

STUDIE AV PRIMÄRSPRÄNGÄMNESFRI
ELEKTRISK SPRÄNGKAPSEL

Per-Anders Persson, Gert Bjarnholt

DS 1971:25

10.6.1971

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN — 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

STUDIE AV PRIMÄRSPRÄNGÄMNESFRI
ELEKTRISK SPRÄNGKAPSEL

Per-Anders Persson, Gert Bjarnholt

DS 1971:25

10.6.1971

Sammanfattning:

En elektrisk sprängkapsel med 3-4 mg kolfiberblandad PETN och 35-55 mg ren PETN har tänts av spänningar ned till ca 30 V med tändenergi ca 20 mJ och reproducerbart initierat detonation i PETN och Hexotol. Lämpligt presstryck för den kolfiberblandade pentylen bestämdes till 1500-2000 kp/cm² och andelen kolfiber till 10-15%. Reaktionstiden efter tändspänningspåslag var ca 50 µs vid 30 V tändspänning.

Inledning.

De vanliga sprängkapseltyperna har en bottenladdning av ett eller flera sekundärsprängämnen på vilket är anbragt ett skikt av ett primärsprängämne, t.ex. blyacid. I den elektriska momentsprängkapseln sker antändningen med en elektrisk tändpärla, vilken består av en glödtråd omgiven av en explosiv sats. Då strömmen slås till upphettas glödtråden och då temperaturen nått en viss nivå exploderar tändsatsen och kastar ut ett brinnande stoftmoln mot primärsprängämnet. Genom upphettningen bringas detta att detonera och initierar i sin tur detonation i sekundärsprängämnet. Genom sin egenskap att detonera vid upphettning och sin stora stötkänslighet kräver primärsprängämnen i samband med tillverkning och användning av sprängkapslar omfattande försiktighetsåtgärder. Det skulle därför vara ett stort framsteg att få fram en sprängkapsel utan primärsprängämne.

Sekundärsprängämnen kan fås att detonera genom uppvärmning om de inneslutes i en mycket kraftig behållare eller om uppvärmningen göres mycket kraftig och snabb. I den s.k. "exploding bridgewire" sprängkapseln upphettas en tunn tråd omgiven av t.ex. pentyl mycket kraftigt av en elektrisk ström och initierar då PETN laddningen. Dessa tändare kräver dock tändspänningar på ca 2 kV och ca 1 Joule tändenergi, medan en vanlig blyacidsprängkapsel kräver ca 2 V och 3 mJ. Data för VA-kapseln är 4,5 V och 30 mJ.

Genom att blanda in elektriskt ledande fibrer i ett sprängämne kan detta göras elektriskt ledande redan vid ca 5% fiberhalt. (A.L. Lovecy, Brittiskt pat.nr. 1.196.114, 26 aug. 1966). Om det fiberblandade sprängämnet inneslutes i en behållare och en elektrisk ström ledes genom sprängämnet kommer fibrerna och intilliggande sprängämneskorn att upphettas varvid en stor del av sprängämnet kommer att termiskt sönderfalla samtidigt med en mycket snabb tryckstegring som följd, vilket gynnar övergång till detonation. Genom denna snabb tryckstegring kan sprängämnet fås att detonera med små krav på behållarens hållfasthet och för en relativt liten tändenergi.

Några synpunkter på val av fibrer och sprängämne.

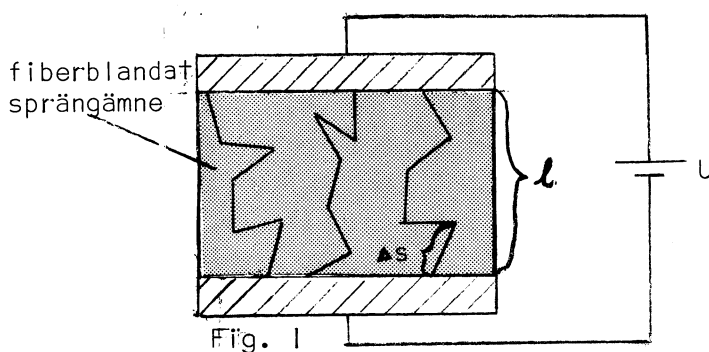


Fig. 1

Antag att ett fiberblandat sprängämne befinner sig i elektrisk kontakt med två elektroder på avståndet l från varandra. Elektroderna förbinds då genom ett system av fibrer. Detta system kan ses som ett antal parallellkopplade förbindelser mellan elektroderna, varder med längden s , där $s \leq l$. Varje sådan

förbindelse antas dessutom bestå av n stycken seriekopplade fibrer med medellängden Δs så att $n \cdot \Delta s = s$

Resistansen R hos en sådan förbindelse blir:

$$R = \frac{\gamma \cdot s \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \quad (1)$$

där γ är resistiviteten och d diametern hos fibern.

Den energi W som behövs för att upphetta en sådan förbindelse ΔT° blir:

$$W = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

där ρ är tätheten och c specifika värmets hos fibermaterialet.

Spänningen U mellan elektroderna ger i varje förbindelse med resistansen R under tiden Δt energiutvecklingen E

$$E = U^2 \cdot \Delta t / R \quad (3)$$

Om tiden Δt är kort kan man bortse från värmeförluster till omgivningen och den tillförda el. energien övergår då helt till värmeenergi hos fiberförbindelsen.

$E = W$; (1), (2) och (3) ger då:

$$U = s \cdot \sqrt{\gamma \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T / \Delta t} \quad (4)$$

och

$$E = \pi \cdot s \cdot \rho \cdot c \cdot d^2 \cdot \Delta T / 4 \quad (5)$$

Tändspänningens och tändenergis beroende av fibermaterialet.

Enligt (4) och (5) är alltså tändspänningen proportionell mot $\sqrt{\gamma \cdot \rho \cdot c}$ medan tändenergin är proportionell mot ρc .

Tändspänningens och tändenergis beroende av fiberdimensionerna och halten fibrer.

Enligt (4) och (5) bör längden s av en förbindelse och diametern d hos fibrerna minimeras för att få låg tändenergi respektive tändspänning. S beror av Δs , $\Delta s/l$, $\Delta s/d$ och halten k fibrer i blandningen.

Fiberlängden Δs bör väljas så lång som möjligt med bivillkoret $d \ll s \ll l$.

Fiberdiametern bör väljas liten. Den undre gränsen sätts av kornstorleken d_p hos det sprängämne som fibrerna blandas med. Gissningsvis bör gälla att $d > d_p/5$ för att reducera risken för brott på fibrerna vid pressningen.

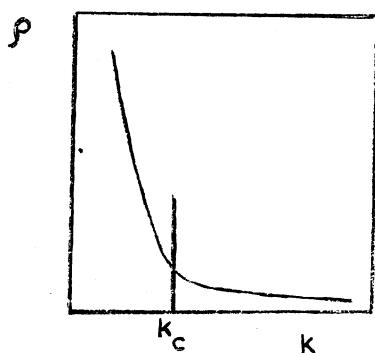


Fig. 2.

Resistiviteten ρ hos fibersprängämnesblandningen som funktion av fiberhalten k kommer att se ut som i fig. 2. Över ett visst värde på k kommer den totalt sett nödvändiga tändenergin att öka. Det lämpliga värdet på k torde ligga nära värdet k_c .

Sprängämnets antändningstemperatur och det stötvågstryck som initierar detonation bör båda vara låga. Dessutom bör kritiska diametern för detonation vara liten. Lämpliga sprängämnen bör vara PETN och RDX med kornstorlek 10-100 μ som pressas med 1500-2000 kp/cm^2 .

Några experiment med fiberblandat sprängämne.

Det antal experiment som skulle behöva göras för att noggrant bestämma de aktuella parametrarnas inverkan på egenskaperna hos blandningen är betydligt fler än de som redovisas i denna undersökning.

Experimenten med kolfiberblandad PETN som beskrivs nedan syftade till att få fram en blandning som skulle kunna tändas av spänningar på högst några tiotal volt och med så låg tändenergi som möjligt.

Kolfiberhaltens inverkan på resistiviteten.

För att bestämma kolfiberhaltens inverkan på resistiviteten fylldes ca 5 mg kolfiber PETN i en anordning enligt fig. 3.

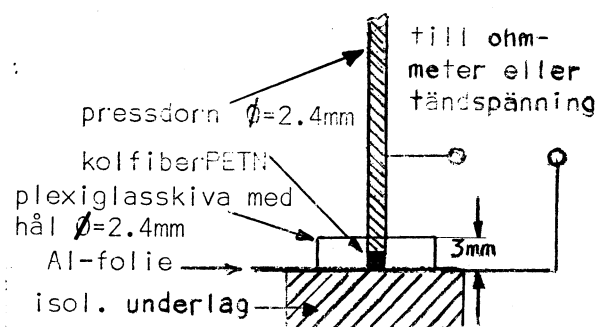


Fig. 3.

Blandningen pressades sedan med en dorn med 800 kp/cm^2 varefter resistansen hos blandningen mättes genom att koppla in en ohmmeter typ G-Norma Ø (mätspänning ca 50 mV) mellan dornen och bottenplåten.

ρ (ohm cm)

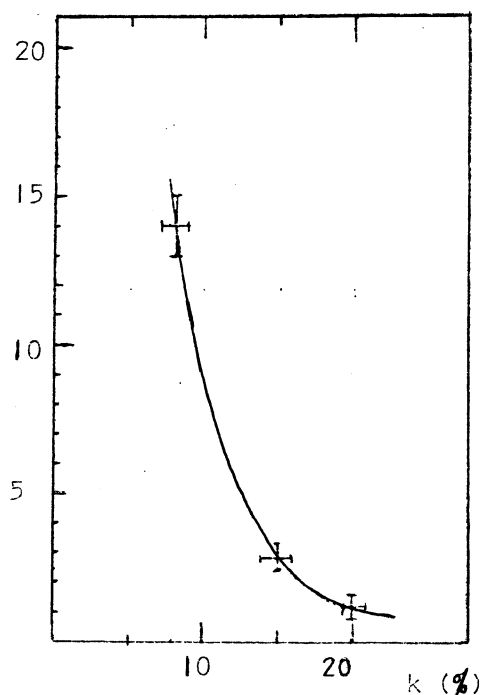


Fig. 4.

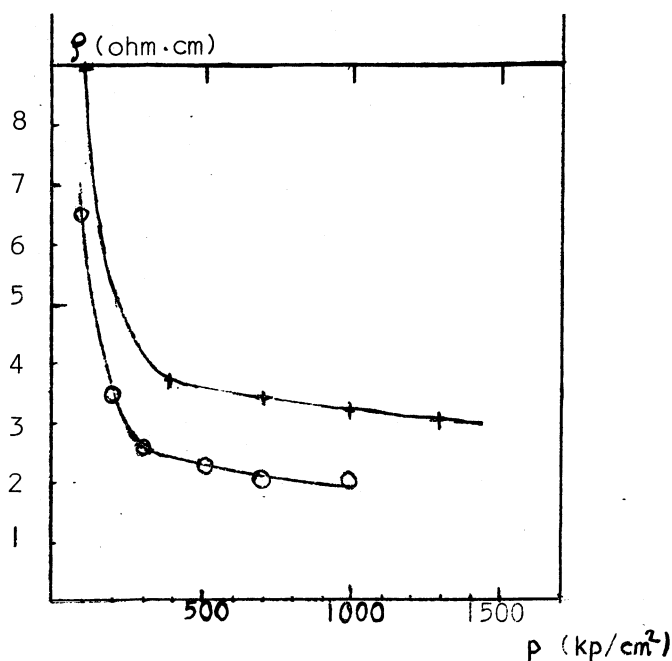
Kolfiberdata: Diam. 0.01 mm, längd 0.3 ± 0.1 mm, resistivitet $2.4 \cdot 10^{-3}$ ohm.cm.

Sprängämnesdata: PETN, kornstorlek $d_p = 5 - 15$ u.

Resultatet framgår av fig. 4

Presstryckets inverkan på resistiviteten.

C:a 5 mg kolfiber PETN fylldes i anordningen som visas i fig. 3 och pressades sedan. Under pressningen mättes resistansen hos blandningen.



+ = Blandning nr 1:

Kolfiberhalt $k = 12\%$

Kolfiber: = 0.01 mm,

$l = 0.2 \pm 0.1$ mm

PETN: kornstorlek $d_p = 5-15 \mu$

o = Blandning nr 2:

Samma som nr 1 utom:

$d_p = 30-70 \mu$

Resultatet framgår av fig. 5

Fig. 5.

Bestämning av minsta tändspänning för ett par kolfiber PETN-blandningar.

Anordningen i fig. 3 fylldes med ca 5 mg kolfiber PETN enligt recept 1 och 2 och pressades sedan. En kondensator på 100 μ F uppladdad till olika spänningar urladdades sedan genom blandningen. Spänningen hos kondensatorn vid urladdningen registrerades på ett oscilloskop med kamera varigenom reaktionstid efter tändspänningspåslag och tillförd elektrisk energi kunde mätas.

Efter pressning med 1000 kp/cm² behövdes en kondensatorspänning på ca 40 V för att få säker tändning (plexiglasskivan splittrad i små bitar). Den från kondensatorn tillförda elektriska energien blev då ca 30 mJ och reaktionstiden ca 150 μ s.

En höjning av presstrycket till 2000 kp/cm² medförde en sänkning av värdena till 25 V, 10 mJ och 50 μ s respektive.

Avståndet mellan elektroderna efter pressningen var ca 0.7 mm

Experiment med en elektrisk sprängkapsel med kolfiber PETN-tändning.

Dr Lovecy vid Ministry of Aviation Supply i England har konstruerat sprängkapseln som visas i fig. 6 (privat brevväxling 14 jan. 1971 och Brittiskt pat.nr.1.196.114, 26.8.1966) och gjort några experiment med den. Anordningen har en pipa bestående av ett rör av stål försedd med en ändplugg och en centrumelektrod som är elektriskt isolerad från pipan i pipans bakre del.

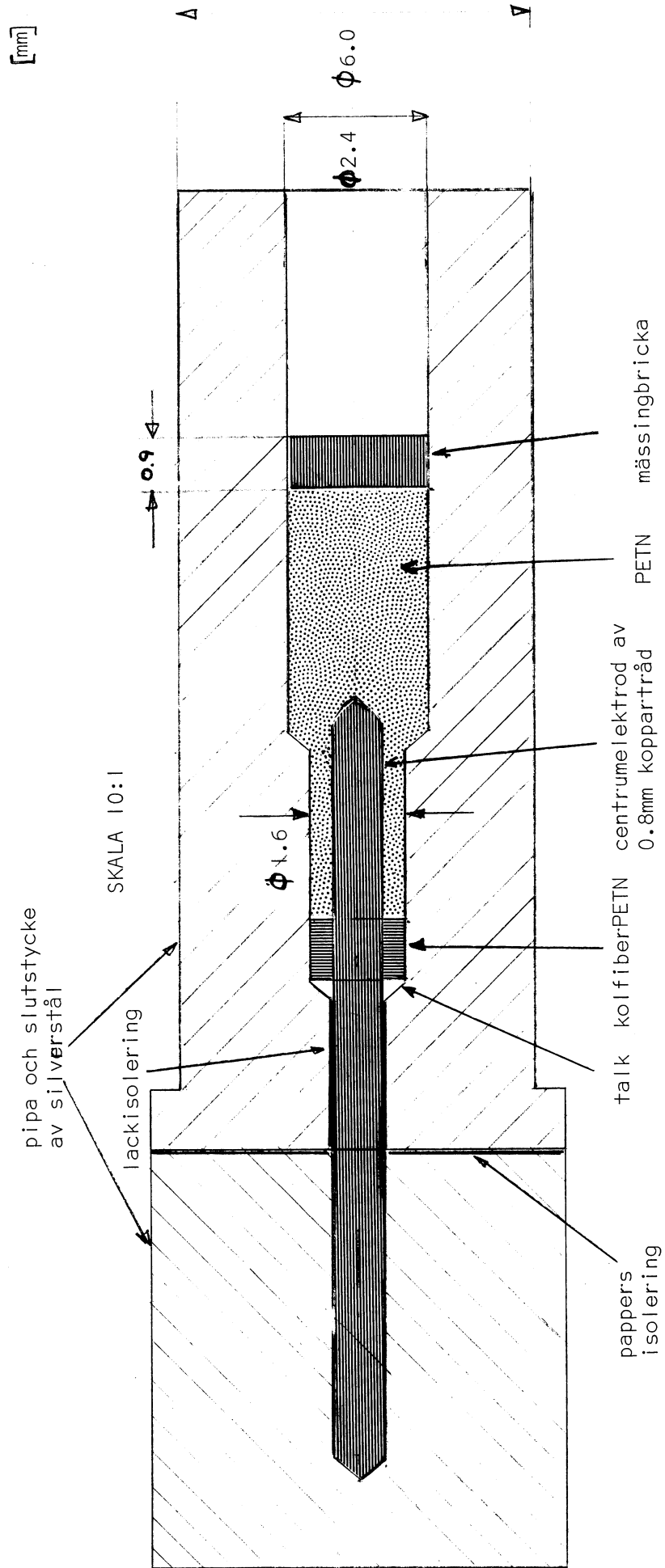
För tändning laddas med några mg kolfiber-PETN runt centrumelektroden, därefter laddas med ren PETN upp till ca 5 mm från pipans mynning och slutligen placeras en mässingbricka ovanpå sprängämnespelaren.

Enligt Lovecys teori om anordningens funktion driver det tryck som uppstår vid kolfiberpentylens tändning medelst en elektrisk ström sprängämnespelaren framför sig mot pipans mynning. Om ett föremål t.ex. ett sprängämne placeras omedelbart vid pipans mynning kommer brickan och sprängämnespelaren att kollidera med detta. Vid kollisionen skickas en stötvåg tillbaka genom sprängämnespelaren. När denna stötvåg når förbränningszonen slår förbränningen där om till detonation som fortplantar sig framåt mot pipans mynning där den initierar det vid mynningen placerade sprängämnet. Lovecy kallar denna övergång från förbränning till detonation i sprängämnespelaren för "Augmentation by Collision Pressure" (ACP), en tidigare okänd mekanism för initiering.

Experimenten nedan syftade till att utröna något om anordningens funktions sätt, förmåga att initiera sprängämnen och dess utvecklingsmöjligheter.

Laddning av sprängkapseln.

Ca 2 mg talk vibrerades ned i botten på sprängkapselns pipa (se fig. 6) som el.isolering mellan botten och kolfiber-PETN. Därefter fylldes ca 3 mg kolfiber-PETN på och pressades med en dorn som var urborrad för centrumelektroden. Ren PETN ca två laddningsdiameter i taget pressades sedan ned i pipan. Slutligen placerades mässingbrickan ovanpå sprängämnespelaren och pressades fast.



Sprängkapsel.
Fig.6

Mätning av mässingbrickans hastighet.

Mässingbrickans hastighet när den lämnat pipan mättes genom att brickan fick passera genom två tunna barriärer på känt avstånd från varandra var-dera bestående av två tunna Al-folier (tjocklek 0.009 mm). När brickan passerade genom en barriär kortslöts de två Al-folierna och en elektrisk puls erhöles från en pulskrets. De två pulser som erhöles leddes in på en elektronisk tidintervallmätare som gav gångtiden mellan barriärerna varigenom hastigheten kunde beräknas.

Mätning av tillförd elektrisk energi och aktionstid.

Genom att med ett oscilloskop registrera tändkondensatorns spännings-tid förlopp (fig. 7) kunde den tillförda elektriska energin W beräknas ur

$$W = \frac{c}{2} (U_0^2 - U_1^2)$$

där c är tändkondensatorns kapacitans, U_0 den spänning som tändkondensatorn uppladdats till och U_1 tändkondensatorns spänning vid tidpunkten t_1 när pippladdningen tänt och förbränningsgaserna lämnar mynningen.

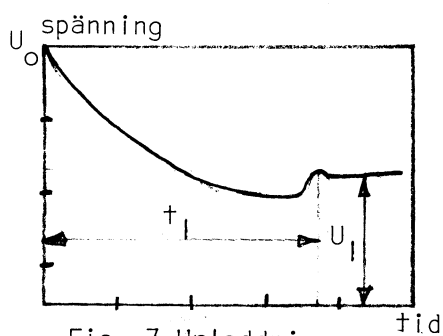


Fig. 7 Urladdning av tändkondensator.

Genom att placera en vittnesplåt 15x15x2 mm vid mynningen på pipan elektriskt isolerad från denna erhålles en elektrisk puls ur en pulskrets när brickan lämnade mynningen. Samtidig registrering

av tändkondensatorns urladdningsförlopp visade att den karakteristiska uppgången i kondensatorspänningen som syns på fig. 7 tidsmässigt överensstämmer med att brickan lämnar mynningen.

Experimentella resultat.

För att bestämma till vilken hastighet en detonerande PETN-laddning av samma dimensioner och i en likadan inneslutning som i Lovecy-sprängkapseln accelererar den i pipan placerade mässingbrickan gjordes ett experiment med anordningen som visas i fig. 8. Hx-20 tändpärlan initierade detonation i pentylen som fick accelerera brickan. Hastigheten uppmättes till 1150 m/s.

I tabell I sid. 13. redovisas resultaten av några mätningar med Lovecy-sprängkapslar.

Aktionstiden. Ur tabellen kan ses, att om tändspänningen höjs ca en faktor 3 (från 30 till 100 V) sänks aktionstiden i motsvarande grad. De spräng-

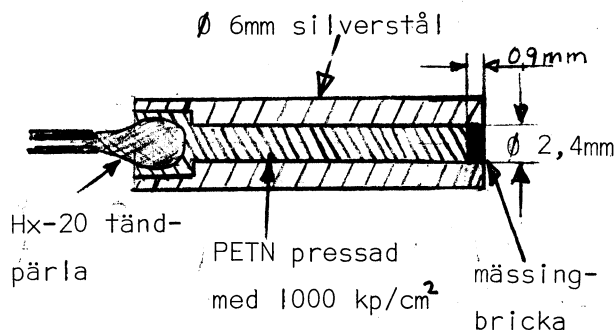


Fig. 8 Anordning för acceleration av mässingbricka

kapslar där kolfiberpentylen pressats med 2000 kp/cm^2 hade en avsevärt kortare aktionstid än de som pressats med 1000 kp/cm^2 .

Brickans hastighet ändrade sig inte markant för olika tändspänningar, eller presstryck hos kolfiberpentyl eller pentyl. Om PETN 5-15 μ laddades i pipan i stället för PETN 30-70 μ sjönk hastigheten från ca 1100 m/s till ca

850 m/s. Detta visade sig också i olika förmåga att initiera sprängämnen.

För att studera accelerationsförloppet hos brickan kortades pipan på sprängkapsel nr 8 av 4 mm, varefter den laddades på samma sätt som t.ex. nr 1, 2, 3 och 4. Brickans front var nu i höjd med mynningen och brickan hade nu endast en accelerationssträcka av 0.9 mm innan den helt lämnat mynningen mot tidigare ca 5 mm.

Hastigheten sänktes då från ca 1100 m/s till 750 m/s. Sprängkapslarna nr 11 och 12 som laddats ca 4 mm högre än normalt upp i pipan så att brickans front var i höjd med mynningen gav hastigheten 880 m/s.

Tändenergien.

En höjning av kolfiberpentylens presstryck från 1000 kp/cm^2 till 2000 kp/cm^2 sänkte tändenergien vid 100 V från ca 120 mJ till ca 90 mJ. Den tillförda tändenergien sänks också om tändspänningen sänks (jämför nr 10 och 11). Den lägsta tändenergi som noterats (ca 20 mJ) var för sprängkapsel nr 11 där kolfiberpentylen pressats med 2000 kp/cm^2 och som tändes med 100 μF kondensatorn uppladdad till 30 V.

Förmåga att initiera sprängämnen.

Sprängkapslar som laddats med PETN (30-70 μ) i pipan så att mässingbrickans front var ca 4 mm från pipans mynning:

Initierade:

1. En presskropp av PETN ($\rho = 1.65 \text{ g/cm}^3$, oflegmatiserad) diam 6 mm, längd 8 mm i direkt kontakt med mynningen
2. En PETN-kropp som ovan placerad 20 mm framför pipans mynning

Initierade ej:

3. En Hexotolkropp (presstryck 1000 kp/cm^2) diam. 6 mm, längd 8 mm i direkt kontakt med mynningen (3 försök)
4. En PETN-kropp (Bofors $\rho = 1.53 \text{ g/cm}^3$ flegmatiserad med 10% paraffin) diam. 15 mm, längd 6 mm, placerad 10 cm framför mynningen
5. En PETN-kropp som i (4) som placerats i direkt kontakt med mynningen

Om pipan laddades med PETN 5-15 μ i stället för med 30-70 μ :

Initierade ej:

6. En PETN-kropp som i (1)

Sprängkapsel som i (1) men där mässingbrickan utelämnats:

Initierade:

7. En PETN-kropp som i (1) i kontakt med mynningen

Sprängkapsel laddad med PETN 30-70 μ i pipan ända upp till mynningen (ingen mässingbricka):

Initierade:

8. En pressad PETN-kropp (Bofors $\rho = 1.53 \text{ g/cm}^3$ flegmatiserad med 10% paraffin) diam. 15 mm, längd 8 mm i kontakt med mynningen
9. En pressad Hexotolkropp ($\rho = 1.57 \text{ g/cm}^3$) diam. 10 mm, längd 15 mm i kontakt med mynningen

Sprängkapselns funktionsmekanism.

Brickans rörelseenergi hos de sprängkapslar som laddats med PETN 5-15 μ var ca 50% av den som sprängkapslar med PETN 30-70 μ visade varför man kan anta att all pentyl ej förbränts när pipan var laddad med PETN 5-15 μ .

Sprängkapslar som laddats med PETN 5-15 μ i pipan visade efter avfyrning en svag diametervidgning av hela pipans längd, vilket tyder på en relativt långsam reaktion med låga tryck. Dessa sprängkapslar kunde ej ens initiera oflegmatiserad PETN vid mynningen.

Sprängkapslar som laddats med PETN 30-70 μ i pipan visade en betydligt kraftigare deformation av pipan.

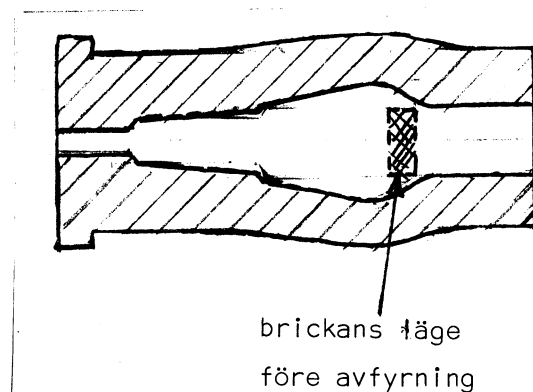


Fig. 9 Snitt av avfyrad sprängkapsel

kraftigare deformation av pipan.

Fig. 9 visar ett snitt av en sådan avfyrad sprängkapsel som laddats så att mässingbrickan var ca 4 mm från mynningen.

Deformationen visar att trycket varit som störst på det ställe där pipladdningen slutade.

Trycket och alltså även accelerationen är relativt stor under brickans rörelse den första milli-

metern för att sedan snabbt avta. Antag att brickan accelerats av ett konstant tryck när den befinner sig i pipan och att man kan försumma den hastighetsökning som brickan får när den lämnat pipan. Hastigheten 1150 m/s hos brickan (vikt 35 mg) uppnådd på sträckan 5 mm (sprängkapsel nr 2) motsvaras då av ett medeltryck av ca 10 kbar. Hastigheten 750 m/s uppnådd under sträckan 1 mm (pipan avkortad 4 mm) motsvaras av ett medeltryck av ca 22 kbar (sprängkapsel nr 9). En sprängkapsel som laddats så att mässingbrickans front var i jämnhöjd med mynningen (4 mm längre pipladdning än nr 9) accelererade brickan till 870 m/s, vilket motsvaras av medeltrycket ca 30 kbar.

Sprängkapslar som laddats så att mässingbrickans front var ca 4 mm från mynningen förmådde ej initiera pressad hexotol, vilket däremot de sprängkapslar gjorde där mässingbrickan utelämnats och pipladdningen gick ända upp till mynningen på pipan.

De utförda experimenten ger inte något stöd för att Lovecy's "ACP"-mekanism (se sid. 6) är betydelsefull för initieringsförloppet. Experimenten ovan ger i stället stöd för följande funktionssätt. Den elektriska strömmen upphetar snabbt kolfibertrådarna till en temperatur betydligt över den omgivande pentylens antändningstemperatur. På ett stort antal ställen kommer då ett snabbt termiskt sönderfall av den kolfiberblandade pentylen att ske (volymtändning) med en snabb tryckstegring som följd.

Förbränningen sprider sig framåt i pipans pentylladdning med ökande tryck och hastighet. När pipan laddats med PETN 30-70 μ sker detta så snabbt att de i pipan bildade förbränningsgaserna som har hög temperatur och högt tryck inte hinner skjuta den oreagerade pentylen framför sig i pipan. Brickans hastighet i de sprängkapslar som laddats så långt upp i pipan att mässingbrickans front var i höjd med mynningen anger att någon fullt utbildad detonation inte äger rum vid mynningen. (870 m/s Jämfört med 1150 m/s för fullt utbildad detonation i anordningen i fig. 8).

När pipan varit laddad med PETN 5-15 μ har uppenbarligen förbränningen skett så långsamt att en stor mängd av pentylen kunnat lämna pipan innan den sönderfallit.

Den finkornigare (5-15 μ) pentylen har en betydligt lägre gaspermeabilitet än den grovkornigare (30-70 μ) efter pressning i pipan. Att kunna ha en hög gaspermeabilitet utan att behöva ge alltför stort avkall på laddningstätheten gynnar övergången till snabb förbränning och detonation /1/.

Tabell 1.

nr	Spänning på 100 μ F tänd- kondensator (V)	k-PETN kvalitet ¹⁾	PETN kvalitet ¹⁾	Presstryck (kp/cm ²) k-PETN	Presstryck (kp/cm ²) PETN	brickans hastighet m/s	aktions- tid (μ s)	tändenergi (mJ)	Anm.
1	100	kP 1	P 1	1000	1000	1180	-	-	Laddad så att ca 4 mm av pipan fram till mynning var fri
2	"	"	"	"	"	1120	46	-	"
3	"	"	"	"	"	1100	52	-	"
4	"	"	"	"	"	990	-	-	"
5	"	"	"	"	"	-	53	ca 130	"
6	30	"	"	"	"	-	157	-	"
7	"	"	"	2000	2000	1070	65	ca 25	"
8	"	"	P 2	2000	1000	850	-	-	"
9	100	"	P 1	1000	"	750	56	ca 120	Pipan avkortad 4.0 mm så att mässingbrickans front var i höjd med mynningen
10	"	"	"	"	"	-	55	ca 120	"
11	30 V	"	"	2000	1500	880	57	ca 20	Laddad så att mässingbrickan var i höjd med mynningen
12	100 V	"	"	"	1000	880	20	ca 90	"

1) k-PETN 1: kolfiber-PETN 1/8

kolfiber: $\phi = 0.01$ mm $L = 0.2 \pm 0.1$ mm

PETN: 5-15 μ

P 1: PETN: 30-70 μ nästan sfäriska korn

P 2: PETN: 5-15 μ oregelbundna korn

Utvecklingsmöjligheter.

Problemet med fördröjning av sprängkapslar av Lovecityp med kolfiber-tändning kan inte lösas på konventionell väg med pyroteknisk fördröjningssats. En framkomlig väg bör vara fördröjning av tändströmmen på elektronisk väg med en enkel miniatyriserad fördröjningskrets i anslutning till sprängkapseln.

De ovan beskrivna experimenten har bl.a. bidragit till våra kunskaper om förbrännings övergång till detonation i sekundärsprängämnen och därigenom gett erfarenheter som kan användas vid konstruktion av en primär-sprängämnescfri sprängkapsel med den konventionella tändpärlan och fördröjningssatsen som bas. I tabell II nedan presenteras jämförelsedata för några momentsprängkapslar.

Tabell II. Jämförelsedata för några olika momentsprängkapslar.

Sprängkapsel typ	Min.tänd-spänning(V)	Min.-tänd-energi(mJ)	Min-tänd. imp.(A ² .ms)	Resist. (Ω)	Min.tänd-ström (A)
Lovecity-sprängkapsel	ca 20	ca 15	ca 20	ca 2 ¹⁾	ca 15-25
SE	" 1	" 3	" 4	" 1.5	" 0.3
VA	" 4.5	" 30	" 100	" 3.5	" 1.3
Hx-20	" 15			" 20	" 0.7

- 1) Mätt med ohmmeter typ G-Norma
(mätspänning 50 mV). När tändspänningen (30-100 V)
kopplas på sjunker resistansen till 0,5-1 Ω.

Referenser.

1. Belayev A.F., Korotkov A.I, och Sulimov A.A. "Breakdown of Surface Burning of Gas-Permeable Porous Systems", Combustion, Explosion, and Shock Waves, Vol 2, nr 3, 1966.
2. Brown A.J., Collins M. "Explosion Phenomena Intermediate between Deflagration and Detonation". Office of the chief of Research and Development, Department of the Army, Washington, DC. 20310, 1967.

Författarna ber att få tacka professor C.H. Johansson för de synpunkter han bidragit med vid diskussionerna och det intresse han visat.