

Brandstichtende uitwerking van projectielen op verpakte kardoezen

mr. ir. J. J. Janswoude

Prins Maurits Laboratorium TNO

De gevoeligheid van verpakt kruit voor in de verpakking inslaande granaatscherven staat momenteel uit tweeërlei oogpunt in de belangstelling. Enerzijds is er het gevaar van vijandelijk vuur als bron van de initiërende stimulus (d.w.z. hetgeen de ontbranding in gang zet); men spreekt in dat verband veelal van kwetsbaarheid in plaats van gevoeligheid. Anderzijds is er het streven naar plaatsing van complete schoten (overeenkomende aantallen ontstekers, drijf- en brisantladingen) op pallets. Kwetsbaarheid en logistiek stellen daarbij tegenstrijdige eisen. Voorheen is in dat verband al de mogelijkheid van sympathische detonatie beoordeeld. Zowel in de Verenigde Staten (BRL) als in Nederland is daarvoor onderzoek verricht naar de detonatieoverdracht tussen de granaten op een pallet onderling en tussen een granaat en de kruitladingen op een zelfde pallet. Voor de hand liggende relevante initiatiemechanismen zijn verder „cook-off” door brand in de omgeving van de granaat of de kruitlading, en het inslaan van scherven. Tabel 1 geeft grosso modo de mogelijkheden voor onderlinge wisselwerking tussen deze verschijnselen.

Het onderzoek, waarvan hier enkele resultaten worden vermeld, geldt vooral de kwetsbaarheid van de kruitlading. Voorheen is in verband met verschijnselen van cook-off al aandacht besteed aan een mogelijke verhoging van de brandvertragende werking van het in de universele munitiekist IJ nr 138 tot verpakkingsmateriaal voor drijf-ladingen M3C1 dienende karton. Ook nu is weer in het bijzonder aan deze verpakkingsconfiguratie gedacht, maar de resultaten kunnen mutatis mutandis ook van belang zijn voor anderszins in metalen omhullingen, zoals kokers en patroonhulzen, verpakte kruitladingen.

Intentie

Bij het oriënterende onderzoek naar het gevaar van projectielen als ontstekingsbron voor verpak-

TABEL 1
Schematische weergave van de interacties tussen stimuli en effecten van kruitladingen en granaten

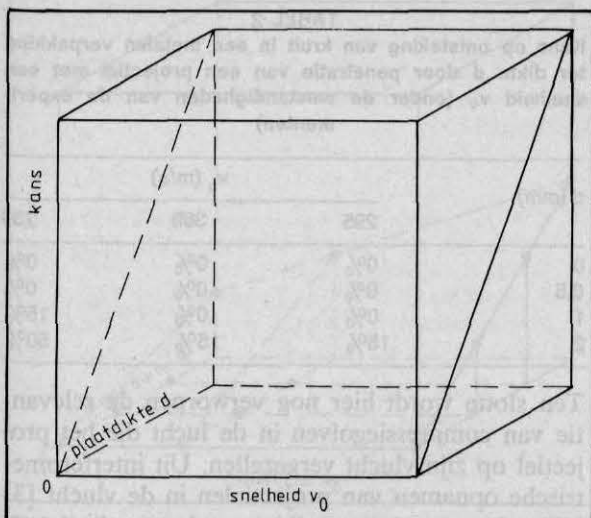
Object	Te initiëren door	Productie van
Compleet schot	Kruitlading A. Hitte ² B. Blast ¹ C. Scherven ¹	A. Hitte B. Blast
	Granaat A. Hitte ² B. (Sterke) blast ¹ C. Scherven ¹	B. Blast C. Scherven

¹ Door vijandelijk vuur („kwetsbaarheid”) of door detonatie van de in de nabijheid opgeslagen munitie (detonatie van een granaat of sympathische detonatie van kruit) („opslagveiligheid”).

² Door deflagratie van de in de nabijheid opgeslagen munitie („opslagveiligheid”).

te kruitladingen heeft niet de bedoeling voorgezet dat onderwerp reeds nu diepgaand te behandelen. Veeleer is uitgekeken naar grootheden die onder omstandigheden, waarbij het a priori en min of meer a prima vista onzeker is of zich ontsteking zal kunnen voordoen, van doorslaggevende invloed kunnen zijn: men kan zeggen dat van enkele grootheden het marginale effect comparatief statisch is bekeken. Daarbij is vooral gedacht aan de aard en de snelheid van de scherf en de wijze van verpakking van het kruit. Eventueel kan daarna worden gezien of de kwetsbaarheid voor optimalisatie in aanmerking komt.

Opmerkelijk is misschien dat, terwijl scherfwerking op springstof en springstofgranaten in de literatuur vrij veelvuldig aan de orde komt, aan de mogelijkheid van ontsteking van kruitladingen door scherven aanzienlijk minder aandacht is besteed, hoewel toch bijvoorbeeld Reeves [1] heeft opgemerkt: „fragments often perforate the casing of HE projectiles without triggering any explosive or burning reactions”.



Afb. 1 Grove weergave van de samenhang tussen enerzijds de kans op ontsteking door een projectiel en anderzijds de snelheid v_0 van het projectiel en de dikte d van de metalen verpakking van de kardoes, als wordt uitgegaan van hypothese 1 (warmteoverdracht aan het kruit uit de gepenetreerde plaat)

Afb. 3 Grove weergave van de samenhang tussen enerzijds de kans op ontsteking door een projectiel en anderzijds de snelheid v_0 van het projectiel en de dikte d van de metalen verpakking van de kardoes, als wordt uitgegaan van hypothese 3 (warmteafgifte aan het kruit door wrijving)

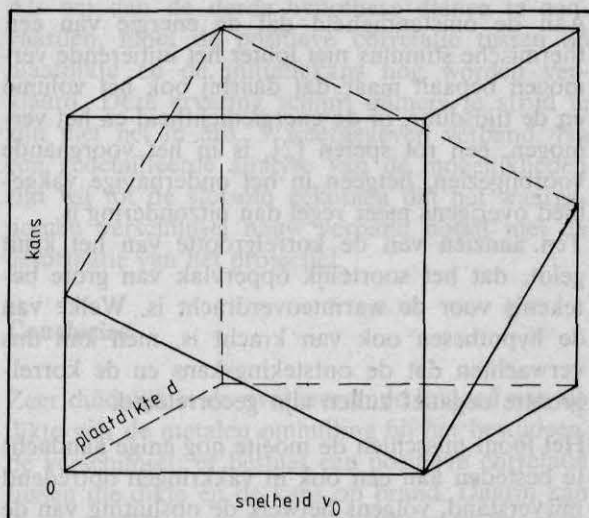
Fysische mechanismen

Ter verklaring van de brandstichtende werking van scherven en andere projectielen op kardoezen komen vooreerst drie mechanismen in aanmerking:

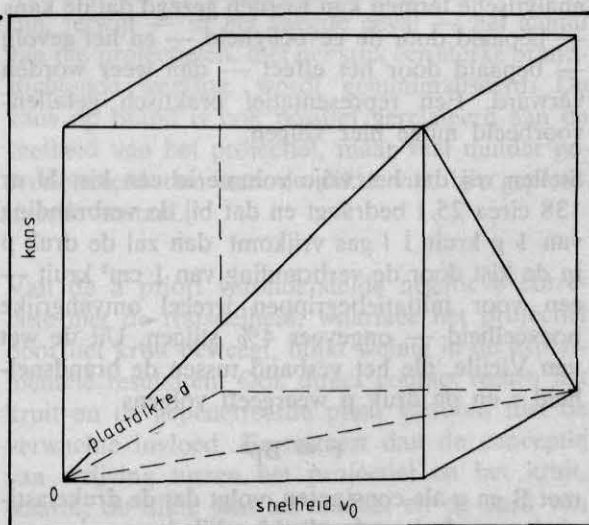
1. warmteoverdracht aan het kruit uit een door het projectiel gepenetreerd metalen onderdeel van de verpakking van de kruitlading, met name de wand van de kist of de koker, of de patroonhuls,
2. warmteoverdracht aan het kruit uit het projectiel, waarvan de temperatuur door penetratie en wrijving kan zijn gestegen, en
3. warmteoverdracht aan het kruit door wrijving tussen kruit en projectiel.

Onder de vigeur van de hypothese 1 zal de ontstekingskans hoofdzakelijk afhangen van de hoeveelheid energie die bij penetratie in de metalen plaat wordt geabsorbeerd. Deze energie wordt goeddeels bepaald door de bij de deformatie verrichte arbeid, die louter afhangt van de dikte van de plaat. Aldus komt men tot het in afb. 1 weergegeven verband.

Op grondslag van de tweede hypothese zal de contacttijd tussen het kruit, of de kruitkorrel, en



Afb. 2 Grove weergave van de samenhang tussen enerzijds de kans op ontsteking door een projectiel en anderzijds de snelheid v_0 van het projectiel en de dikte d van de metalen verpakking van de kardoes, als wordt uitgegaan van hypothese 2 (warmteoverdracht aan het kruit uit het projectiel)



het projectiel als de doorslaggevende grootheid moeten worden beschouwd. Deze contacttijd is omgekeerd evenredig met de snelheid van het projectiel in het kruit, die zowel afhangt van de snelheid waarmee het projectiel de plaat treft als van de plaatdikte. Het resultaat van een en ander is in afb. 2 aangegeven.

De derde hypothese leidt tot de conclusie dat de door de wrijving tussen het projectiel en het kruit vrijkomende energie de belangrijkste parameter is. Dan komt slechts een positieve correlatie met de snelheid (wet van Stokes) en dus een negatieve correlatie met de plaatdikte voor, wat in afb. 3 is aangeduid.

Aan de omstandigheid dat de energie van een thermische stimulus niet louter het initiërende vermogen bepaalt maar dat daarbij ook het volume en de tijdsduur, of de energiedichtheid en het vermogen, een rol spelen [2], is in het voorgaande voorbijgezien, hetgeen in het onderhavige vakgebied overigens meer regel dan uitzondering is.

Ten aanzien van de korrelgrootte van het kruit geldt, dat het soortelijk oppervlak van grote betekenis voor de warmteoverdracht is. Welke van de hypothesen ook van kracht is, men kan dus verwachten dat de ontstekingskansen en de korrelgrootte negatief zullen zijn gecorreleerd.

Het loont misschien de moeite nog enige aandacht te besteden aan een ook in vakkringen optredend misverstand, volgens hetwelk de opsluiting van de te beproeven stof van meer dan geringe invloed op de gevoeligheid ervan zou zijn. Deze conclusie is bewust of onbewust gegrondvest op een generalisatie van de voor het effect van een explosie van een explosieve stof geldende wetten. In risico-analytische termen kan worden gezegd dat de kans — bepaald door de gevoeligheid — en het gevolg — bepaald door het effect — dan weer worden verward. Een representatief praktisch getallenvoorbeeld moge hier volgen.

Stellen wij dat het vrije volume in een kist IJ nr 138 circa 25 l bedraagt en dat bij de verbranding van 1 g kruit 1 l gas vrijkomt dan zal de druk p in de kist door de verbranding van 1 cm³ kruit — een voor initiatiebegrippen irreëel omvangrijke hoeveelheid — ongeveer 4% stijgen. Uit de wet van Vieille, die het verband tussen de brandsnelheid r en de druk p weergeeft volgens

$$r = Bp^n$$

met B en n als constanten, volgt dat de drukelasticeit van de brandsnelheid gelijk is aan

$$p \, dr/(r \, dp) = n.$$

Voor kruit geldt approximatief in SI-eenheden $B = 6 \cdot 10^{-4}$ en $n = 0,76$, zodat de brandsnelheid tijdens het initiatieproces met circa

$$dr/r = n \, dp/p = 3\%$$

zal toenemen. De invloed van deze verandering is verwaarloosbaar. De opsluiting is dus een irrelevante grootte als het gaat om de gevoeligheid en de mogelijkheid van initiatie door externe thermische stimuli. Dit resultaat strekt zich uiteraard níét uit tot het effect of de uitwerking; daar gelden regimes met andere wetten.

TABEL 2

Kans op ontsteking van kruit in een metalen verpakking ter dikte d door penetratie van een projectiel met een snelheid v_0 (onder de omstandigheden van de experimenten)

d (mm)	v_0 (m/s)		
	295	369	730
0	0%	0%	0%
0,5	0%	0%	0%
1	0%	0%	15%
2	15%	15%	50%

Ten slotte wordt hier nog verworpen de relevantie van compressiegolven in de lucht die het projectiel op zijn vlucht vergezellen. Uit interferometrische opnamen van projectielen in de vlucht [3] blijkt dat aan de voorzijde van het projectiel de drukveranderingen het sterkst zijn. Doordat echter het golffront daar aan het voorwerp raakt, en het vrije volume in het kruit ook nog vrij groot is, blijft het effect beperkt. In ieder geval is de tijdsduur waarin de compressie gehandhaafd blijft te kort om een gereede overdracht van de warmte van de lucht — waarvan de warmtecapaciteit ook nog gering is — naar het kruit mogelijk te maken.

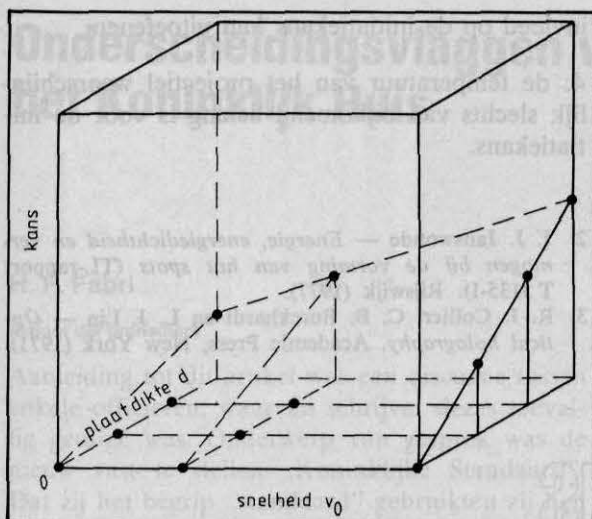
Wel kunnen compressieverschijnselen de aard van de warmteoverdracht van het projectiel naar het kruit en de warmteproductie door wrijving aan de lucht goeddeels bepalen.

Experimenten

Om enig inzicht te verwerven in het mechanisme van de brandstichtende werking van scherven in kruit, is getracht uit te maken welke van de verschijnselen, vervat in de drie hypothesen, dominant kan worden geoordeeld. De daarvoor ondernomen experimenten onderscheiden zich in vier fasen:

1. twee experimenten met een brisantgranaat (40 mm, L/70) in een bunker op M3C1-deelladingen nr 5;
2. vier experimenten met een brisantdoelgranaat (40 mm, L/70) in het vrije veld op M3C1-deelladingen nr 5;
3. 60 schoten met een Lee Enfield .303" op M3C1-deelladingen nr 5;
4. 240 schoten met een Lee Enfield .303" op met kraalkruit (RB nr 101) gevulde kistjes.

In tabel 2 is een combinatie van enkele resultaten vermeld. De trends zijn in afb. 4 gegeven. Men is



Afb. 4 Grove weergave van de samenhang tussen enerzijds de kans op ontsteking door een projectiel en anderzijds de snelheid v_0 van het projectiel en de dikte d van de tot verpakking dienende metalen plaat, zoals die volgt uit de experimenten vermeld in tabel 2

dan geneigd de ontstekingsfrequentie sterk positief aan de plaatdikte d gerelateerd te achten en matig positief aan de initiële snelheid v_0 , en dus te kiezen voor het mechanisme vervat in de eerste hypothese, namelijk warmteoverdracht aan het kruit uit de gepenetreerde plaat. Daartegen verzet zich evenwel het verschijnsel dat ook bij het ontbreken van direct contact tussen de plaat en de kardoes hoge ontstekingsfrequenties bleken voor te komen.

Van het alternatief, de hypothesen 2 en 3 — onderscheidenlijk warmteoverdracht aan het kruit uit het projectiel en warmteafgifte aan het kruit door wrijving — wordt de eerste verworpen om de daaruit resulterende averechtse uitwerking van de snelheid vermeld op de eerste positie van de laatste rij van tabel 2, waar het projectiel haast in het kruit blijft steken zonder een hoge initiatiekans op te leveren. Dan resteert nog de derde hypothese. Wij negeren nu maar de onregelmatigheid die voortvloeit uit de verwikkeling dat de formulering van de hypothesen op de kennistheoretische gronden in wezen enuntiatief is en niet limitatief.

Daaraan valt, als kernprobleem van de bij de beoefening der natuurwetenschappen verrichte zingeving, lang niet de aandacht ten deel die het verdient; want al kunnen de natuurwetenschappen een methodologische confrontatie met de menswetenschappen glansrijk weerstaan, ook hun grondslag is nog altijd schamel.

Als wij dan de derde hypothese dienen te aanvaarden, moet de positieve correlatie tussen de plaatdikte en de initiatiekans nog worden verklaard. Deze ervaring schijnt immers in strijd te zijn met het in afb. 3 weergegeven verband. Na een gedetailleerde analyse van de mogelijkheden zijn wij tot de slotsom gekomen dat het waargenomen verschijnsel nauw verband houdt met de deformatie van het projectiel.

Conclusies

Zeer duidelijk is de overheersende invloed van de dikte van de metalen omhulling bij het bestudeerde verschijnsel: er bestaat een positieve correlatie tussen die dikte en de kans op brand. Daarin kan een aanwijzing worden gevonden voor de juistheid van de veronderstelling dat men dergelijke omhullingen bij de verpakking van kruitladingen hetzij zeer dun, hetzij zeer dik dient te kiezen; zo zal — in het eerste geval — de brandstichtende werking van de penetrerende projectielen gering zijn, terwijl — in het tweede geval — het aantal van die projectielen, met per stuk een sterke brandstichtende werking, wordt geminimaliseerd. De kans op brand is ook positief gerelateerd aan de snelheid van het projectiel, maar veel minder geprononceerd dan aan de dikte van het gepenetreerde metaal.

Van de a priori veronderstelde negatieve correlatie met de restsnelheid, waarmee het projectiel door het kruit beweegt, blijkt weinig in de experimentele resultaten. Ook direct contact tussen het kruit en de gepenetreerde plaat vertoont niet de verwachte invloed. Er resteert dan de conceptie van wrijving tussen het projectiel en het kruit, waarbij de dikte van het metaal en de aard van het projectiel van invloed zouden zijn via een regoereus doorwerkende verandering van de demping van het projectiel in het kruit.

In overeenstemming met de verwachting blijkt een kleine korrelgrootte van het kruit de initiatiekans te verhogen.

Resumerende wordt gesteld dat uit de experimenten is gebleken dat:

1. granaatscherven en andere projectielen zowel verpakte als niet verpakte kruitladingen kunnen initiëren;
2. de initiatiekans hoger kan zijn naarmate de

metalen omhulling, zoals de wand van de kist of de koker of de patroonhuls, van de kruitlading dikker is;

3. de projectielsnelheid een zwakke verhogende

Literatuur

1. H. J. Reeves — *An empirically based analysis on the response of HE munitions to impact by steel fragments* (BRL-memorandum report nr 2031). Aberdeen Proving Ground, Maryland (1970).

invloed op de initiatiekans kan uitoefenen;

4. de temperatuur van het projectiel waarschijnlijk slechts van bijkomend belang is voor de initiatiekans.

2. J. J. Janswoude — *Energie, energiedichtheid en vermogen bij de vorming van hot spots* (TL-rapport T 3135-I). Rijswijk (1977).
3. R. J. Collier, C. B. Burckhardt en L. J. Lin — *Optical holography*. Academic Press, New York (1971).

MS
150

Maandelijks wordt de Militaire Spectator toegezonden aan alle leden van de Koninklijke Vereniging ter Beoefening van de Krijgswetenschap.

Ten einde de toezending aan thans nog actief dienende officieren van Land- en Luchtmacht, tevens lid van de Koninklijke Vereniging ter Beoefening van de Krijgswetenschap, ook na hun dienstverlating zeker te stellen, wordt belanghebbenden verzocht de ledenadministratie van de Koninklijke Vereniging (Karel Doormanlaan 274, 2283 BB Rijswijk) in voorkomend geval ter zake in te lichten.