



# EXPLOSIVOS DE ALTA POTÊNCIA PARA PROJÉTEIS DE ARTILHARIA

Sigurd Back

*A despeito da existência de grande número, de compostos químicos explosivos, há 80 anos que o TNT continua a ser escolhido como carga para projéteis de artilharia de alto teor explosivo. Esta escolha é baseada no rendimento, estabilidade, custo e produção em grande escala deste explosivo.*

*Mais recentemente, o RDX passou a ser a segunda carga química mais usada em termos de volume, embora a sua utilização em combinações com o TNT represente, provavelmente, a sua aplicação mais importante. Neste artigo, o autor discute os recentes trabalhos de aperfeiçoamento realizados na Companhia Bofors AB, na Suécia, para melhorar ainda mais o rendimento e a segurança destes explosivos de créditos firmados há longo tempo.*

**C**om um ponto de fusão de 80°C, o trinitrotolueno (TNT) pode ser fundido e introduzido em invólucros de projéteis; e, no entanto, pode também resistir a altas temperaturas-ambiente quando as munições estão armazenadas ou em serviço. Contudo, a estabilidade térmica da carga explosiva depende da pureza da carga química. O TNT que se obtém comercialmente contém frequentemente pequenas quantidades de impurezas, tais como TNT assimétrico, dinitrotolueno e, por vezes, mononitrotolueno. Tais impurezas formam misturas eutéticas com o TNT simétrico puro, baixando o seu ponto de fusão (Fig.

As munições armazenadas podem atingir altas temperaturas nas regiões tropicais, ou durante o ve-

irão em climas temperados. Se a carga química é uma mistura eutética imprópria, essas temperaturas podem ser suficientemente elevadas para causarem exsudação. As conseqüências podem incluir a migração de compostos explosivos para áreas potencialmente perigosas como, por exemplo, a rosca do parafuso do detonador. Fendas e outros espaços vazios podem também aparecer na carga química, incluindo a possibilidade da carga se afastar da base do projétil. Torna-se então possível uma detonação prematura. Para minimizar a exsudação, a Bofors Nobelkrut utiliza um método de produção que permite obter TNT de alta pureza. O ponto de solidificação indica a pureza, e o ponto de solidificação acima de 80,6°C obtido pela Bofors corresponde à mais baixa

Fig. 1 .

## Misturas eutéicas com 2,4,6-TNT

Segundo componente	Peso % de 2,4,6-TNT	Ponto de fusão em °C
2-MNT	16	-15,6
2,4-DNT	47,4	+46,3
2,3,4-TNT	59	+67,3
2,4,5-TNT	61	+58,0

exsudação medida pelo ensaio padrão utilizado na República Federal da Alemanha (Fig. 2). A Bofors Nobelkrut anunciou recentemente a sua decisão de construir uma nova fábrica em Karlskoga para produção de TNT de alta pureza.

#### Problemas de fusão e solidificação de cargas químicas

O TNT líquido solidifica sob a forma de cristais colunares, com a maioria alinhada ao longo do mesmo eixo, e com o seu eixo mais longo perpendicular às pare-

des do invólucro (Fig. 3). Esta grosseira textura granular é imprópria para cargas químicas de projéteis de artilharia. O material é inerentemente frágil e quebradiço, e a sua baixa densidade, comparada com uma carga química mais homogênea, reduz a massa da carga e a sua propensão para detonar.

Quando solidifica, o TNT líquido sofre uma contracção de cerca de 12%. Com um coeficiente de expansão térmica seis vezes superior à do aço, a carga química do projétil sofre uma contracção maior do que a do invólucro do

Fig. 2

## Exsudação de TNT segundo o ensaio padrão da Alemanha Federal

Ponto de solidificação °C	%	Exsudação Diâmetro da marca em papel de filtro mm
80,17	1,0	100
80,35	0,35	50
80,44	0,31	45
80,53	0,23	38
80,66	0,11	25



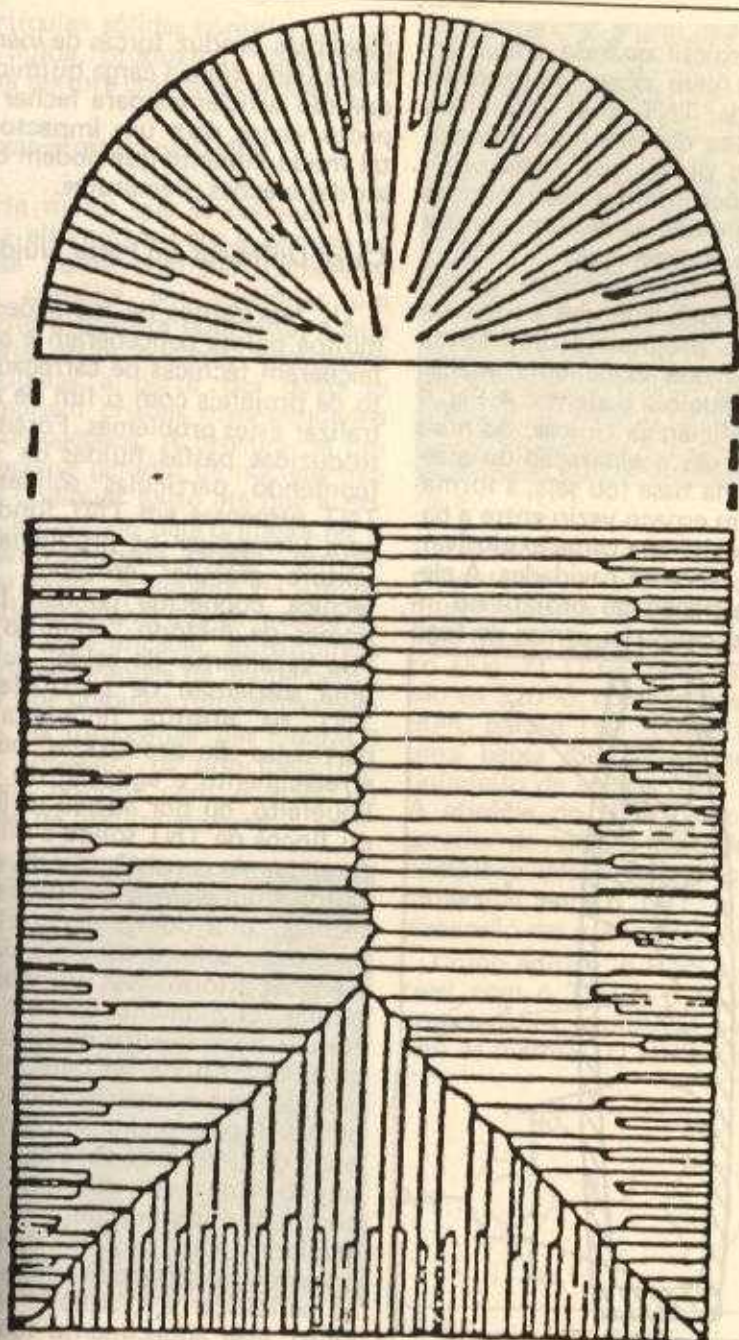


Fig. 3

mesmo projétil quando ambas arrefecem. Além disso, os próprios cristais de TNT têm diferentes coeficientes de expansão térmica em vários planos, os quais originam tensões internas sob repetidas subidas e descidas de temperatura durante a armazenagem.

Com estas propriedades, o controle de qualidade das cargas de TNT para projéteis é uma tarefa demorada que exige uma análise muito minuciosa e atenta. A Fig. 4 ilustra deficiências típicas. As mais perigosas são a separação ou afastamento na base (ou seja, a formação de um espaço vazio entre a base do projétil e a carga explosiva), e outras fendas e cavidades. A elevada aceleração do projétil no interior do cano das armas de fogo

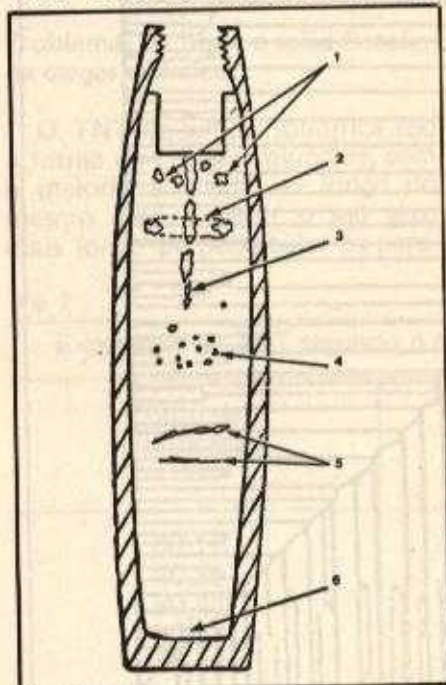


Fig. 4

modernas produz forças de inércia que atuam sobre a carga química e que são suficientes para fechar espaços vazios com um impacto de tal modo violento que podem causar detonações prematuras.

### Carga Químicas em Pasta Fluida

Os fabricantes de munições de muitos países conceberam e aperfeiçoaram técnicas de carregamento de projéteis com o fim de neutralizar estes problemas. Foram introduzidas pastas fluidas de TNT (contendo partículas sólidas de TNT suspensas em TNT fundido) para ultrapassar os problemas da textura granular grosseira. Esta técnica, conhecida também pelos nomes de método "cremoso" ou "de vazamento da calda", utiliza uma suspensão de partículas de TNT na mistura líquida. As partículas são produzidas, ou por arrefecimento e agitação do TNT líquido, ou por adição de lascas ou flocos de TNT sólido à mistura fundida. A consistência da pasta fluida é um elemento crítico nesta técnica, e a dosagem correta de partículas sólidas depende das dimensões e forma das próprias partículas. O momento correto para efetuar o vazamento da mistura líquida só pode ser determinado pela perícia e experiência do responsável pela operação. Uma vez que a pasta fluida é vazada quando se encontra muito próximo o seu ponto de consolidação, a boca do invólucro do projétil deve ser aquecida para impedir que o TNT ao solidificar a bloqueie. No entanto, esse aquecimento funde as



partículas sólidas contidas na pasta fluida, produzindo localmente a textura granulosa grosseira.

### Hexanitrostilbene (HNS)

Há muito que se concluiu que a alternativa para a técnica da pasta fluida com partículas sólidas consiste em adicionar um agente à mistura líquida, o que varia assim núcleos, minúsculas partículas a partir das quais se formariam cristais mais pequenos e homogêneos. A procura de um agente gerador de núcleos não teve qualquer êxito até que a Boeing introduziu pela primeira vez o hexanitrostilbene (HNS), tornando-se assim a pioneira da utilização deste aditivo que se revelou de grande eficácia, substituindo os cristais grandes de alinhamento axial por grânulos finos e homogêneos. As fotografias das Figuras 5 e 6 revelam os principais processos obtidos com o HNS no tempo da textura granular.



Fig. 5



Fig. 6

O HNS é um derivado do TNT, consistindo a sua molécula em duas moléculas de TNT ligadas por uma ligação dupla ao grupo metílico (Fig. 7). O seu ponto de fusão são os 320°C, comparados com os 80°C para o TNT. Possui também uma baixa solubilidade em TNT líquido de apenas 0,2% a 85°C. A eficácia do HNS como agente gerador de núcleos depende da sua complexa relação cristalográfica e molecular com o TNT, e da fina dimensão das suas partículas.

Como aditivo, o HNS é compatível com o TNT e o RDX, e as propriedades explosivas permanecem as mesmas. O HNS é também

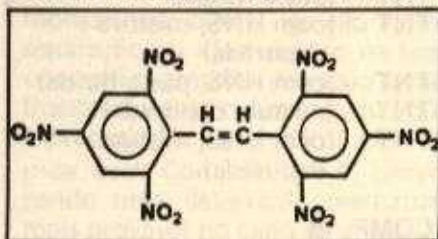


Fig. 7

muito estável. Utilizando o HNS, a Bofors efetuou o vazamento com uma mistura depurada ou pasta fluida muito diluída de TNT, obtendo uma estrutura de grânulos finos e sem alinhamento axial de cristais. A resistência à compressão desta carga química é quatro vezes a da mistura depurada de TNT, sendo superior à duma carga de pasta fluida com partículas sólidas (Fig. 8). A sua densidade é semelhante.

A melhoria das propriedades físicas reduz a ocorrência do perigoso fenómeno da separação ou afastamento na base. A carga química com HNS pode resistir às forças geradas pela sua própria contração, enquanto adere firmemente ao interior do invólucro do projétil — o qual sofre, evidentemente, uma contração menor, devido à diferença do coeficiente de expansão térmica. As cavidades e poro-

sidades na carga química, que podem ser causadas por ar aprisionado numa pasta espessa, são reduzidas ao mínimo pelo fato de ser possível usar como o HNS misturas depuradas ou muito diluídas. A possibilidade de obtenção de texturas granulares finas com uma mistura depurada permite eliminar a dependência da perícia do responsável pela operação, tradicionalmente associada ao vazamento da pasta fluida, facilitando a automatização do processo. A Bofors utiliza já TNT com HNS numa linha de carga automatizada.

### Compostos RDX/TNT

Depois do TNT, o RDX é o explosivo militar de utilização mais generalizada. Devido à sua alta sensibilidade ao impacto, deve ser atenuado para utilização militar. Como possui também um elevado ponto de fusão (cerca de

Fig. 8

Resistência à compressão

Explosivos	$\phi$ mm	L mm	Densidade g/cm <sup>3</sup>	Resistência à compressão MPa
TNT (mistura depurada)	23	22	1,58	2,0
TNT (pasta fluida)	23	22	1,62	8,3
TNT (com HNS, mistura depurada)	23	22	1,60	9,6
TNT (com HNS, pasta fluida)	23	22	1,61	10,4
TNT (mistura depurada)	58	50	1,54	2,3 ± 0,7
TNT (com HNS, mistura depurada)	58	50	1,58	9,3 ± 0,8
COMP B	30	30	1,68	8,8 ± 0,2
COMP B (com HNS)	30	30	1,68	13,2 ± 0,2



200°C) e uma forte tendência para a deflagração, não pode ser fundido e solidificado como o TNT, mas quando atenuado com cera ou polímeros pode ser comprimido em matrizes para formar cargas de menores dimensões.

No entanto, a principal aplicação do RDX em associação com TNT (e, por vezes, com um atenuador de cera) em composições tais como Cyclotol, Composition B ou, com a adição de alumínio em pó, HBX. Estes compostos podem ser fundidos e solidificados. Com os compostos de Cyclotol, é muitas vezes desejável o teor mais elevado possível de RDX para explorar a potência do explosivo, que é consideravelmente maior do que a do TNT. Inicialmente, formas de cristais e distribuição de dimensões desfavoráveis limitavam as concentrações de RDX a cerca de 50%. Contudo, o progresso das técnicas de cristalização teve como consequência a possibilidade de produção de cristais compactos e ainda um controle consistente das dimensões dos grânulos, que podem ser especialmente "talhados" para o desempenho de funções específicas. Por exemplo, Composition B contém 59,5% de RDX, 39,5% de TNT e 1% de cera, e combina uma "vocação para o vazamento" com um baixo grau de sedimentação (o depósito de partículas de RDX na mistura de RDX/TNT), resultando num teor consistente de RDX em toda a carga. O atenuador de cera foi também especialmente "tratado" de modo a distribuir-se uniformemente.

### Sedimentação Acelerada

Quando um teor máximo de RDX é exigido — por exemplo, em cargas especialmente formadas para concentrar a potência da detonação, e em outras aplicações de alto rendimento explosivo — é estimulada a sedimentação por meio da utilização de cristais de RDX mais grosseiros. A sedimentação rápida resultante produz uma densa concentração de RDX. Tipicamente, Cyclotols com 65% ou 70% de RDX produzirão concentrações de cerca de 75% de RDX na carga vazada.

### HNS em Compostos de RDX

Os problemas de detonação prematura provocados por pressões de recuo no interior do explosivo pela inércia causada pelas elevadas acelerações da artilharia moderna, especialmente no caso dos calibres maiores, foram já descritos anteriormente. Com Composition B, o mais extensamente utilizado dos explosivos de alta potência RDX/TNT para projéteis de artilharia, existe um risco ligeiramente maior de detonação prematura do que com uma carga de TNT. Os ensaios e a experiência prática demonstraram que a ignição numa separação ou afastamento na base ocorrerá a pressões de recuo semelhantes durante o disparo, mas que a propagação da ignição é mais rápida com Composition B, provocando uma detonação prematura mais provável no cano da arma.

Uma melhoria da aderência da carga explosiva às paredes do pro-

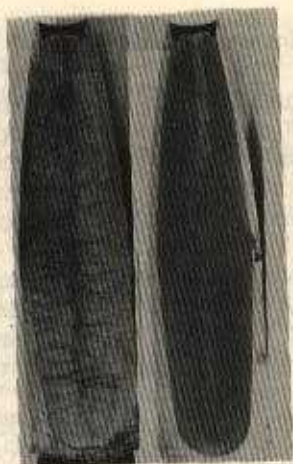


Fig. 9 "

Fig. 10

jétil reduz as probabilidades de separação na base, mas estimula a maior tendência da Composition B para abrir fendas em comparação com o TNT puro. Estas fendas ou fraturas verificam-se ao longo da "estrutura em forma de árvore"

criada no material fundido (Fig. 9). A adição de HNS a Composition B produz a característica estrutura de cristais, fina e sem orientação axial, e aumenta a resistência da matriz de TNT — reduzindo assim a tendência para fraturas (Fig. 10). O exame das cargas fundidas pode revelar o alinhamento característico da estrutura de cristais, mostrando que, ao arrefecer, a tensão foi distribuída uniformemente e libertada na totalidade da carga. A utilização de um aditivo plastificante pode eliminar até mesmo este tipo de estrutura. Quando o HNS é combinado com técnicas que fornecem uma melhor aderência às paredes do invólucro, os compostos RDX/TNT possibilitam a obtenção de explosivos de grande potência, com um mínimo de deficiência que possam provocar detonações prematuras.

*Sigurd Back é Engenheiro-Chefe do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento da Bofors Nobelkrut, de Bofors, na Suécia.*