

TNO-Defensieonderzoek

AD-A266 751



TNO-rapport

PML 1993-44

April 1993

Exemplaar no.: 9.

Prins Maurits Laboratorium TNO

Lange Kleiweg 137
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

Fax 015 - 84 39 91
Telefoon 015 - 84 28 42



TD
92-2032

Een beschrijving van de inleidende Cook-off
experimenten met TNT gevulde type IV
buizen

Auteur(s):

J.H.G. Scholtes
J.C. Makkus

DO-opdrachtnummer:

A80/KL/137

DTIC
ELECTE
JUL 14 1993
S E D

Rubriceringen

Rubricering bepaald door:

Ing. J.A. van Gool

Rubriceringsdatum:

12 oktober 1992

(Deze rubricering vervalt na 10 jaar)

Rapport:

ONGERUBRICEERD

Titel:

ONGERUBRICEERD

Samenvatting:

ONGERUBRICEERD

Bijlage(n):

ONGERUBRICEERD

Oplage:

20

Aantal pagina's:

(incl. bijlagen, excl. distr. lijst en RDP)

32

Aantal bijlagen:

2

DTIC DOCUMENT NOT NOTED

Accession for	
NTIS CRA&I	☒
DTIC TAB	☐
Unannounced	☐
Justification	
By	
Distribution/	
Availability Codes	
Dist	Avail and/or Special
A-1	

TDCK RAPPORTENCENTRALE

Frederikkazerne, gebouw 140
v/d Burchlaan 31 MPC 16A

TEL. : 070-3166394/6395

FAX. : (31) 070-3166202

Postbus 90701

2509 LS Den Haag



Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

TNO

83 7 13 0 1 9

410859

93-15885

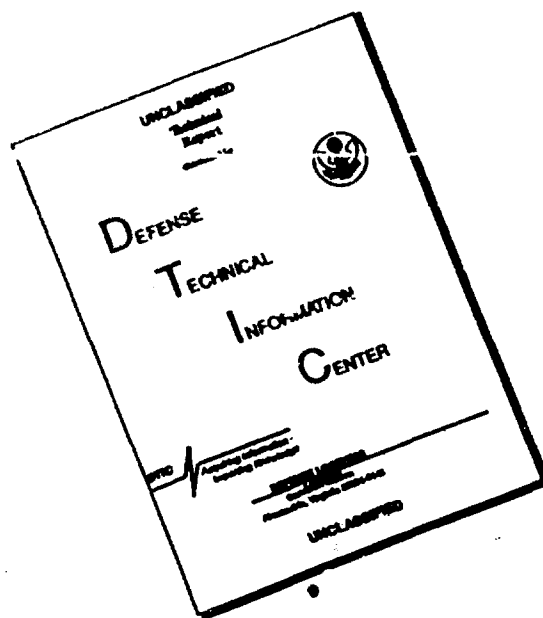


Nederlandse organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek

TNO-Defensieonderzoek bestaat uit:
het Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO,
het Prins Maurits Laboratorium TNO en het
Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.



DISCLAIMER NOTICE



**THIS DOCUMENT IS BEST
QUALITY AVAILABLE. THE COPY
FURNISHED TO DTIC CONTAINED
A SIGNIFICANT NUMBER OF
PAGES WHICH DO NOT
REPRODUCE LEGIBLY.**

Samenvatting

In de tweede helft van 1991 is een zevental Cook-off experimenten en een statische drukproef met buistype IV uitgevoerd. Dit rapport geeft een korte beschrijving van de huidige Cook-off opstelling, het beschrijft de handelingen die verricht zijn als voorbereiding op de testen en geeft kort weer hoe de Cook-off experimenten verlopen zijn. Verder geeft het aan wat er voor toekomstige experimenten veranderd of verbeterd moet worden.

Het doel van dit onderzoek is ervaring op te bouwen en inzicht te verkrijgen in het meten aan Cook-off testopstellingen. Het uiteindelijke doel is het ontwikkelen van een goed geïnstrumenteerde Cook-off-test om explosieve stoffen te kunnen kwalificeren en/of classificeren. Tenslotte kan met dit soort testen inzicht worden verkregen in het fenomeen Cook-off zelf, om uitspraken te kunnen doen over de uitwerking van een explosieve stof onder invloed van warmte.

Bij een aantal proeven is een plotselinge temperatuurval in het inwendige van de explosieve stof te constateren, die ons inziens het gevolg moet zijn van adiabatische expansie van de vloeistof tengevolge van een lekkage bij de doppen. Ook de temperatuurmeting op zichzelf laat nog te wensen over. Verder blijkt dat bij verandering van de systeemp parameters de regelaar de opwarming niet op de door ons gewenste lineaire wijze kan voortzetten. Ondanks deze problemen geven de experimenten ons de informatie voor de verbetering van de test setup. Ook blijkt dat de test meer informatie levert omtrent de inwendige processen die nodig zijn om het Cook-off proces te kunnen bestuderen en simuleren. De toekomstige experimenten zullen met een nieuwe temperatuurregelaar, nieuwe thermokoppel module en een verbeterde afdichting van de dop worden uitgevoerd.

Summary

Seven Cook-off experiments and a static pressure test with test-cylinder IV were carried out during the second half of 1991. In this report a brief description of the Cook-off test setup and preparing activities to perform the Cook-off test are given. A detailed description of the experiments and their results together with some modifications for future experiments are also presented.

The objective of the research programme is first to gather some experience and to obtain insight from Cook-off experiments. The ultimate goal is to develop a well-instrumented Cook-off test for qualification and classification of explosives. Finally, with this type of tests, it is possible to obtain insight in the Cook-off phenomenon itself, i.e. to predict the response of explosives subject to thermal heating.

Some of these seven experiments gave a sudden temperature drop as a result of a nearly adiabatic expansion of the TNT caused by a leak. The temperature measurement itself is not yet optimal and the temperature controller is not capable of giving a constant heating rate during the experiment.

Despite these difficulties, the tests gave us a good insight in how to improve the test setup for future use. The test setup also provides information about the temperature gradient inside the explosive substance, which is necessary to study and simulate the Cook-off processes.

Future experiments will be carried out with a new temperature controller, new thermocouple modules and a new construction of the caps.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING/SUMMARY	2
	INHOUDSOPGAVE	3
1	INLEIDING	5
2	KORTE BESCHRIJVING VAN DE COOK-OFF BUIS EN OPSTELLING	6
3	VOORBEREIDINGEN EXPERIMENTEN	8
3.1	Thermokoppelhouder	8
3.2	Afstelling apparatuur	9
3.3	Logboek van voorbereidingen, calibraties	13
3.4	Aansluiting testobject	14
4	DE EXPERIMENTEN	14
4.1	Inleiding	14
4.2	De Cook-off experimenten	14
4.3	Samenvatting experimenten	18
4.4	De statische drukproef	19
5	DISCUSSIE	21
6	CONCLUSIES	22
6.1	Toekomst	23
7	ONDERTEKENING	24
8	REFERENTIES	24

BIJLAGE 1 FIGUREN 7A TOT EN MET 7I

BIJLAGE 2 FOTO'S

1 INLEIDING

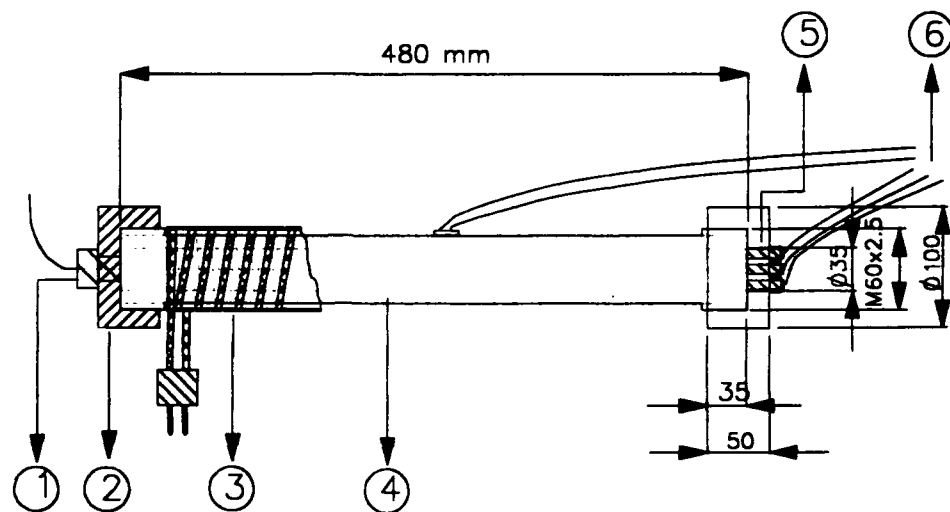
In het kader van de opdracht A80/KL/137 wordt onder de projectnaam "Thermische Initiatie" onderzoek verricht aan de ontwikkeling van testmethoden waarmee de responsie van explosieve stoffen onder invloed van een thermische stimulus kan worden bestudeerd. Enerzijds bestaat dit onderzoek uit het ontwikkelen, eventueel verbeteren en opbouwen van ervaring op het gebied van Cook-off met de reeds bestaande SCB-test uit het UN-boek [1]. Anderzijds bestaat het onderzoek uit het ontwikkelen van een eigen Cook-off testopstelling om, naast de eerdergenoemde punten, meer inzicht te krijgen in de inwendige warmte- en druk-processen die optreden tijdens een Cook-off reactie. Voor een beschrijving van de ontwikkeling én de testopstelling verwijzen we naar het rapport "A new Cook-off test at TNO-PML" [2].

In de periode van 24 september tot en met 15 oktober 1991 is een zevental inleidende Cook-off experimenten met gegoten TNT uitgevoerd. Tevens is een statische drukproef met een Cook-off buis verricht. Het doel van deze eerste zeven experimenten was ervaring op te doen met Cook-off experimenten en de hele testopstelling in zijn huidige configuratie te analyseren. Dit omvat onder andere de opwarmmethode, de temperatuur-controller en het data-acquisitie systeem (Notebook) met zijn bijbehorende electronica en thermokoppel aansluitingen.

De statische drukproef gaf ons inzicht in de bezwijkdruk van de huidig gebruikte Cook-off buis. Deze gegevens zullen zeer van pas komen bij de toekomstige implementatie van een drukmeter in het testsysteem. Dit meetrapport beschrijft eerst kort de opstelling en de in de experimenten gebruikte buis. Daarna worden de voorbereidingen van de experimenten bekeken. De experimenten zijn in het volgende hoofdstuk aan de beurt waarna als laatste de discussie, conclusies en toekomstige ontwikkelingen het rapport afsluiten.

2 KORTE BESCHRIJVING VAN DE COOK-OFF BUIS EN OPSTELLING

Figuur 1 geeft een schematische tekening van de bij de testen gebruikte cilinder.



Figuur 1 Schematische weergaven van de gebruikte cilinders

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| 1 Toekomstige drukmeter | 4 Stalen cilinder |
| 2 Schroefkap | 5 Thermokoppelfittingen |
| 3 Heater | 6 Thermokoppel aansluitingen |

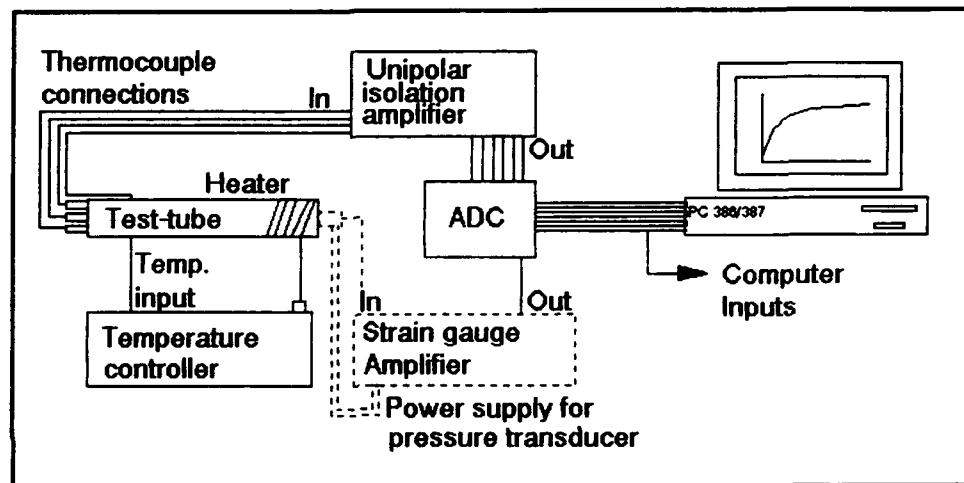
De stalen buis is gemaakt aan de hand van de constructie-tekening "Cook-off buis type IV". Er is bij dit type buis nog *geén* gebruik gemaakt van een constructie voor de afsluiting van de cilinderdop.

De buis heeft een lengte van 480 mm, een buitendiameter van 55 mm en een wanddikte van 10 mm. De constructie van de cilinder is dusdanig dat de schroefdraad van de speciaal geconstrueerde doppen op de buis ligt. Als verwarmingselement is een weerstandsdraad gebruikt die om de cilinder gedraaid wordt en voor een betere warmtegeleiding wordt opgevuld met thermisch geleidende kit. Het geheel wordt afgeschermd door een aluminium bescherm schild dat vastgezet wordt met buisklemmen.

In deze testserie met gegoten TNT zijn op twee metingen na zes thermokoppels gebruikt;

- vier om de temperatuurverdeling in het inwendige van de TNT te meten en
- twee voor temperatuurmeting van de buitenwand. Hierbij diende één koppel als terugkoppeling van de temperatuur voor de controller.

In figuur 2 is de totale opstelling schematisch weergegeven.



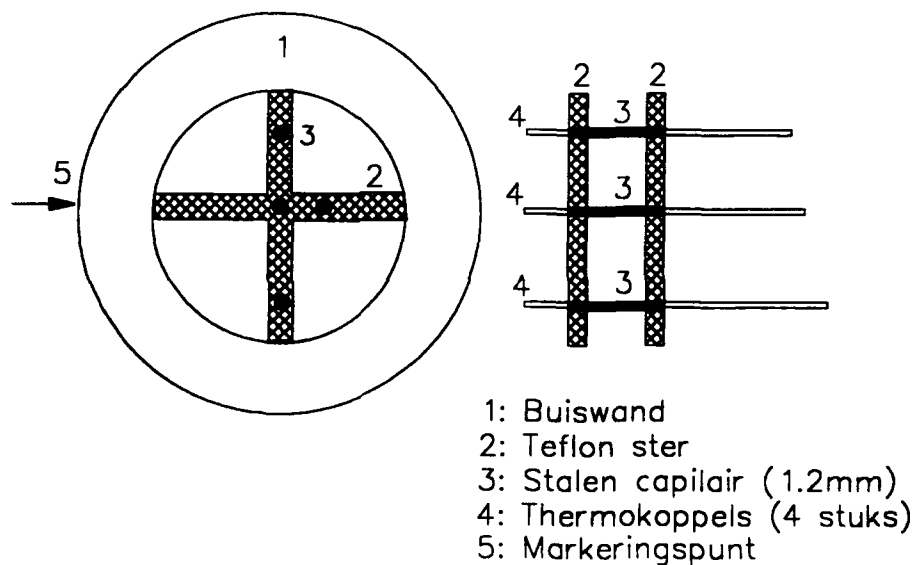
Figuur 2 Schematische tekening van gehele opstelling. De gestippelde onderdelen zijn nog niet aanwezig in de huidige opstelling

De spanning van het thermokoppel voor de temperatuurregeling van de buis wordt via kanaal zes van de unipolaire isolatieversterker doorgegeven (versterkingfactor 1.0) aan de Eurotherm controller zodat deze een terugkoppeling heeft voor de gewenste instelling van de opwarmingsnelheid en eindtemperatuur van de testbuis. De andere vijf thermokoppels worden ook via de isolatieversterker met een factor 6.4 versterkt doorgegeven aan de input van de ADC die op zijn beurt de signalen voert aan de computer die, na omrekening van spanning naar temperatuur, deze opslaat. Deze laatste data-acquisitie stap wordt door een programma met de naam "Notebook" (versie nummer 4.12) uitgevoerd.

3 VOORBEREIDINGEN EXPERIMENTEN

3.1 Thermokoppelhouder

Er zijn acht testcilinders gemaakt zoals beschreven in de constructie-tekening "Cook-off buis type IV". Om de thermokoppels op hun plaats te houden is een speciale houder ontwikkeld zoals aangegeven in figuur 3.



Figuur 3 Thermokoppel houder in het midden van de cilinder

Er worden per buis twee teflon sterren gemaakt, met op de aangegeven plaatsen gaatjes, om de stalen capillairen te kunnen plaatsen. Daarna kunnen de thermokoppels in de capillairen geschoven worden. Op de buitenkant van de cilinder, is tijdens de montage van deze constructie aangegeven waar de tak van de ster zonder thermokoppel-doorgang zich bevindt nadat de dop stevig aangedraaid is. Hierna werden de buizen gevuld met gegoten TNT.

N.B.: Helaas is de dichtheid niet gemeten daar het vullen onder tijdsdruk moest gebeuren.

3.2 Afstelling apparatuur

3.2.1 Calibratie ADC en afregeling van de isolatieversterker

Het meten van kleine spanningen gaat in de praktijk gepaard met ruis. Zolang de spanningen van de thermokoppels direct aan de ADC¹ aangesloten waren, was deze zonder isolatieversterker niet groter dan 2 bits van de ADC. Daar onze experimenten eindigen in een explosie kan het gevaar optreden dat de voedingspanning van de heater in contact komt met de thermokoppeldraden met het gevolg dat de spanning van 220 Volt via de ADC over de processorplaten van de PC komt te staan. De ingangen van de thermokoppels moeten daarom worden gescheiden voordat ze de ADC in gaan via een isolatieversterker waarbij de verbinding optisch tot stand komt. De gebruikte isolatieversterker was niet optimaal voor thermokoppelmetingen. Het meetsignaal bevatte een brom met een frequentie van 50 Hz die als aliasing over het meetsignaal kwam te staan.

Om de signaal/ruisverhouding te verbeteren hebben we het volgende gedaan:

- versterkingsfactor van 100 naar 6.4 gebracht zodat de isolatieversterker bouwsteen in een gunstiger traject van zijn versterkingsgebied komt;
- de kantelfrequentie van het tweede orde laagdoorlaatfilter naar 8 Hz teruggebracht;
- via een weerstand de lage ingang van de differentiële spanningen van de thermokoppels aan aarde leggen.

Na deze maatregelen was de ruis teruggebracht naar circa 1.5 °C. Op een meetbereik van 0 tot 400 °C is dit acceptabel.

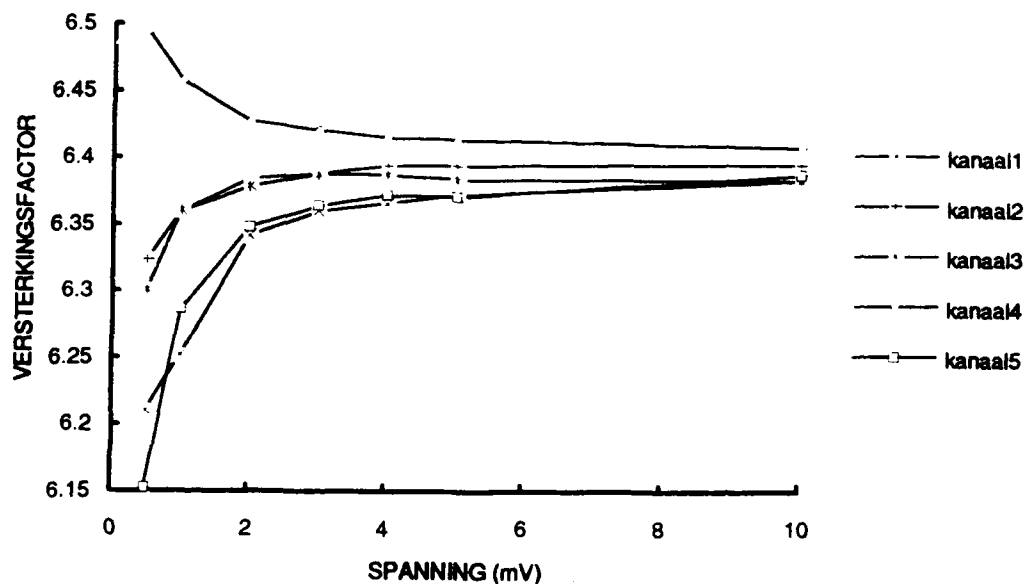
Zoals reeds vermeld wordt de temperatuurmeting met K-type thermokoppels via een isolatieversterker met een aan een computer aangesloten ADC gedaan. Voordat met de meting kon worden begonnen, moest de ADC worden gecalibreerd en de isolatieversterker op een zodanige manier worden ingesteld dat binnen het bereik van de ADC (0-10 Volt), de resolutie maximaal was.

Met een maximaal te meten temperatuur van ongeveer 400 °C, een spanningstap van 0.04 mV/°C voor een K-type thermokoppel en een meetbereik van de ADC (signaal word 100x versterkt) tussen 0 en 0.1 Volt, moet de isolatieversterker ongeveer een versterkingfactor van 6.4 hebben namelijk:

$$400 \cdot 0.04 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 1.6 \text{ Volt}$$

¹ ADC betekent AnalooG Digitaal Converter

Vermenigvuldigd met 6.4 is dit iets meer dan 10 Volt en dus het bereik van de gecalibreerde ADC. De afregeling van de versterkerfactor op de precieze waarde van 6.4 gaf enige problemen zoals te zien is in figuur 4. Beneden een aangeboden spanning van 1mV, overeenkomend met een temperatuur tussen 0-25 °C, zijn de verschillen maximaal 6 % ten opzichte van het versterkingsniveau bij 10 mV. Na een kleine afwijking bij lage spanningen zien we dat voor alle versterker-kanalen de versterkingsfactor de waarde van 6.4 nadert. Verder kan nog worden vermeld dat de nauwkeurigheid van de door ons gebruikte K-type thermokoppels niet groter is dan plus of min 2.2 °C tussen 0 en 1000 °C.



Figuur 4 Versterkingsfactor isolatieversterker als functie van de aangeboden spanning

Om de gemeten en versterkte spanning van de thermokoppels om te kunnen zetten in temperaturen in graden Celsius is er via een kleinste kwadraten methode aan de hand van 51 datapunten (uit het temperature measurement handbook van Omega Engineering, Inc. [3]) een fit gemaakt voor een zesde graads polynoom. De keuze viel op een zesde graads polynoom omdat dan de rekentijd voor het data-acquisitie programma voor de temperatuurberekeningen nog niet onacceptabel groot wordt en de nauwkeurigheid van de fit binnen de grenzen blijft met een standaardafwijking voor de temperatuur van 9.55×10^{-2} °C. De schatting voor de constanten van het polynoom is als volgt:

$$y = \sum_{i=0}^6 a_i \cdot x^i$$

$a_0 = -5.364E-02$ $a_4 = -1.482E-02$
 $a_1 = 2.575E+01$ $a_5 = 5.982E-04$
 $a_2 = 7.905E-01$ $a_6 = -9.22E-06$
 $a_3 = 1.651E-01$

Deze data zijn in het data-acquisite programma "Notebook" ingebracht onder de filenaam "temp1.ply", "temp2.ply" etc.

3.2.2 De temperatuur-controller

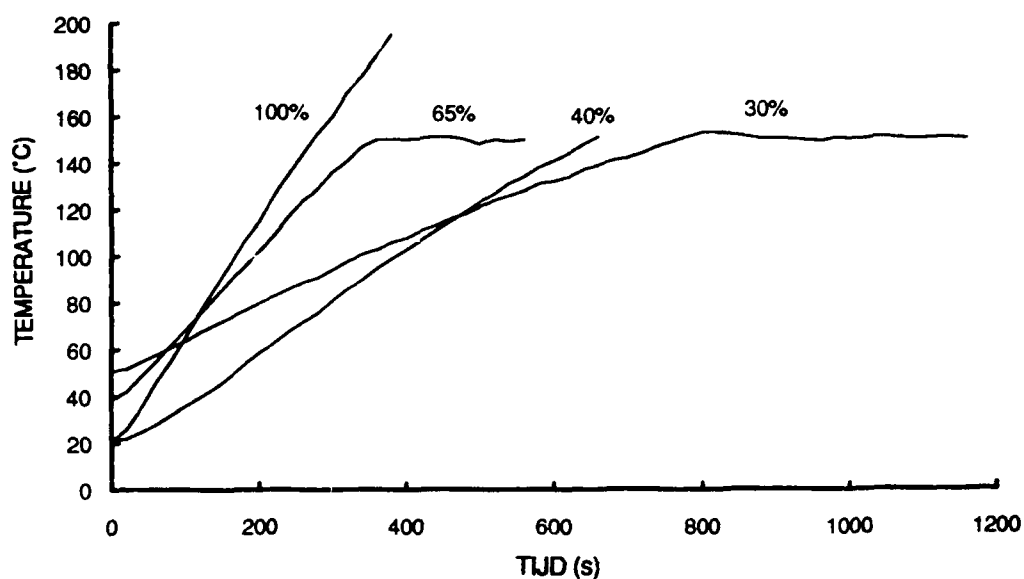
Om een zo goed mogelijke opwarming en benadering van de eindtemperatuur te bereiken kan een aantal parameters van de temperatuur-controller ingesteld worden. Dit betreft onder andere de volgende instellingen. De eindtemperatuur van de opwarming kan ingesteld worden tussen de 0 en 400 °C. Verder kan men met de parameters Pb, Ti en Td de constanten van de PID-regelaar instellen waarbij de eerste parameter de proportionele versterkingsfactor is en de tweede en de derde parameter respectievelijk de integratie- en differentiatie-tijdconstante van de regelaar zijn. Een volgende waarde is de manier van benaderen van de eindtemperatuur aan de hand van de AP parameter. Deze kan een waarde tussen de 0 en 3 aannemen. De laatste twee belangrijke parameters zijn HC en HL. De eerste geeft het aantal seconden van een warmte cyclus aan de tweede het percentage van het maximale vermogen. Dit houdt in dat, als de warmte cyclus 10 seconden duurt en het maximale vermogen op 70 procent gezet is, bij snelle opwarming (beginfase van een opwarming), de heater 7 seconden aan staat en 3 seconden uit.

De instellingen van de temperatuur-controller was als volgt:

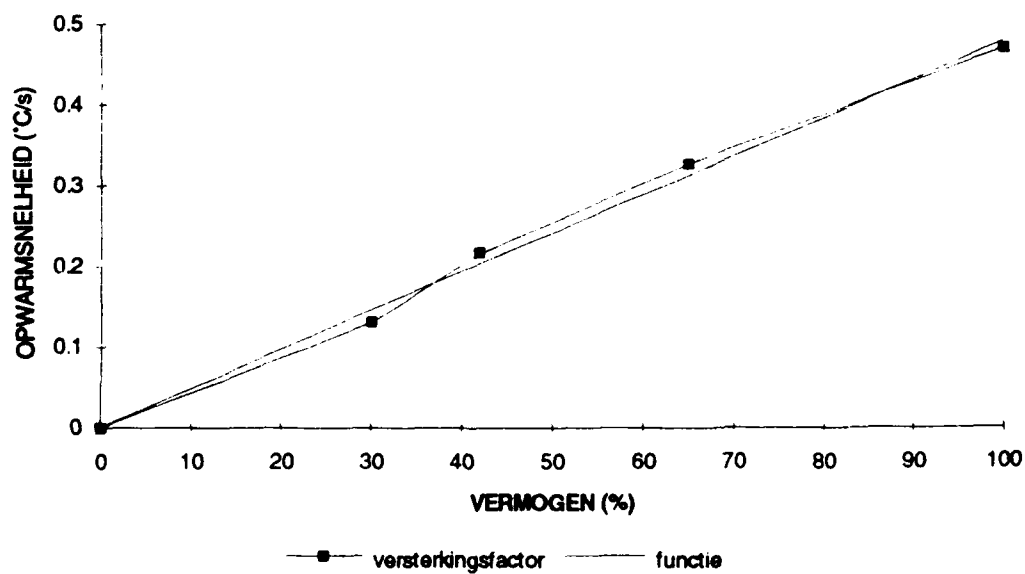
Pb	1.5	AP	2.5
Ti	45	HC	1
Td	5	HL	40

Voor de instelling van de temperatuur-controller van "Eurotherm" is een aantal voorbereidende testen uitgevoerd met een buis gevuld met zand. Figuur 5a geeft de temperatuur als functie van de tijd bij vier standen van het maximale vermogen. De opwarmsnelheid als functie van het percentage van het ingestelde vermogen geeft, zoals in figuur 5b te zien is, een redelijk lineair verband. Hierbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat deze testen met zand uitgevoerd zijn tot een maximale temperatuur van 200 °C. In het begin van de opwarming, waarbij nog niet te veel warmte aan de omgeving wordt afgestaan, is de maximale opwarmsnelheid bij vol vermogen van de regelaar ongeveer 0.47 °C/s. Deze is mogelijkerwijs te verdubbelen door in plaats van één, twee weerstandsdraden voor de opwarming te gebruiken.

(a)



(b)



Figuur 5

(a) Temperatuur als functie van de tijd bij verschillende standen van het vermogen
(b) Opwarmingsnelheid van de buis als functie van het vermogen in procenten

3.3 Logboek van voorbereidingen, calibraties

Nadat met de isolatieversterker was geëxperimenteerd, werd deze via de computer en ADC aan de PC aangesloten en zijn de volgende handelingen verricht:

- 11-09-91: Calibreren en controleren van de ADC tussen 0-10 Volt zoals beschreven in de handleiding van Burr-Brown;
- 12-09-91: Calibratie van de isolatieversterker en instelling van de versterkingsfactor: kanalen 1-6 een versterkingsfactor 6.4;
- 13-09-91: Nadat de versterkingsfactoren zo goed als mogelijk waren ingesteld zijn in "Notebook" de schaaufactoren, afhankelijk van de gemiddelde versterking van elk kanaal tussen 3 en 10 mV, bepaald en ingevoerd;
- 18-09-91: Kanaal 6 van de isolatieversterker is op een versterkingsfactor 1.0 gesteld, aangezien dit kanaal niet via de ADC en de computer ingelezen wordt, maar direct de spanning aan de Euroterm Controller doorgeeft;
- 20-09-91: Er zijn drie proefopwarmingen uitgevoerd met een buis gevuld met zand. Het vermogen van de temperatuur-controller was respectievelijk op 30, 65 en 100 % van het maximale vermogen ingesteld. Dit gaf een goede schatting voor het percentage van het vermogen voor een opwarmsnelheid van 0.2 °C/s, namelijk 42 %;
- 23-09-91: Met nog een test op 42 % van het maximale vermogen kregen we een nog betere schatting voor de gewenste opwarmsnelheid. Verder werd nog aan de hand van een erlenmeyer gevuld met warm water en een gecalibreerde thermometer gekeken wat de thermokoppels en de controller aangaven ten opzichte van deze thermometer. Het resultaat was: thermometer 48 °C, controller 49 °C en kanaal 1 en 2 respectievelijk 48.0 en 47.9 °C.

Na het eerste experiment:

- 26-09-91: Stand van de verzwakking in "Notebook" werd onafhankelijk van de werkelijke versterkingsfactor van elk kanaal op $\frac{1}{6.4} = 0.15625$ gezet.

Na het tweede experiment:

- 1-10-91: Er is gebruik gemaakt van een andere weerstand, verbonden aan aarde, op het termination bord. Er is tevens gekeken naar de isolatieversterker; met name naar kanaal 4. Het bleek dat er verschil in versterking was tussen een pas aangezette en een al langdurig aanstaande versterker;
- 3-10-91: Op 2 en 4 oktober zijn alle kanalen van de isolatieversterker nog eens extra bijgesteld en zien er dan uit zoals figuur 4 toont.

3.4 Aansluiting testobject

Nadat de elektronische apparatuur zo goed mogelijk was ingesteld en de buizen gevuld waren met TNT, kon een testcilinder worden aangesloten voor een eerste test.

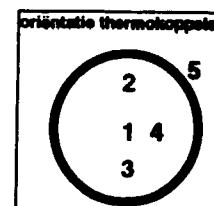
De thermokoppels werden via thermokoppeldraden van 20 meter bevestigd aan de ingangstekkers van de isolatieversterker en de referentiekoppels werden in smeltend ijs gedompeld. De aansluitdraden voor de heater werden aan de uitgang van de temperatuur-controller aangesloten. Uit veiligheidsoverwegingen is het van belang een goede verbinding van de stalen buis met aarde te maken.

Voor het begin van elke test werd nog gekeken of alle thermokoppels functioneerden. Nadat deze en alle aansluitingen waren gecontroleerd kon met een test worden gestart.

4 DE EXPERIMENTEN

4.1 Inleiding

In de paragraaf die hierop volgt zijn de experimenten beschreven. Alle experimenten, tenzij anders aangegeven, zijn met dezelfde temperatuur-controller parameters uitgevoerd: horizontaal opgehangen waarbij de thermokoppels gesitueerd waren zoals in de tekening hiernaast is aangegeven.



4.2 De Cook-off experimenten

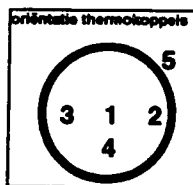
24-09-91: Het eerste Cook-off experiment in deze serie werd uitgevoerd met een TNT gevulde buis, horizontaal op twee blokken hout geplaatst. De temperatuur van de controller werd op 85 °C ingesteld zodat na langdurige opwarming en doorstroming de gehele inhoud van de buis een homogene temperatuur zou bereiken. Nadat het grootste gedeelte van de TNT deze temperatuur bereikt had besloten we, voor een betere homogene temperatuur, toch de controller op 110 °C te zetten. Na enige tijd op deze temperatuur gestaan te hebben werd met de "echte" proef begonnen.

Uit figuur 7a (bijlage 1) blijkt dat nog niet alle TNT gesmolten was. De temperatuur van thermokoppels 1 en 4 komen na respectievelijk 300 en 400 s boven de temperatuur van thermokoppel 3 uit, hetgeen te verklaren is uit de oriëntatie van de thermokoppels in het inwendige van de buis. Thermokoppel 1 en 4 zitten boven thermokoppel 3 en geven ten gevolge van de inwendige convectie een hogere temperatuur. Na ongeveer 1200 s sloeg de controller alarm en zette de heater af. De controller bleek (onopzettelijk) ingesteld op de maximale temperatuur van 210 °C. Deze temperatuur werd vervolgens verhoogd zodat de proef kon worden voortgezet.

Bij circa 1600 s zien we de temperatuur in het inwendige bij alle thermokoppels langzaam oplopen door de zelfopwarming van de explosieve stof. Na 1800 s gaat deze zelfopwarming zo snel dat de buis met geweld uit elkaar klappt.

De buis werd in twee grote stukken teruggevonden. De dop met de thermokoppelfittingen vonden we sterk gebold terug, zonder fittingen, gedeeltelijk ingescheurd. De dop zat nog aan een restant van de buis vast. Ook was te zien dat de dop een stuk van de buis geschoven was. De buis had geen blauwkleuring ondergaan!

27-09-91: Het tweede Cook-off experiment werd uitgevoerd met een TNT gevulde buis, horizontaal op twee blokken hout geplaatst. Voorverwarming van de buis: ongeveer 45 minuten op een temperatuur van 110 °C.



Nog voordat met de opwarming werd begonnen bleek kanaal 5 defect. Het programma "Notebook" liep hierdoor telkens vast. Door kanaal 5 los te koppelen is het probleem opgelost. Later bleek dat de verbindingdraad verkeerd was aangesloten. Ook de oriëntatie van de thermokoppels bleek anders dan was bedoeld.

Dit is in de tekening hierboven te zien. De thermokoppels 3, 1 en 2 lagen op een licht hellende lijn met daaronder thermokoppel 4. Dit had tot gevolg dat de verschillen van de temperaturen van de thermokoppels die op één lijn liggen kleiner zijn. De temperatuur van de wand is om de 20 s afgelezen van de temperatuur-controller. De waarden van deze temperaturen zijn genoteerd en bij de meting toegevoegd.

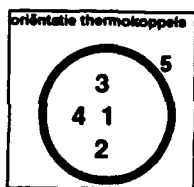
Zoals in figuur 7b (bijlage 1) te zien is, is ook hier nog niet de gehele TNT-massa gesmolten als er met de proef begonnen wordt. Na 1200 s is een grote temperatuurval bij alle thermokoppels in het inwendige van de buis te zien. Dit is waarschijnlijk te wijten aan een adiabatische afkoeling van de inhoud door, of een lek in de buis, of het plotseling licht verschuiven van de dop op de buis. De temperatuurdaling is waarschijnlijk zo groot dat de heater tijdelijk problemen heeft de opwarming voort te zetten zoals te zien is in de figuur (bovenste curve). De controller was ingesteld op een eindtemperatuur van circa 285 °C (einde van de bovenste curve). In figuur 7h (bijlage 1) is het laatste gedeelte van de meting nog eens uitvergroot. Het is dan goed zichtbaar, dat in de buurt van 2400 s de zelfopwarming van de TNT begint en na 2800 s een zo snelle opwarming geeft dat een explosie volgt.

Het resultaat van de explosie is te zien op foto 1 (bijlage 2). De buis was in 2 grote stukken gescheurd en de dop van de thermokoppel fittingen was zeer sterk gebold en licht afgeschoven. Uit de andere dop was een schijf geponst. Ook bevond zich op de grote stukken van de buis een vreemde bruinachtige stof! Dit is waarschijnlijk een vreemde verwant (verontreiniging) van TNT.

7-10-91: Test nummer drie: opgehangen in een stalen buis in een horizontale positie. De buis is voorverwarmd op een temperatuur van circa 120 °C. Na opwarming bleek thermokoppel nummer 4 ongeveer 10 °C te weinig aan te geven. Na controle van dit kanaal bleek de versterkingsfactor niet de oorzaak te zijn van dit verschil. Wat wél de oorzaak was, is niet duidelijk geworden.

Nadat de buis was voorverwarmd, werd met de eigenlijke proef begonnen. Het blijkt uit figuur 7c (bijlage 1) dat bij dit experiment wél de gehele massa TNT gesmolten was. Bij 750 s vindt opnieuw een temperatuurval van alle inwendig gelegen thermokoppels plaats. Ditmaal is de temperatuurval niet binnen een fractie van een seconde maar geleidelijk. Dit moet duiden op een kleine lek van de dop. Rond de 2400 s lopen de binnentemperaturen weer langzaam op door de zelfopwarming van de TNT waarna op 2660 s een explosie volgt. De laatste fase is in figuur 7i (bijlage 1) iets uitvergroet.

Na deze proef waren er meer brokstukken te vinden. Uit de dop met de thermokoppelbevestigingen was opnieuw een schijf geponst, terwijl de andere dop circa 1 cm was verschoven. In totaal 6 waren er zes brokstukken en het geheel had ditmaal een zeer sterke blauwkleuring.



8-10-91: Bij de Vierde Cook-off test uit deze serie vond de opwarming vanaf 20 °C plaats. De temperatuur-controller stond op een eindtemperatuur van 380 °C. De controller had dezelfde instelling als bij de vorige metingen. Bij deze meting was de oriëntatie van de thermokoppels 180 graden gedraaid.

Zoals in figuur 7d, (bijlage 1) te zien is, is tijdens de meting één van de thermokoppels van zijn plaats afgekomen. Wat bij dit experiment goed te zien is, is de smeltfase van TNT daar we de proef vanaf 20 °C in een keer hebben doorgevoerd. Het is duidelijk te zien dat de temperatuur van de TNT kort bij de stalen wand (thermokoppels 2 en 3) sneller oploopt dan de temperatuur in het midden van de buis (nummer 1 en 4). Na circa 1100 s smelt ook de TNT in het midden van de cilindrische buis en loopt, nadat de TNT door zijn smeltfase heen is, de temperatuur op tot de temperatuur van koppel nummer 2. De temperatuur van TNT bij koppel nummer 3 is dan al hoger en na 1450 s schiet het thermokoppel hoogstwaarschijnlijk uit zijn houder en raak het de stalen wand. Ook vond de explosie veel eerder plaats dan bij de voorverwarmde buis. Er is geen zelfopwarming in de figuur te zien. Na ongeveer 1800 s en een temperatuur van de buitenwand circa 240 °C eindigde het experiment.

Na een ruime afkoelperiode bleek alleen de thermokoppeldop eraf geperst en de TNT eruit gelopen te zijn (zie foto 3 bijlage 2). De TNT bleek in het geheel niet te hebben gereageerd. De buis hing nog volledig in zijn ophanging van ijzerdraad en er was een deuk in de beschermton ten gevolge van een met geweld loskomen van de dop. De TNT was gedeeltelijk op de ton en gedeeltelijk op de grond gestold. Na onderzoek bleken er naaldkristallen te zijn ontstaan tussen de Cook-off buis en de wand van de beschermton.

11-10-91: Deze buis werd, evenals in de voorgaande proef, opgehangen in een stalen ton met een diameter van ruim 60 cm. De controller had opnieuw dezelfde instelling, zij het dat besloten was de proef vooraf te laten gaan door een opwarmfase tot 120 °C om de inhoud een homogene temperatuurverdeling te geven.

In de opwarmfase, na circa 1680 s, brak de proef plotseling af. Zoals figuur 7e (bijlage 1) laat zien, is dat in de opwarmfase van het experiment. Een groot gedeelte van het TNT is dan nog in de smeltfase. Na onderzoek bleek de buis te zijn opengescheurd en te zijn verbogen (zie foto 4 in bijlage 2). Van de thermokoppeldop waren twee fittingen verdwenen en beide doppen waren sterk gebold. Kleuring van de buis is niet opgetreden. Omdat de reactie bij een extreem lage temperatuur van de buitenwand gebeurde (120 °C), is er van deze proef een melding gemaakt aan de Instituut-veiligheidsfunctionaris (IVF) van het PML.

14-10-91: De zesde test in deze serie is zonder aluminium buitenmantel uitgevoerd. Thermokoppel 4 bleek niet te functioneren en koppel 2 gaf een veel te hoge temperatuur aan. Waaraan dit te wijten is valt niet te zeggen. Na een opwarmperiode van 45 minuten tot een stabilisatietemperatuur van 120 °C kon met de proef worden begonnen. Rond 500 s gaven de inwendige thermokoppels opnieuw een temperatuurval te zien. Van thermokoppel 2 in figuur 7f (bijlage 1), die na 2500 s uit zijn houder geschoten is, is een correctie doorgevoerd zodat de temperatuur na het loskomen tijdelijk net zo hoog is als de temperatuur van de buitenwand. Deze correctie is doorgevoerd omdat het logisch is dat dit koppel nooit een hogere temperatuur kan aanwijzen dan de wand in die fase van het experiment en dan tijdelijk parallel meeloopt met de temperatuur van de wand. Het ligt wél voor de hand dat koppel 2 telkens de hoogste temperatuur aangeeft, omdat deze bovenin de buis is geplaatst. Vlak voor het einde van de proef is een lichte stijging van dit koppel te zien. De eindtemperatuur vlak voor de explosie ligt bij ongeveer 280 °C. De dop aan de thermo-koppelkant miste weer een schijf. De andere dop was circa 1 cm verschoven. Er waren drie grote brokstukken en enkele kleine. Verder had de stalen constructie een blauwkleuring ondergaan (zie foto 2 bijlage 2).

15-10-91: Bij het laatste experiment is de cilinder in verticale positie in de beschermton gehangen. De controller stond nog steeds op zijn vorige waarden. De opwarmfase was wederom tot een temperatuur van 120 °C. In figuur 7g (bijlage 1) is te zien dat er ditmaal geen grote temperatuurvallen optraden. Tegen het einde van de proef is er van alle vier de thermokoppels in de TNT te zien, dat de temperatuur sneller stijgt dan die van de buitenwand omdat er zelfopwarming optreedt. Opnieuw is de temperatuur van thermokoppel 2 de hoogste. Na circa 1450 s bezwijkt de buis. Dit ging gepaard met een lichte knal. Na afkoeling vonden we een ongerepte buis waarvan de dop aan de bovenkant was gewipt ten gevolge van een lichte verbranding van TNT. De bovenkant van de buis was met roet bedekt. De buis had voor het overige niet gereageerd. Er lag vloeibare TNT op de grond. Een foto van de buis is te zien in bijlage 2, foto 5.

4.3

Samenvatting experimenten

nr proef	datum	homo- geen	buis kapot	eiinde proef tuur (s)	tempera- tuur (°C)	TC nr.	begin temp. (°C)	temp. drop	oriëntatie	opmerkingen
1	24-09-91	-	+	1816	264	4	90	+	stand.	geen blauwkleuring
2	27-09-91	-	+	2858	330,327	4.1	100	+	vlak 3-1-2	geen blauwkleuring, bruine stof
3	07-10-91	+	+	2660	307	2	112	+, geleidelijk	stand.	sterke blauwkleuring
4	08-10-91	-	-	1811	234	3	15	-	180° gedraaid	buis geheel, losse dop
5	11-10-91	-	+	1683	119	5	20	-	stand.	geen blauwkleuring, IVF rapport
6	14-10-91	+	+	2800	278	2	116	+	stand.	blauwkleuring
7	15-10-91	+	-	1442	256	2	112	+, kleine	stand	verticale oriëntatie, losse dop

Verklaring van de kolommen:

nr datumproef : Nr geeft het nummer van de proef (1-7), de datum is de uitvoerdatum van de proef.

Homogeen : Is de temperatuur van de TNT homogeen in de gehele buis?

Buis kapot : Is na afloop de cilindrische buis in stukken gescheurd?

Einde proef : Na hoeveel seconden is de proef afgelopen?

Temp. : Bij welke hoogste gemeten temperatuur is de proef ten einde?

TC nr. : Welk thermokoppel geeft de hoogste temperatuur aan bij het einde van de proef?

Begin temp. : Wat is de begintemperatuur van de proef bij het begin van de meting?

Temp. drop : Is er tijdens de meting een temperatuurval te zien?

Oriëntatie : Is de oriëntatie standaard of is deze afwijkend?

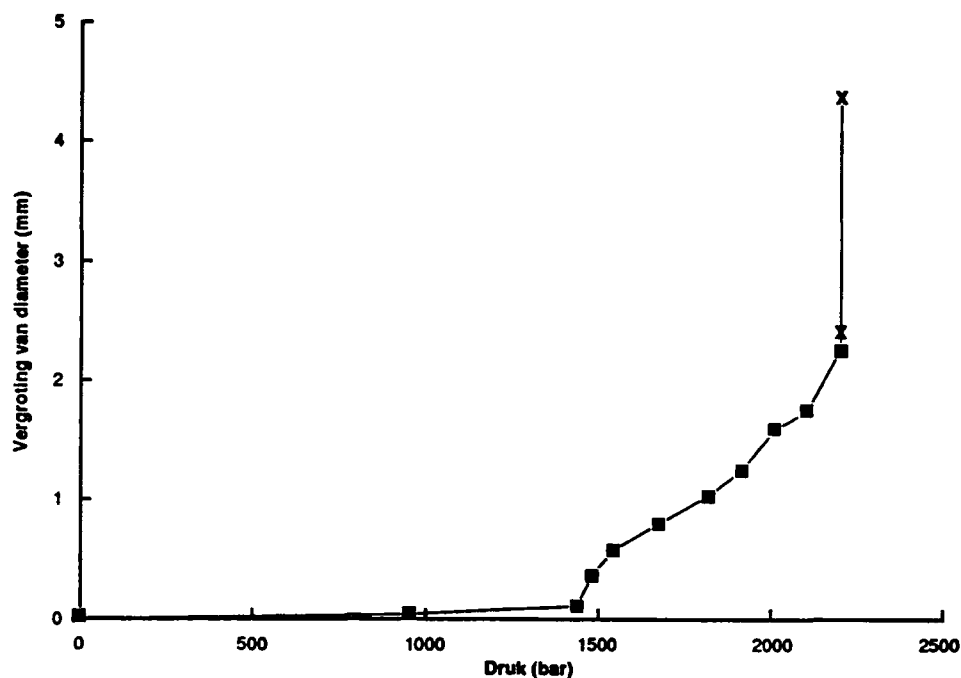
4.4 De statische drukproef

Op 2-07-91 is er een statische drukproef met één van de Cook-off buizen uitgevoerd. De buis is hiervoor aangesloten op een oliedruksysteem met bijbehorende drukmeter met een bereik van 2500 bar. Om deze proef naar behoren uit te voeren werd de buis aan de boven- en onderkant door een drukring afgesloten om de hoge druk te kunnen weerstaan. Met één van de doppen werd via een buis een verbinding gemaakt met de oliepomp. De bedoeling van deze proef was na te gaan hoe de buis zich zou gedragen onder verhoging van de druk tot op het moment dat deze het begeeft. Hiervoor wordt de druk met de daarbij behorende diameter bijgehouden.

Nadat alle dichtingen en aansluitingen waren gecontroleerd, kon de meting beginnen. Bij 0 bar bleek de diameter 54.32 mm te zijn. Op meerdere momenten werd met het pompen gestopt om de druk en de buisdiameter te meten. De eerstvolgende meting was bij 1000 bar en een diameter van 54.36 mm. In figuur 6 kan men zien dat bij ongeveer 1500 bar de buis in zijn plastisch gebied gekomen moet zijn en dat de diameter van de buis bij kleine drukverhoging groeit. In deze fase van het experiment was duidelijk te zien dat de buis aan het vloeien was en moesten we ons zelf er eerst van overtuigen dat de druk stabiel was alvorens de diameter van de buis opgemeten kon worden.

Tijdens het pompen kreeg de drukmeter tijdelijk een hogere druk te verwerken. Hierdoor kwam plotseling bij een druk in de buis van 2300 bar de druk in de drukmeter boven de 2500 bar uit en bezweek de drukmeter. Daardoor kon op dat moment de proef niet worden voortgezet.

Op 5-12-91 kon met een nieuwe drukmeter het experiment voortgezet worden. Zoals in [4] al voorspeld was, aan de hand van een simulatie met ABAQUS zou bij gelijkblijvende druk de diameter van de buis groeien totdat deze zou bezwijken. Bij een druk van 2200 bar en een diameter van de buis van 58.62 mm (licht ovale vorm) scheurde deze, vergezeld van een heftige knal. Omdat dit niet verwacht werd is hiervan ook een melding gemaakt aan de IVF.



Figuur 6 Vergroting van de diameter als functie van de druk. Het niet-continuë gedeelte van de curve is de overgang op een nieuwe drukmeter. Voor de metingen met de eerste drukmeter zijn kleine correcties doorgevoerd zodat de waarden bij 2200 bar bij beide metingen overeenstemden

Aan de hand van de numerieke simulatie zou blijken dat de buis gemaakt van st52 bezwijkt bij een druk tussen de 1900 en 2400 bar, en bij gelijkblijvende druk steeds groter wordt tot dat deze bezwijkt. Volgens een berekening zou deze waarde rond de 2252 bar liggen. Zoals vervolgens uit de meting blijkt, is de bezwijkdruk rond de 2200 bar als we van de laatste gecalibreerde drukmeter uitgaan. Deze gegevens zijn van belang om in de toekomst een drukmeter te implementeren in onze testopstelling.

N.B.: De rekgrens van dit staalsoort is gemeten en bleek rond de 490 N/mm².

5 DISCUSSIE

Allereerst willen we duidelijk stellen dat deze proeven van inleidende aard zijn en bedoeld zijn om ervaring op te doen met Cook-off experimenten en met het testen van het meetsysteem en de huidige configuratie van de buis. Tussen de metingen door zijn veranderingen aangebracht om zo snel mogelijk een optimaal resultaat te verkrijgen, dit ondanks het feit dat deze werkwijze in het algemeen niet is aan te bevelen.

- Als we de samenvattingstabel van de experimenten op pagina 18 bekijken zijn er van de zeven experimenten drie die sterk overeenkomen. De experimenten van proefnummer 2, 3 en 6 explo-deren alle drie redelijk heftig, na circa 2800 s, bij een temperatuur van circa 300 °C. Een niet-homogene temperatuur of een lagere start temperatuur kan de oorzaak zijn van het iets langer uitblijven van de explosie van experiment nummer 2.
- Indien bij het experiment de dop niet de zwakste schakel is, zodat deze er niet volledig vanaf geperst wordt, is de uitwerking van de reactie zodanig dat de cilindrische stalen buis bezwijkt in een aantal stukken. Het valt dan op dat de hevigheid van de reactie in die gevallen met elkaar overeenstemt (zie ook foto's bijlage 2).
- Als we de experimenten 5 en 2 buiten de beschouwing laten, daar nummer 5 een voortijdige ontsteking had en experiment 2 een andere thermokoppel oriëntatie, kunnen we zeggen dat in de meeste gevallen het thermokoppel dat bovenin de buis is gesitueerd de hoogste temperatuur aangeeft. Dit is thermokoppel nummer 2 in de normale standaardoriëntatie en bij experiment nummer 4, thermokoppel 3.
- De plotselinge temperatuurval is een ongewenst verschijnsel bij deze experimenten en goed te zien in de experimenten 1, 2, 3 en 6, respectievelijk overeenkomend met figuren 7a, b, c en f in bijlage 1. Deze temperatuurval gaat altijd gepaard met een verandering van opwarmsnelheid van de wand. Er zijn verschillende mogelijke verklaringen voor dit probleem.

Via de schroefdraad zal de hoge druk in de buis de dop enigszins oplichten hetgeen óf een lekkage óf een verschuiving van de dop tot gevolg kan hebben. Hierdoor treedt een adiabatische expansie op die een temperatuurval tot gevolg heeft. Dit zal een grote hoeveelheid warmte van de stalenwand onttrekken, waardoor de opwarmsnelheid kleiner zal worden. Verder zal door de lek een sterke drukval in de buis optreden en de buis, die voor de lek een aantal millimeters uitgezet is, in omvang verkleinen en het contact van de buis met de heater en de daartussen gelegen thermokit ver-slechteren. Dit geeft een verlaging van de warmteoverdrachtscoëfficiënt en heeft tot gevolg dat na homogenisatie van de temperatuur de opwarmsnelheid met redelijk constante maar lagere snelheid

verder zal gaan. Een kleine lekkage zou het gevolg van een geleidelijke temperatuurval zoals in figuur 7c kunnen verklaren, een grotere lek of verschuiving de plotselinge terugval van de temperatuur zoals in de overige figuren te zien is.

Een verschuiving verklaart tevens dat er buizen worden gevonden waarbij de dop enigszins verschoven is of zelfs geheel eraf geperst is. Ook zou het het feit kunnen verklaren dat bij enkele metingen (nummer 4 en 6) een thermokoppel plotseling de temperatuur van de wand aangeeft. Door het verschuiven van de dop is het thermokoppel uit zijn houder geschoven en ten gevolge van de spanningen van de hoge temperatuur is deze in contact met de wand gekomen. Dit laatste feit zou echter ook door het smelten van de teflonhouder veroorzaakt kunnen worden.

Tenslotte is niet precies duidelijk waarom thermokoppel nummer 4 meestal een afwijkende temperatuur aangeeft, terwijl de versterkingsfactor van de isolatieversterker hiervan niet de oorzaak kan zijn. Een verklaring kan een aardstroom zijn die, over een lange kabel en een weerstand, een extra potentiaalspanning veroorzaakt die resulteert in een hogere temperatuur.

6 CONCLUSIES

De inleidende experimenten gaven ons een goede kijk op en ervaring met de meettechnische aspecten van de Cook-off testen. We kunnen stellen dat de huidige opstelling een goede basis vormt voor verdere ontwikkeling van een Cook-off opstelling waarmee de uitwerking van warmte op explosieven onderzocht kan worden.

De geleidelijke of plotselinge temperatuurval gaf een extra probleem waardoor de metingen moeilijk te interpreteren en te vergelijken zijn. Wij denken dit op te lossen door voor een iets andere afsluitconstructie van de dop te kiezen, die bij groter wordende druk de buis zal afsluiten.

Verder zal in de volgende experimenten, op het moment van inbrengen, beter op de oriëntatie van de thermokoppels gelet dienen te worden.

Ons inziens bevat het meetsignaal nog te veel ruis en vooral niet te verklaren afwijkingen van de temperatuur. Nieuwe en voor dit gebied gespecialiseerde electronica kan hiervoor de oplossing leveren. Daar de huidige electronica van Burr-Brown is, denken wij aan de gelineairiseerde thermokoppel modulen van Burr-Brown. Deze bevatten op de eerste plaats tweemaal een tweede orde actief filter met een bandbreedte van 4 Hz, en op de tweede plaats worden de signalen van de temperaturen tussen 0 en 500 °C omgezet in een spanning tussen 0 en 5 Volt. De brom die wij van de isolatieversterker over ons signaal hadden staan behoort dan hoogstwaarschijnlijk tot het verleden.

6.1 Toekomst

- Er zijn 4 nieuwe buizen besteld met een andere afsluitconstructie. Met deze buizen zullen we wederom enkele testen uitvoeren om na te gaan of de eerder beschreven problemen opgelost zijn.
- Ook zijn de thermokoppel modules van Burr-Brown besteld die de problemen op het gebied van de temperatuurmeting moeten oplossen.
- Aangezien de buis met bijvoorbeeld smeltende TNT een veranderend "systeem" is met het gevolg dat de systeemp parameters tijdens de opwarming veranderen, zullen we in de toekomst ook gebruik gaan maken van een reeds bestelde en hiervoor beter geschikte temperatuur-controller.
- In de toekomst (in het komende jaar) zal er gekeken worden naar:
 1. Cook-off experimenten met kruiden en PBX-en;
 2. een andere manier van temperatuurmeting, bijvoorbeeld via de radiële richting zodat de inbreng gedaan kan worden nadat de buizen geperst zijn (momenteel is het alleen mogelijk gegoten of losgestorte explosieven te gebruiken);
 3. statisch drukmeting met een piëzo-resistieve drukmeter.

7 ONDERTEKENING



J.G.H. Scholtes
(auteur/projectleider)

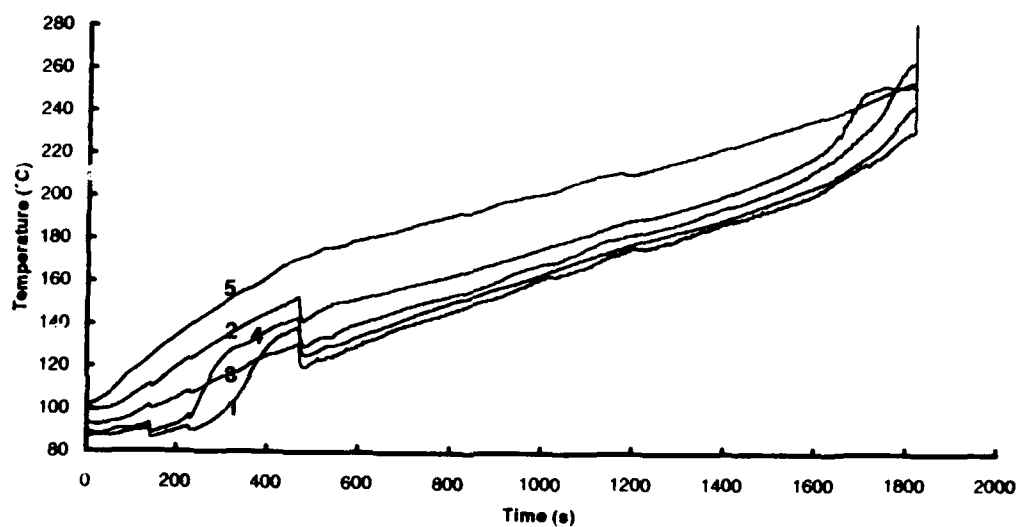


J.C. Makkus
(auteur)

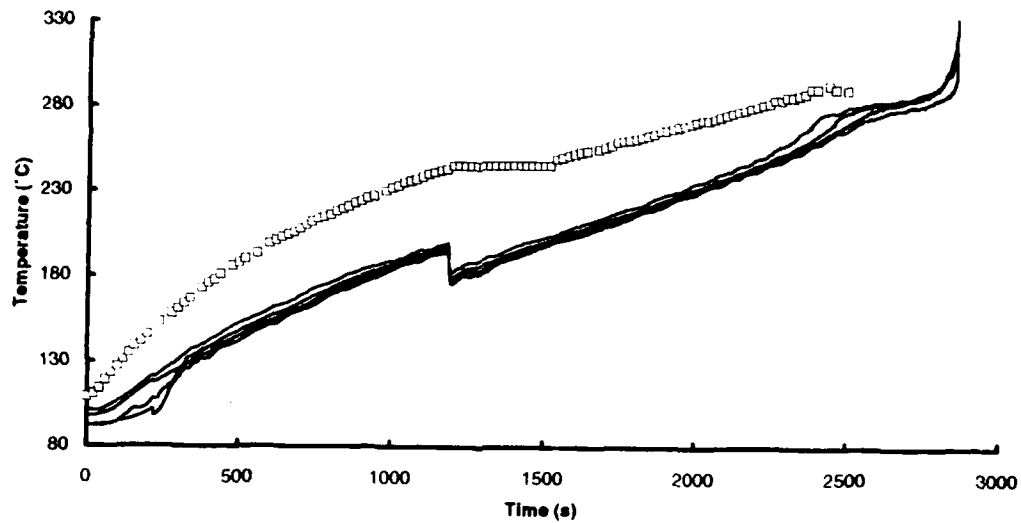
8 REFERENTIES

- 1 "Recommendations on the transport of dangerous goods; Tests and Criteria" second edition.
ST/SG/AC.10/11/rev.1, United nations, New York, 1990.
- 2 Scholtes, J.H.G. and van der Steen, A.C.
"A new Cook-off test at TNO-PML", May 1991, TNO Prins Maurits Laboratory, Nederland.
- 3 "Temperature measurement handbook", 1980, Omega engineering, inc.
- 4 van Wees, R.
"Bepaling bezwijkdruk van type IV Cook-off buis", intern rapport van augustus 1990.

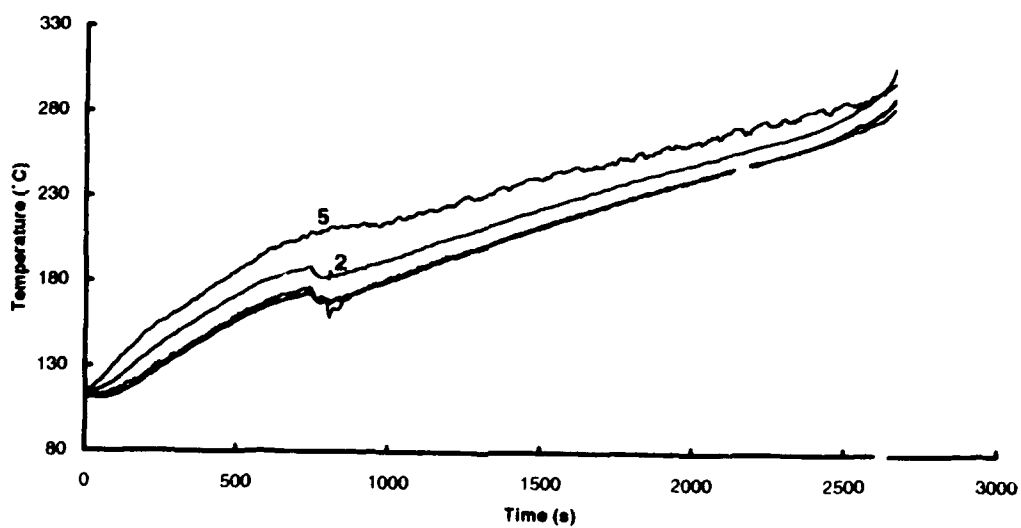
BIJLAGE 1 FIGUREN 7A TOT EN MET 7I



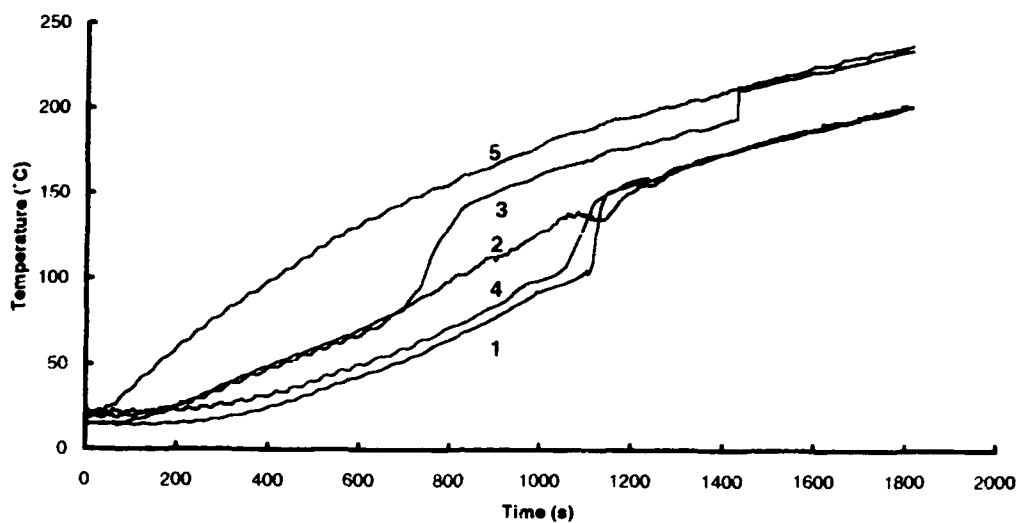
Figuur 7a Cook-off meting van 24-09-91



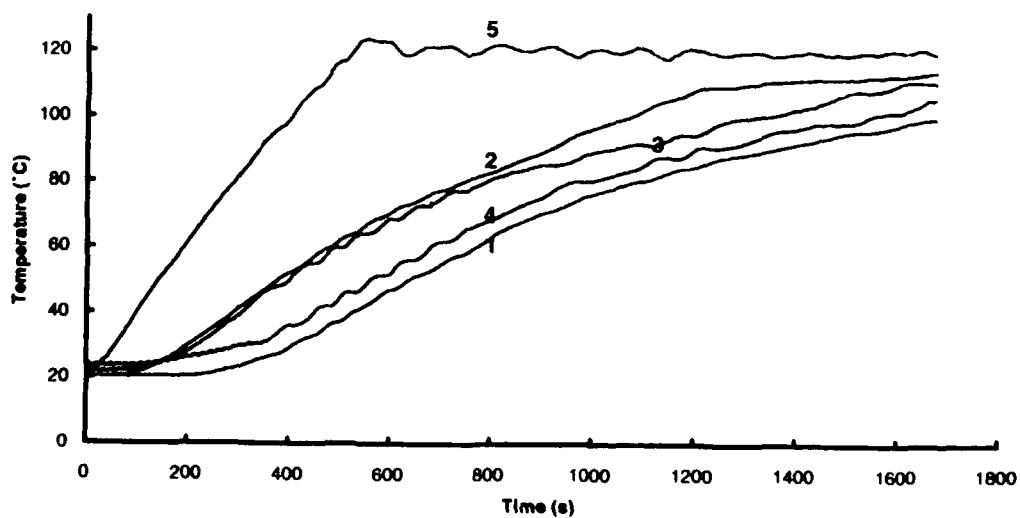
Figuur 7b Cook-off meting van van 27-09-91



Figuur 7c Cook-off meting van 7-10-91

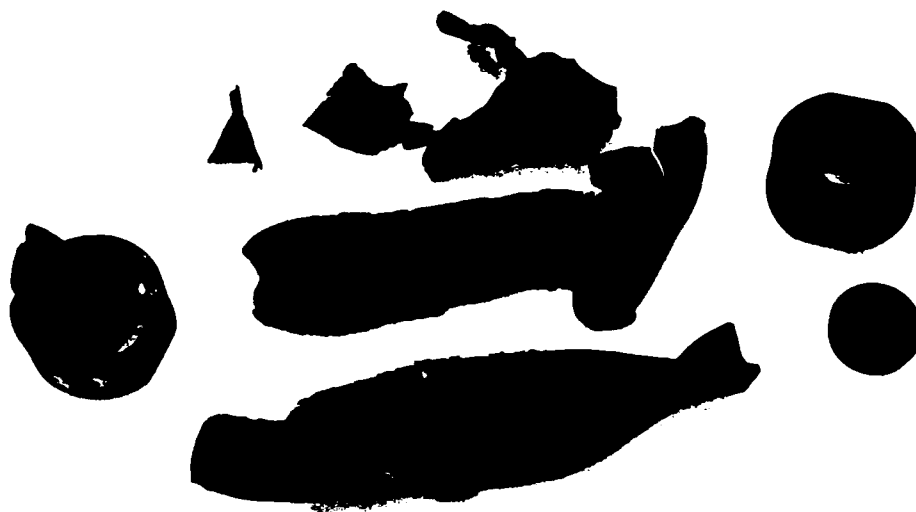


Figuur 7d Cook-off meting van 8-10-91



Figuur 7e Cook-off meting van 11-10-91

BIJLAGE 2 FOTO'S



Cook-off 27-09-91

Foto 1

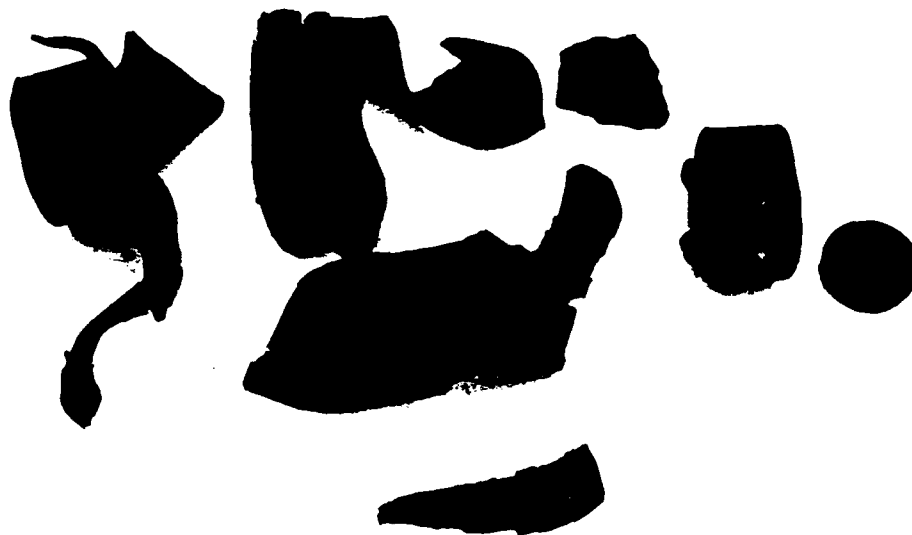
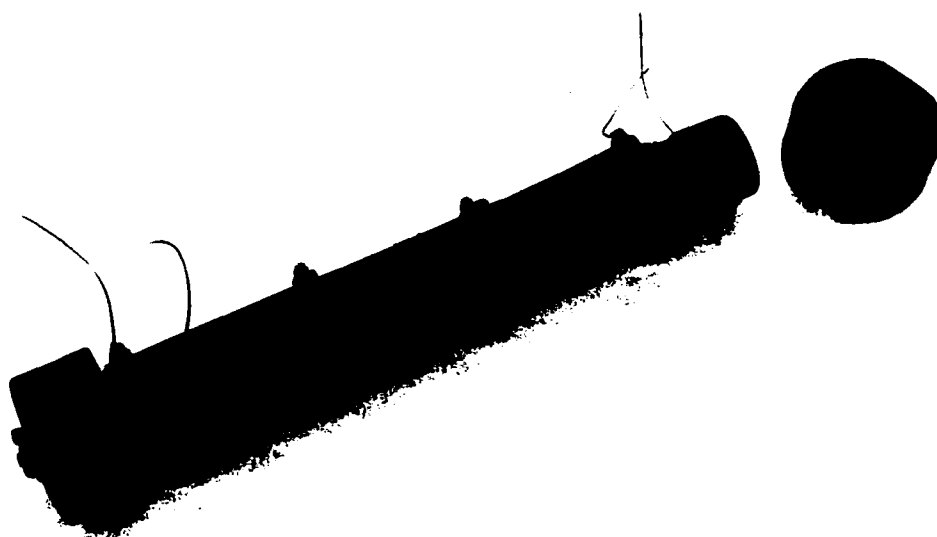


Foto 2

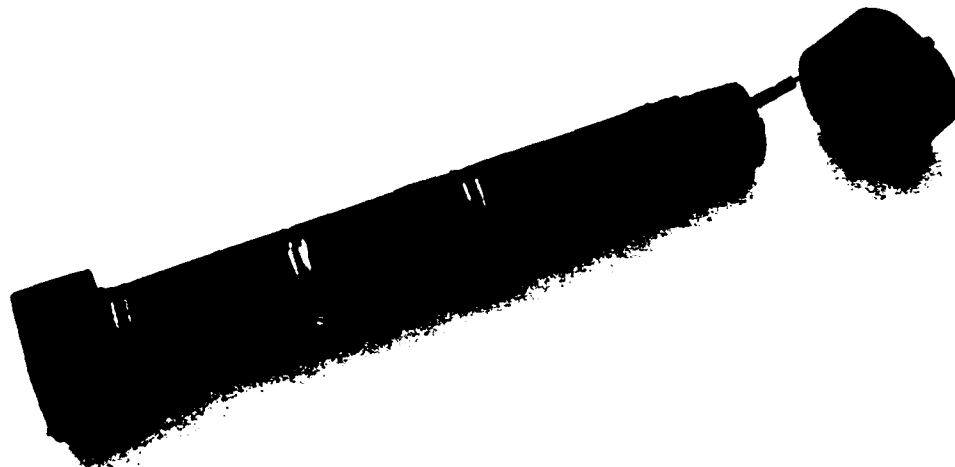


Cook-off 8-10-91

Foto 3



Foto 4



Cook-off 15-10-91

Foto 5

REPORT DOCUMENTATION PAGE

(MOD NL)

1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL) TD92-2032	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER PML 1992-44
4. PROJECT/TASK/WORKUNIT NO. 221492020	5. CONTRACT NUMBER A80/KL/137	6. REPORT DATE April 1993
7. NUMBER OF PAGES 32 (2 Annexes)	8. NUMBER OF REFERENCES 4	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE A description of preliminary Cook-off experiment of type IV pipes filled with TNT (Een beschrijving van de inleidende Cook-off experimenten met TNT gevulde type IV buizen)		
11. AUTHOR(S) J.H.G. Scholtes J.C. Makkus		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Prins Maurits Laboratory P.O. Box 45, 2280AA Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) DMKL-Munitie P.O. Box 90701, 2500 LS The Hague		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation: ONGERUBRICEERD is equivalent to: UNCLASSIFIED		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) Seven Cook-off experiments have been carried out during the second half of 1991. In this report a brief description of the Cook-off test setup and preparing activities to perform the Cook-off test are given. A detailed description of the experiments and their results together with some suggestions for future experiments are given aswell. The objective of the research programme is to build a Cook-off test to study the response of explosives to a thermal stimulus and to understand the observed phenomena in order to be able to obtain some insight into the behaviour of explosive materials subjected to external heating. Some of these seven experiments gave temperature drop as a result of an nearly adiabatic expansion of the TNT caused by a leak. The temperature measurement by itself is not yet optimal and the temperature controller is not capable to give a constant heating rate during the experiment. Despite these difficulties these tests gave us a good insight in de problems arising with our test setup and the information to improve it for futher use. It is also obvious that the setup it capable to provide the information about the inside processes of the explosive substances nessecary to study and simulate the Cook-off processes. Future experiments will be carried out with a new temperature controller, new thermocouple modules and a new construction of the caps.		
16. DESCRIPTORS Cook-off Explosives Tube Tests TNT Experimental Investigation		IDENTIFIERS
17A. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) ONGERUBRICEERD	17B. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) ONGERUBRICEERD	17C. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) ONGERUBRICEERD
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17D. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) ONGERUBRICEERD

Distributielijst

- 1 DWOO
- 2 HWO-KL
- 3/4 HWO-KLu
- 5 HWO-KM
- 6 DMKL-Munitie
Ing. J.A. van Gool
- 7/9 TDCK
- 10 Hoofddirecteur DO-TNO
- 11 Lid Instituuts Advies Raad PML
Prof. B. Scarlett, M.Sc.
- 12 Lid Instituuts Advies Raad PML
Prof. ir. M.A.W. Scheffelaar
- 13 Lid Instituuts Advies Raad PML
Prof. ir. K.F. Wakker
- 14 PML-TNO, Directeur; daarna reserve
- 15 PML-TNO, Directeur Programma; daarna reserve
- 16 PML-TNO, Divisie Munitietechnologie en Explosieveiligheid,
Hoofd Groep Rakettechnologie
Ir. P.A.O.G. Korting
- 17/18 PML-TNO, Divisie Munitietechnologie en Explosieveiligheid,
Groep Rakettechnologie
J.H.G. Scholtes
J.C. Makkus
- 19 PML-TNO, Documentatie
- 20 PML-TNO, Archief