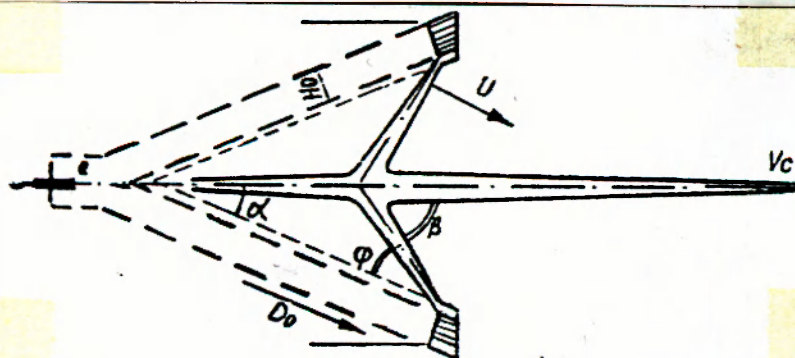
ahol D - a robbanóanyag detonációsebessége
 m_b - a bélésanyag tömege
 α - a béléskúp félszöge
 $m_{t.a.}$ - a töltet aktív tömege.

Kimutatható, hogy (ha a bélékúp magassága h , alapjának sugara r_0) az aktív rész csak addig növekszik a béléskúp fölötti robbanóanyag-réteg növekedésével, amíg a robbanóanyag összmagassága el nem éri a $h+2r_0$ értéket. Ebben az esetben a töltet aktív tömege:

$$m_{\text{akt}} = \rho_0 * \frac{\pi * r_0^3}{3}, \text{ ahol}$$

ρ_0 - a robbanóanyag kezdeti sűrűsége.

A kumulatív töltet és a jet kialakulásának vázlatos képét nézve látható (7.sz. ábra), hogy a béléskúp félszöge (α) és a detonációs hullám hatására, a kúp elmozduló falai között kialakuló félszög (β) közül, az utóbbi a nagyobb.

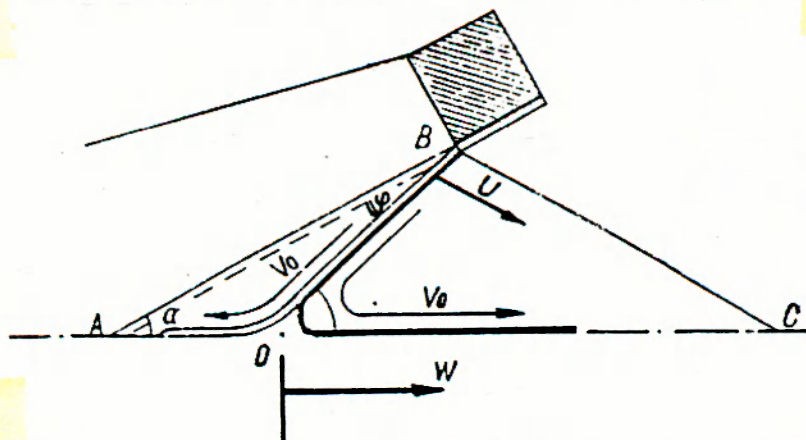


7.számú ábra: A kumulatív töltet (a) és a jet kialakulásának (b) vázlata

A detonációs hullám hatására elmozduló falak "0" találkozási pontjától balra jön létre a bélés külső részeiből kialakuló mag, jobbra pedig a bélés belső részeiből képződő kumulatív jet.

A találkozási ponthoz /0/ kapcsolt mozgó koordináta rendszert felvéve (8.sz. ábra) azt látjuk, hogy az AC tengelyhez, β szögben közeledik a bélésanyagból kialakuló fémsugár, és a 0 pont előtt (attól végtelen kicsi távolságra, de azt el nem érve) szétválik: a kisebb rész jobbra halad, a C pont

irányába, a nagyobb pedig balra - az A ponthoz.



8.számú ábra: A kialakuló fémsugár sebességének megállapításához felvett mozgó koordinátarendszer ³

A kétirányú áramlásra felírva az anyag-, az impulzus- és az energia megmaradási törvényeket:

$$m_0 = m_1 + m_2$$

$$m_0 * v_0 * \cos \beta = m_2 * v_2 - m_1 * v_1$$

$$\frac{m_0 * v_0^2}{2} = \frac{m_1 * v_1^2}{2} + \frac{m_2 * v_2^2}{2} \quad .$$

A kapott egyenletrendszer megoldva azt kapjuk, hogy az áramlási sebességek (v_0 - a béléanyag sebessége; v_1 - a jeté, v_2 - a magé,) egyenlőek:

$$v_1 = v_2 = v_0 \quad .$$

A jet tömege (m_1) és a mag tömege (m_2):

$$\frac{m_1}{m_0} = \frac{\sin^2 \beta}{2}$$

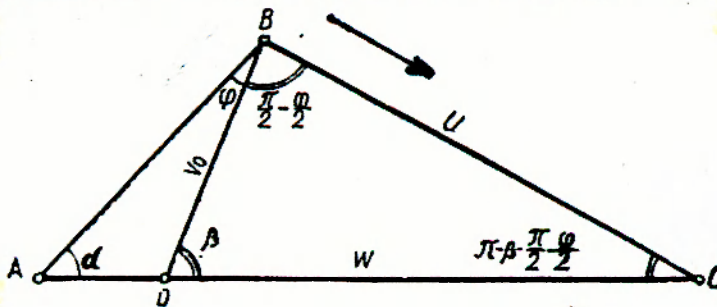
$$\frac{m_2}{m_0} = \cos^2 \beta, \text{ ahol}$$

$$m_0 = 2$$

m_0 - a bélésanyag össztömege.

A mozdulatlan koordináta rendszerhez viszonyítva a találkozási pont /0/, egy meghatározott W sebességgel mozdul el balról jobbra, azaz a detonáció terjedésének irányában. A mozdulatlan koordináta rendszerben a jet sebessége $v_1 = W + v_0$, a mag sebessége viszont különböző lesz. Míg a mozgó koordináta rendszerben balra, addig a mozdulatlan rendszerhez képest az is jobbra fog elmozdulni, de a jet sebességénél jelentősen kisebb, $v_2 = W - v_0$ mértékben.

A bélésanyagnak a /0/ találkozási ponthoz való közeledési sebességét (v_0) és a /0/ pontnak C-pont irányú sebességét (W) kifejezhetjük a bélésanyag B-C irányú mozgásának sebességével (U). Ennek megkönnyítésére nézzük a 9.számú ábrát, mely egyben a jelenség típusrajzának is tekinthető.



9.számú ábra: A mozdulatlan koordinátarendszer, a kumulatív sugár (jet) sebességének meghatározásához ³

Megállapíthatjuk, hogy egy adott egységnyi idő (t) alatt, a tengely irányába U sebességgel mozogva, és a kialakuló fémsugarba v_0 sebességgel befolyva, a betétanyagból a kumulatív sugár (jet) és a mag kialakítására a saját hossz-

nak $(v_0 * t)$ -ed része használódik fel. Eközben (ugyanezen időtartam alatt) a betétanyag B pontja, áthelyeződik a C pontba. Más oldalról nézve viszont, ugyancsak ez alatt az idő alatt, a tengely irányában W sebességgel áthelyeződik a C pontba, a \emptyset pont is.

A kúp betétanyaga, a detonációs hullámmal való találkozás pillanatában a tengelyhez viszonyítva egy α - félszöveget zár be (az U -sebesség = \emptyset).

A következő pillanatban $\frac{\varphi}{2}$ -szögben elfordul és felveszi U -sebességet. A sebesség és az elmozduló béléanyag által bezárt szög:

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2}$$

Az $\emptyset BC$ háromszögből, a szinusz-tétel alapján a következő összefüggést kapjuk:

$$\frac{W}{\sin\left(\frac{\pi - \varphi}{2}\right)} = \frac{v_0}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \beta + \frac{\varphi}{2}\right)} = \frac{U}{\sin \beta}$$

Az előző képletek felhasználásával elvégezzük az átalakítást és azt kapjuk, hogy: a kumulatív sugár (jet) sebessége:

$$v_1 = U \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\beta}{2}}$$

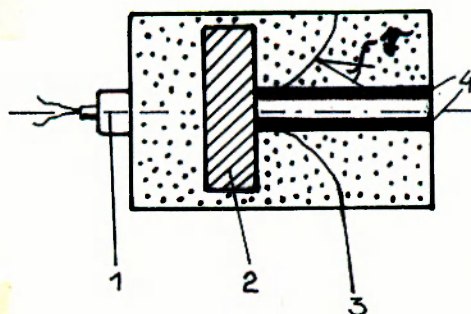
a mag sebessége

$$v_2 = U \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\beta}{2}}$$

A jet és a mag tömegére (m_1 és m_2) és sebességére (v_1 és v_2) vonatkozó összefüggések azt bizonyítják, hogy ha $\beta < \frac{\pi}{2}$, akkor a jetben a betétanyag tömegének jelentéktelen része található és a többsége a magba kerül, ugyanakkor a jet sebessége jelentősen meghaladja a mag sebességét.

Ha az α -szög értéke közelít nullához (elméleti megközelítés), akkor a jet sebessége a kétszeres detonáció sebességéhez közelít. Ha elegendő nagy detonációsebességű robbanóanyagot használnak a kumulatív töltetben (7,5–8,5 km/sec), akkor a kialakuló jet sebessége olyan nagy lesz (különösen ha az alkalmazott betétanyag sűrűsége is nagy -pl.réz), hogy az akadályba való ütközés következtében több-százezer atmoszférás nyomás alakul ki. Ilyen nyomás esetén még a szilárd fémek is megfolynak, és éppen ez a felismerés volt az alapja Lavrentyev elméletének, melyben a hidrodinamikai egyenleteket használta fel a jetnek a fémekre gyakorolt hatásának számításakor.

Az érdekesség kedvéért (és a fentebb említettek igazolására) nézzük meg a hengeres üregű és béléssel ellátott kumulatív töltet hatását (10.sz.ábra).



10.számú ábra: Hengeres üregű és béléssel ellátott kumulatív töltet ³

- 1- gyutacs; 2- inert anyagból készült ernyő(lencse);
 3- a detonációs hullám frontja egy közbeeső pillanatban;
 4-bélés

Példánkban az üreg egy hengert képez, ennek következtében $\alpha = 0^\circ$. Ezen kívül a detonáció terjedésének útjába egy masszív acéllemez (ernyő) lett elhelyezve, amit a detonációs hullám megkerül. Ennek eredményeként a detonációs hullám a síkhullám terjedési irányához képest egy bizonyos változó γ -szöggel fog továbbterjedni (a $\gamma = 0^\circ$ -os hullám jelenti a síkhullámot, mely a bélés hosszában siklik el; a $\gamma = 90^\circ$ -os hullám merőlegesen jut a bélésre). Mint láttuk, $\alpha = 0^\circ$ -nál $\gamma = 0^\circ$.

Az előzőekben tárgyaltak alapján, ha $\alpha \rightarrow 0^\circ$, akkor $v_1 \rightarrow 2D$, ahol D = a robbanóanyag detonációsebessége.

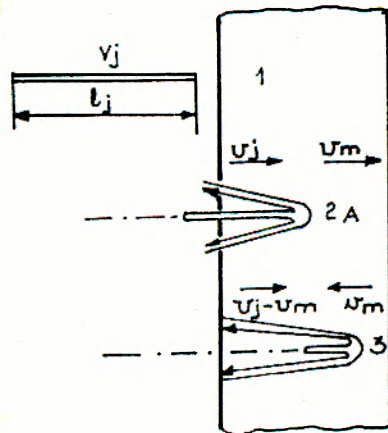
$$\text{Ha } \gamma = 0, \text{ akkor } v_1 = \frac{2D}{\cos \gamma}$$

Végül, ha $\gamma \rightarrow 90^\circ$, akkor $v_1 \rightarrow \infty$.

Figyelembe kell azonban venni, hogy $\gamma \rightarrow 90^\circ$ -nál egyidejűleg $\beta \rightarrow 0$, és ugyanakkor $m_1 \rightarrow 0$.

A 10.számú ábrán látható töltetnél a detonációs hullám tovaterjedési szöge (γ) változó. Az árnyékoló lemez közelében közel 90° , de azután csökken. Az ilyen típusú lövedékek kumulatív tölteteit tanulmányozva, amerikai kutatók megmérték a kialakuló jet sebességét, különféle anyagokból álló bélészekre. Ezek a sebességek annál nagyobbaknak adódtak, minél kisebb volt a bélés anyagának atomsúlya. A berilliumból készült bélésre kapták a 90 km/sec (?) rekord jet-sebességet. Hozzá kell viszont tenni, hogy ezt az értéket vákuumban továbbterjedő jetnél mérték. Normál nyomásérték esetén a jet már észlelhetően lefékeződik, de az eredmény így is elképesztő.

Térjünk most át a jet és az akadály közötti kölcsönhatásra. Útjában akadályba ütközve, a kumulatív jet azt deformálja. Az akadály anyaga sugárirányban kezd szétfolyni lyukat képezve, amely bizonyos sebességgel mélyül (11.sz.ábra). A jet rendkívül nagy mozgási sebessége és az emiatt kialakuló nagy nyomás miatt az akadállyal való kölcsönhatása ismét ideális folyadékok kölcsönhatásaként fogható fel, erre pedig a hidrodinamika egyenletei alkalmazhatók, amint azt Lavrentyev is javasolta.



11.számú ábra: A kumulatív sugár behatolása a céltárgyba ³

Tételezzük fel, hogy ρ_j sűrűségű, l_j hosszúságú kumulatív jetünk van, amely v_j sebességgel mozog. A 11.sz. ábra szerint, az /A/ - ún. "lökési pont"- egy bizonyos v_m sebességgel halad befelé a céltanyagba (sűrűsége ρ_m) mindaddig míg a jet fel nem használódik. Az ábrán felül lévő nyilak a sebességek valóságos értékeit jelzik. Egy olyan koordináta rendszerre áttérve viszont, amely az A-ponttal együtt mozdul el, az akadály (céltárgy) anyaga balra fog elmozdulni v_m sebességgel, a jet pedig jobbra $v_j - v_m$ sebességgel (az ábra alsó részén ábrázolva).

Tekintve, hogy a mozgó koordinátarendszerre állandó-

sult mozgásunk van, és a folyadékokat összenyomhatatlannak tekintjük, a Bernoulli egyenletet alkalmazhatjuk, mely szerint a /p/ nyomás értéke az /A/ pontban:

$$p = \frac{1}{2} * \rho_i (v_j - v_m)^2 = \frac{1}{2} * \rho_m * v_m^2$$

(A jet és az akadály érintkezési felületeinek /A pont/ mindkét oldalán egyenlőnek feltételezve a nyomást).

Az egyenletet átrendezve:

$$\frac{v_m}{v_j - v_m} = \sqrt{\frac{\rho_i}{\rho_m}}$$

A jet teljes behatolási mélysége a célanyagba (perforálási mélység):

$$L = v_m * t, \text{ ahol "t" - a jet hatásideje, ami}$$

egyenlő

$$t = \frac{l_j}{v_j - v_m}$$

Az előző egyenlet felhasználásával

$$L = \frac{v_m}{v_j - v_m} * l_j = l_j * \sqrt{\frac{\rho_i}{\rho_m}}$$

A Bernoulli egyenletből következik még, hogy a jet behatolási sebessége a céltárgyba:

$$v_j = \frac{v_{m1}}{\left(\frac{\rho_m}{\rho_i}\right)^{1/2} + 1},$$

a találkozási pontban létrejövő nyomás pedig

$$P = \frac{\rho_m \cdot v_j^2}{2 \cdot \left[\left(\frac{\rho_m}{\rho_i}\right)^{1/2} + 1\right]^2}.$$

Ugyanakkor a hidrodinamikai elmélet szerint a perforálás mélysége arányos a kumulatív jet hosszával, és a jet és az akadály sűrűség-viszonyának négyzetgyökével. Ez a mélység tehát nem függ a jet sebességétől (!), ugyanis minél nagyobb ez a sebesség, a behatolás valóban annál gyorsabban következik be, de ugyanakkor gyorsabban is merül ki.

A közölt eredmény annyiban pontosításra szorul, hogy a vizsgálatot a hidrodinamikai elmélet alapján végezve feltételeztük, hogy megfelelően nagy sebességű jet behatolása a céltárgyba, azonos módon történik mint a folyadéksugár behatolása a folyadékba. Ahhoz viszont, hogy ez a feltevés igaz legyen biztosítani kell azt, hogy a jet sebessége meghaladja egy - a jet és a céltárgy anyagától függő - kritikus értéket. Néhány céltárgy és jet anyagára vonatkoztatott kritikus sebességi értéket tartalmaz szovjet forrásmunka alapján* a 2.sz. táblázat.

* Baum - Orlenko - Sztanyjukovics - Cselisev - Sehtyer: A robbanás fizikája (Nauka, Moszkva - 1975)

A kumulatív jet kritikus sebességei

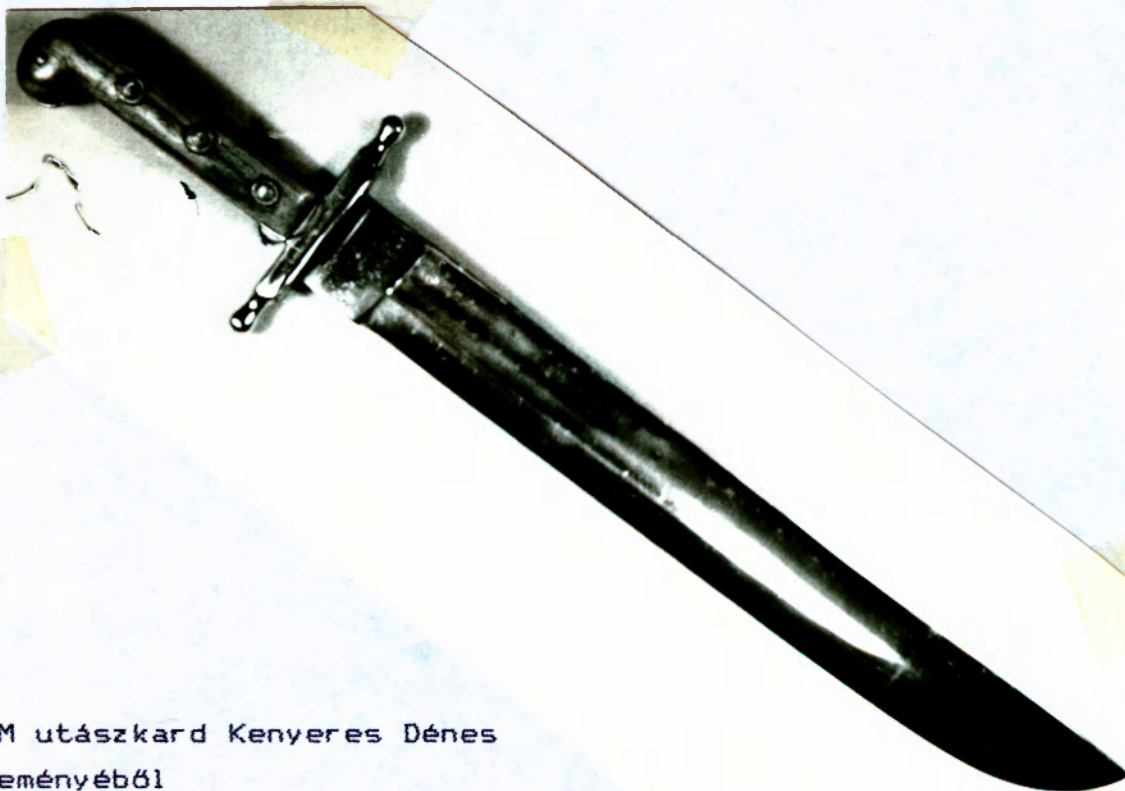
A céltárgy anyaga	Brinell keménysége	A jet anyaga	A jet kritikus sebessége v [m/s]
Duralumínium	115	Duralumínium	2900
Acél	125	Duralumínium	3300
Acél	125	Acél	2050
Edzett acél	R=50	Acél	2200

Ennek alapján a perforálási mélység értéke csak akkor lesz igaz, ha teljesül a $v_j \geq v_{jk}$ feltétel.

Figyelembe kell továbbá venni, hogy l_j értékét nem szabad a képződő kúp " l " kezdeti hosszával egyenlőnek venni. Ha a képletbe az " l " értéket helyettesítjük be, akkor a tényleges perforálási mélység 2 - 4-szer nagyobb lesz a számított-nál. Arról van ugyanis szó, hogy a kumulatív jet mozgásakor megnyílik, emiatt $l_j > l$. (Lásd a 6.sz. ábrát). Éppen ezért a legnagyobb perforálási mélységet abban az esetben kapjuk, amikor az akadály egy bizonyos távolságban van a kumulatív töltet alsó szájától. Ekkor a jetnek van ideje arra, hogy eléggé megnyúljon. A távolság további növelésekor a jet elveszti stabilitását, szétszakadozik, kiszélesedik és perforáló hatása gyorsan csökken. A töltet és az akadály közti azon távolságot, amelyben a jetnek a legnagyobb a perforáló képessége, a kumulatív töltet fókusz-távolságának nevezzük.

Felhasznált irodalom

1. Dr. Bohus - Horváth - Papp: Ipari robbantástechnika (Műszaki Könyvkiadó, 1983. Budapest)
2. Bassa - Kun: Robbantástechnikai kézikönyv (Műszaki Könyvkiadó, 1965. Budapest)
3. T.M. Szalamahin: Osznivi modelirovanyija i bojevaja efektyivnoszty zarjadov razrusenyija - I.csaszty (A romboló töltetek harci hatékonysága és modellezésük alapjai I.rész) (Kujbisev Katonai- Műszaki Akadémia, 1984. Moszkva)
4. David Harber: Improvised land mines (Paladin Press, Boulder, Colorado; ISBN 0-87364-656-8)
5. Lukács László: A kumulatív hatás és a kumulatív töltetek méretezése - akadémiai jegyzet (MH Zrínyi Miklós Katonai Akadémia, Műszaki tanszék, 1992. Budapest)



1853 M utászkard Kenyeres Dénes
gyűjteményéből
(foto: Szrenkó Gábor, Kecskemét)