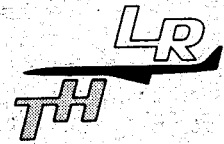


Technische Hogeschool Delft  
Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek



Rapport LR-346

**DE INVLOED VAN VERSCHILLENDE WARMTE-  
BEHANDELINGEN OP DE  
SPANNINGSCORROSIE-GEVOELIGHEID VAN  
VAN DE ALUMINIUM LEGERINGEN  
A1-7050 EN AZ 74.61**

**H.F. de Jong en R.R. Kalmann**



Technische Hogeschool Delft  
Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek



Rapport LR-346

**DE INVLOED VAN VERSCHILLENDE WARMTE-  
BEHANDELINGEN OP DE  
SPANNINGSCORROSIE-GEVOELIGHEID VAN  
VAN DE ALUMINIUM LEGERINGEN  
A1-7050 EN AZ 74.61**

**H.F. de Jong en R.R. Kalmann**

ABSTRACT

The stress corrosion cracking (SCC) susceptibility of two Al-Zn-Mg forging alloys, Al-7050 and AZ 74.61 is investigated for different heat treatments. This investigation is a follow-up of an extensive research program of the Dutch National Aerospace Laboratory (NLR).

The test method used in this investigation is the constant strain rate test (CSR-test).

The main research goals of the experiments are:

1. A comparison of the results of the CSR-tests with the NLR-tests (where the constant total strain test method was used), to show the validity of the CSR-test method.
2. An evaluation of the SCC-susceptibility of the Al-7050 and AZ 74.61 alloys.

The results of the present investigation shows that there is a good agreement with the results of the NLR.

The Al-7050 alloy proved to be superior to the AZ 74.61 alloy with respect to the combination of mechanical properties and SCC-susceptibility. The heat treatment of the Al-7050 alloy in the as-received condition (heat treatment applied by the manufacturer) can be improved to give better mechanical properties at low SCC-susceptibility.

Key-words: aluminium alloy  
stress corrosion  
constant strain rate test  
heat-treatment  
mechanical properties.

INHOUDpag.

|   |    |
|---|----|
| 1. Inleiding  | 3  |
| 2. Materiaalgegevens en proefstukvorm                                     | 3  |
| 3. Uitvoering van de proeven  | 4  |
| 4. De gebruikte criteria voor de spanningscorrosiegevoeligheid            | 5  |
| 5. Resultaten   | 6  |
| 5.1. De mechanische eigenschappen   | 6  |
| 5.2. De spanningscorrosie-eigenschappen                                   | 6  |
| a. De spanningscorrosie-eigenschappen van Al-7050                         | 6  |
| a.1. Invloed van de afschriktemperatuur                                   | 7  |
| a.2. Invloed van primair verouderen                                       | 7  |
| a.3. Invloed van het secundair verouderen                                 | 7  |
| a.4. Invloed van herbehandeling   | 7  |
| a.5. Relatie tussen de rekgrens en de gevoeligheid voor spanningscorrosie | 7  |
| b. De spanningscorrosie-eigenschappen van AZ 74.61                        | 8  |
| b.1. Invloed van de afschriktemperatuur                                   | 8  |
| b.2. Invloed van primair verouderen                                       | 8  |
| b.3. Invloed van het secundair verouderen                                 | 8  |
| b.4. Invloed van herbehandeling   | 8  |
| b.5. Relatie tussen de rekgrens en de gevoeligheid voor spanningscorrosie | 9  |
| 6. Discussie  | 9  |
| 7. Conclusies   | 9  |
| 8. Literatuur   | 10 |
| 9. Tabellen   | 12 |
| 10. Figuren   | 21 |

## 1. INLEIDING

Smeedlegeringen van het Al-Zn-Mg type blijken vaak gevoelig te zijn voor spanningscorrosie. Er zijn dan ook in de praktijk vaak scheuren gevonden in vliegtuigonderdelen die uit deze legeringen zijn gemaakt. Het blijkt dat de gevoeligheid voor spanningscorrosie kan worden verkleind door een andere warmtebehandeling toe te passen dan de meestal gebruikelijke T6 behandeling. Door het vertragen van het afschrikproces, het voorverouderen bij hogere temperaturen en door gecontroleerd oververouderen is het mogelijk de spanningscorrosie-eigenschappen sterk te verbeteren, vaak echter ten koste van de mechanische eigenschappen.

Door de fabrikanten van deze legeringen is veel onderzoek verricht met het doel de teruggang van de mechanische eigenschappen door de gemodificeerde warmtebehandeling te beperken.

Een van de nieuwe legeringen is de in Duitsland ontwikkelde smeedlegering AZ 74.61. Het bijzondere van deze legering is de toevoeging van zilver, waardoor de legering minder gevoelig voor spanningscorrosie zou zijn.

In de Verenigde Staten zijn door Alcoa eveneens proeven met zilver-toevoeging gedaan, maar men constateerde slechts weinig verbetering, met bovendien het nadelige effect van een grotere afschrikgevoeligheid van het materiaal.

Alcoa ontwikkelde de legering 7050 welke als voornaamste kenmerken heeft:

- een verhoogd Zn gehalte om het sterkteverlies door de gemodificeerde warmtebehandeling (oververouderen) te compenseren.
- een verlaagd Cr gehalte om de afschrikgevoeligheid te verminderen.
- een verhoogd Cu gehalte voor een betere precipitatie kiemvorming en voor een grotere edelheid van het korrelgrensmateriaal.
- een verlaagd Fe en Si gehalte voor een grotere scheurweerstand.

Door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) is een uitgebreid onderzoek uitgevoerd om de legeringen AZ 74.61 en 7050 te evalueren en een optimale warmtebehandeling te vinden. Naast de mechanische en vermoeiingseigenschappen zijn ook de spanningscorrosie-eigenschappen bepaald (lit. 1 t/m 5).

Er zijn twee soorten spanningscorrosieproeven uitgevoerd, nl.:

- constante vervormingsproeven om de scheurinitiatie te onderzoeken.
- scheurgroei snelheidsproeven aan DCB-proefstukken.

Op verzoek van het NLR zijn op de Afdeling der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek van de Technische Hogeschool Delft bovendien spanningscorrosieproeven met behulp van de constante reknelheidsmethode uitgevoerd, teneinde een zo volledig mogelijk inzicht te krijgen van de invloed van de verschillende warmtebehandelingen op de spanningscorrosiegevoeligheid van beide legeringen. Over deze proeven wordt in dit rapport verslag uitgebracht.

## 2. MATERIAALGEGEVENS EN PROEFSTUKVORM

Het Al-7050 materiaal is geleverd door Alcoa (USA), het AZ 74.61 door Otto Fuchs Metallwerke in Duitsland. Beide materialen zijn geleverd in de vorm van smeedstukken (figuur 1). De smeedstukken van Al-7050 zijn geleverd in de T 736 toestand, die van AZ 74.61 hebben een soortgelijke warmtebehandeling ondergaan, waarbij de afschriktemperatuur echter iets lager is geweest dan die voor Al-7050.

Beide warmtebehandelingen (de "as-received" conditie) worden gegeven in tabel 1. In tabel 2 zijn de chemische samenstellingen van beide legeringen vermeld, zowel de specificatiewaarden als de door het NLR gemeten waarden.

Door het NLR is een groot aantal warmtebehandelingen samengesteld en uitgevoerd op de smeedstukken. Een overzicht van deze warmtebehandelingen en hun codering

wordt gegeven in de tabellen 3 en 4.

Uit de smeedstukken zijn door het NLR een groot aantal proefstukken vervaardigd voor onderzoek van o.a. mechanische eigenschappen, vermoeiingseigenschappen en spanningscorrosie-onderzoek.

Voor het spanningscorrosie-onderzoek op de Afdeling der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek was van een aantal smeedstukken een flens beschikbaar. In figuur 2 is de plaats van deze flens in het smeedstuk te zien.

Van de Al-7050 smeedstukken was van alle warmtebehandelingen een flens beschikbaar, van de AZ 74.61 waren van negen warmtebehandelingen geen flenzen meer beschikbaar. Dit is aangegeven in tabel 4.

Omdat het proefmateriaal afkomstig is van de rand van de smeedstukken ter plaatse van de deellijn van de matrijzen, is het noodzakelijk om de vezeloriëntatie nader te onderzoeken. Figuur 3 geeft een beeld van de microstructuur in de drie richtingen. Deze richtingen zijn gedefinieerd in figuur 4.

In verband met de afmetingen van de beschikbare flenzen en de vereiste minimum afmetingen van de proefstaven kunnen deze alleen uit de lengterichting van de flenzen worden gehaald. De lengterichting van de proefstaven komt dus overeen met de richting 3 in de flens. De belasting bij de spanningscorrosieproeven staat dan loodrecht op het vlak [1,2]. Uit figuur 4 blijkt dat dit helaas niet het voor spanningscorrosie meest gevoelige vlak is. De afmetingen van de proefstaven zijn gegeven in figuur 5. De verjonging van de proefstaaf is nodig om te bereiken dat de proefstaaf in het middengedeelte, dat is omsloten door de corrosiecel, breekt. Uit elke flens zijn vijf proefstukken gemaakt, waarvan er drie zijn gebruikt voor de spanningscorrosieproeven en twee voor referentieproeven in lucht.

### 3. UITWOERING VAN DE PROEVEN

De spanningscorrosieproeven zijn uitgevoerd in een milieu volgens de norm van de Duitse "Normenstelle Luftfahrt" No. LN 65666 (lit. 6).

Het corrosieve medium is een oplossing van 2% NaCl en 0,5% Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> in gedestilleerd water.

De pH wordt door toevoeging van HCl op een waarde van pH 3 ± 0.2 gehouden. De temperatuur van de oplossing wordt tijdens de proef gehandhaafd op 25 ± 1°C. (De norm LN 65666 schrijft een beproevingstemperatuur voor van 22°C. Deze temperatuur is echter in het laboratorium zonder koeling niet altijd te handhaven.)

De voorbehandeling van de proefstaven bestaat uit:

- ontvetten in P<sub>3</sub>RST\*) (10 minuten bij 60°C).
- onderdompelen in een oplossing van HNO<sub>3</sub> in gedestilleerd water (1:1) gedurende 1 uur bij kamertemperatuur.
- spoelen in gedestilleerd water.
- beitsen in een oplossing van 10% NaOH in gedestilleerd water gedurende 1 minuut bij 60°C.
- spoelen in gedestilleerd water.
- verwijderen van de beitsaanslag door onderdompelen in een oplossing van HNO<sub>3</sub> in gedestilleerd water (1:1) gedurende 30 sec. bij kamertemperatuur.
- spoelen in gedestilleerd water.
- droogblazen met perslucht.

\*) Volgens de norm moet het ontvetten gebeuren in tetrachloorkoolstof. Wegens de sterk toxische eigenschappen van deze stof is dit vervangen door ontvetten in P<sub>3</sub>RST, een alkalische ontvetter.

De spanningscorrosieproef moet volgens de norm binnen drie uur na de voorbehandeling worden gestart.

De proeven zijn uitgevoerd op twee gemodificeerde Monsanto Tensometers (lit. 7). De vertraging is zo ingesteld dat de bekverplaatsing  $1.2375 \times 10^{-5}$  mm/sec bedraagt. Hieruit volgt voor de proeven in het elastische deel van de trekkromme een gemiddelde reksnelheid van  $5.8 \times 10^{-8}$  sec<sup>-1</sup>, in het middendeel van de proefstaaf met een diameter van 5 mm.

Hierbij is rekening gehouden met de toenemende vervorming van de bank en de in-spanbekken bij toename van de belasting. In het plastische deel van de trekkromme, waar de belasting, en daarmee de vervorming van de bank, nog maar weinig toeneemt (en aan het eind zelfs afneemt) is de reksnelheid ca  $3.5 \times 10^{-7}$  sec<sup>-1</sup>.

Bij de spanningscorrosieproeven is een voorlast van 2 kN aangebracht om de invloed van eventuele speling in de inklemming van de proefstaven te elimineren.

Als referentie voor de mechanische eigenschappen zijn van alle warmtebehandelingen twee proefstaven tot breuk belast in lucht. Deze proeven zijn uitgevoerd met een hogere reksnelheid, nl.  $9,6 \times 10^{-5}$  sec<sup>-1</sup>. Uit vorige onderzoeken is gebleken dat de invloed van de reksnelheid op de mechanische eigenschappen zeer gering is (lit. 8).

#### 4. DE GEBRUIKTE CRITERIA VOOR DE SPANNINGSCORROSIEGEVOELIGHEID

Om de gevoeligheid voor spanningscorrosie te bepalen is gebruik gemaakt van de volgende grootheden:

- a. de rekgrens  $\sigma_{0.2}$ .
- b. de maximale spanning  $\sigma_{\max}$ .
- c. de spanning op het moment van bezwijken  $\sigma_{br}$ .
- d. de tijd-tot-breuk  $t_{br}$ .

De rekgrens,  $\sigma_{0.2}$ , is als criterium voor de spanningscorrosiegevoeligheid gebruikt omdat in sommige gevallen bij de rekgrens al een duidelijk verschil bleek te bestaan tussen de trekkromme bij de corrosieproeven en die bij de proeven in lucht. Deze afwijking in een relatief vroeg stadium geeft een indicatie van de scheurinitiatiegevoeligheid van het materiaal.

Naast de maximale spanning,  $\sigma_{\max}$ , is ook de spanning op het moment van bezwijken van de proefstaaf,  $\sigma_{br}$ , als criterium gebruikt omdat deze grootheid gemeten wordt aan het einde van de proef en daarmee een inzicht geeft in de opgetreden scheurgroei.

Alle hier genoemde spanningen zijn betrokken op de oorspronkelijke doorsnede van de proefstaaf ( $\emptyset$  5 mm).

Om een onderlinge vergelijking van de verschillende warmtebehandelingen mogelijk te maken, kunnen de gemeten waarden niet rechtstreeks worden gebruikt, omdat de warmtebehandelingen ook grote invloed hebben op de mechanische eigenschappen. Daarom zijn de waarden die bij de spanningscorrosieproeven zijn gemeten gedeeld door de waarden van de proeven in lucht.

Voor de spanningen betekent een quotiënt kleiner dan 1 dat er een invloed van de spanningscorrosie aanwezig is.



## 5. RESULTATEN

### 5.1. De mechanische eigenschappen

De mechanische eigenschappen ( $\sigma_{0.2}$ ,  $\sigma_{\max}$  en  $\sigma_{br}$ ) zijn bepaald met trekproeven in lucht.

Van elke warmtebehandelingen zijn 2 proefstaven beproefd met een reksnelheid van ca  $9.5 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ . Bij deze reksnelheid is de proefduur ca 6 minuten. De resultaten zijn opgenomen in tabel 5 voor Al-7050 en in tabel 6 voor AZ 74.61. De waarden die door het NLR zijn gemeten zijn hierin tussen haakjes gegeven. De verschillen met de door het NLR gemeten waarden zijn niet groot, voor AZ 74.61 zijn de verschillen zelfs zeer gering. Bij de beoordeling van de resultaten moet rekening worden gehouden met het feit dat de proefstukken van het NLR uit een andere positie in het smeedstuk komen dan die van de TH-LR. Deze laatste hebben door hun plaats in de flens van het smeedstuk op de scheidingslijn van de smeedmatrijzen een afwijkende kristalstructuur.

De hoogste sterkte heeft bij de NLR-proeven de warmtebehandeling X7 bij Al-7050 en Z26 bij AZ-74.61. Bij de TH-LR proeven zijn dit resp. X3 bij Al-7050 en eveneens Z26 bij AZ-74.61.

De laagste sterkte hebben bij de NLR-proeven de warmtebehandeling X22 voor Al-7050 en Z16 voor AZ-74.61. Bij de TH-LR proeven zijn dit resp. X23 en Z14.

In het algemeen kan worden gesteld dat een verhoging van de afschriktemperatuur een verlaging van de mechanische eigenschappen tot gevolg heeft.

Een verdergaande bespreking van de invloed van de warmtebehandeling wordt gegeven in lit. 2 en 5.

### 5.2. De spanningscorrosie-eigenschappen

Van elke warmtebehandeling zijn drie spanningscorrosieproeven uitgevoerd.

De gemiddelde waarden van de spanningen en de tijd-tot-breuk zijn gegeven in tabel 7 voor het Al-7050 materiaal en in tabel 8 voor het AZ-74.61 materiaal. In deze tabellen is ook de spreiding (procentuele afwijking van de minimale resp. de maximale gemeten waarde ten opzichte van de gemiddelde waarde) van de resultaten gegeven. In het algemeen blijkt de spreiding, voor wat betreft de spanningen, klein te zijn. De spreiding is voor het AZ-74.61 materiaal nog iets kleiner dan voor het Al-7050 materiaal. In die gevallen waarin de spreiding wel groot is, (bv. X4) wordt deze vooral veroorzaakt door één sterk afwijkende waarde. De spreiding in de tijd-tot-breuk is groter dan bij de spanningen het geval is. Ook hier is de spreiding voor Al-7050 wat groter dan bij AZ-74.61.

Om de gevoeligheid voor spanningscorrosie van de verschillende warmtebehandelingen te bepalen zijn de quotiënten  $\sigma_{\text{corrosie}}/\sigma_{\text{lucht}}$  berekend (tabel 9 en 10).

De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 6 voor Al-7050 en figuur 9 voor AZ-74.61. In tabel 11 wordt de tijdsduur van de spanningscorrosieproeven gegeven.

#### a. De spanningscorrosie-eigenschappen van Al-7050

Uit figuur 6 blijkt dat de verschillende spanningscriteria vrijwel gelijkvormige resultaten geven maar dat de onderlinge verschillen bij gebruik van de breukwaarde als criterium ( $\sigma_{br.corr}/\sigma_{br.lucht}$ ) wat duidelijker naar voren komen dan bij het rek grens- of treksterkte-criterium.

Opvallend zijn de eigenschappen van de X7 warmtebehandeling, die een hoge sterkte paart aan een kleine gevoeligheid voor spanningscorrosie. Dit gedrag komt overeen met de resultaten van het NLR. Niet uitgesloten mag worden dat de X7 warmtebehandeling niet goed is uitgevoerd. De resultaten van de X7 warmtebehandeling moeten dan ook met de nodige scepsis worden bekeken.

Teneinde betere conclusies uit de resultaten te kunnen trekken zijn de gegevens van figuur 6 zodanig gerangschikt dat de invloed van de verschillende variabelen in de warmtebehandeling zichtbaar wordt (figuur 7). Deze variabelen zijn:

- de afschriktemperatuur.
- primair verouderen.
- tijdsduur secundair verouderen.
- herbehandeling.

#### a.1. Invloed van de afschriktemperatuur

Uit de resultaten blijkt dat in het algemeen de gevoeligheid voor spanningscorrosie na afschrikken in water van 60°C groter is dan na afschrikken in 20°C. Een uitzondering hierop vormen de warmtebehandeling X1 en X14. Deze resultaten komen overeen met die van het NLR. In alle gevallen neemt de spanningscorrosiegevoeligheid af wanneer de afschriktemperatuur wordt verhoogd van 60°C naar 100°C. Een afschriktemperatuur van 100°C blijkt de grootste ongevoeligheid voor spanningscorrosie op te leveren. De resultaten van de proeven van het NLR gaven eveneens een beter resultaat te zien na afschrikken in 100°C t.o.v. 60°C; in een aantal gevallen werd echter gevonden dat de spanningscorrosiegevoeligheid bij 20°C afschrikken nog lager was dan bij 100°C.

#### a.2. Invloed van primair verouderen

Een duidelijke, systematische invloed van het primair verouderen is aan de hand van de proefresultaten niet aantoonbaar. De proeven van het NLR leverden dezelfde conclusies op.

Wel valt op te merken dat de resultaten van dit onderzoek en dat van het NLR redelijk met elkaar in overeenstemming zijn.

#### a.3. Invloed van het secundair verouderen

Voor de warmtebehandelingen waarbij niet wordt voorverouderd blijkt de spanningscorrosiegevoeligheid toe te nemen wanneer de tijdsduur van het secundair verouderen wordt verlengd.

Wanneer wel wordt voorverouderd (20°C, 96 uur) neemt de spanningscorrosiegevoeligheid af wanneer het secundair verouderen langer duurt.

Het NLR vond in alle gevallen een afnemende gevoeligheid voor spanningscorrosie bij toenemende (secundaire) verouderingstijdsduur, onafhankelijk van al dan niet primair verouderen.

#### a.4. Invloed van herbehandeling

Herhaling van de warmtebehandeling zoals door de fabrikant is gegeven geeft een lichte verbetering van de spanningscorrosieweerstand. Deze winst gaat overigens wel gepaard met een aanzienlijke verlaging van de sterkte. Deze resultaten stemmen overeen met die van het NLR.

#### a.5. Relatie tussen de rekgrens en de gevoeligheid voor spanningscorrosie

In figuur 8 is de spanningscorrosiegevoeligheid volgens het breuklastcriterium uitgezet tegen de rekgrens van het materiaal. Uit deze figuur blijkt dat er een aantal warmtebehandelingen is die een goede combinatie van sterkte en weerstand tegen spanningscorrosie geven, nl. X1, X14 en X8 (X7 is buiten beschouwing gela-

ten i.v.m. de mogelijk foutieve warmtebehandeling). Dit zijn alle drie warmtebehandelingen waarbij niet primair is verouderd. Opvallend is verder dat het materiaal in de "as received" conditie (T736 toestand) zeker geen optimale combinatie van sterkte en weerstand tegen spanningscorrosie heeft.

#### b. De spanningscorrosie-eigenschappen van AZ-74.61

Door het ontbreken van een negental smeedstukken voor dit onderzoek zijn een aantal invloedsfactoren bij AZ-74.61 niet of nauwelijks te beoordelen. Ook hier blijkt weer dat de verschillende spanningscorrosiecriteria in het algemeen dezelfde resultaten geven, waarbij het breukwaardecriterium de onderlinge verschillen het meest duidelijk weergeeft (figuur 9).

##### b.1. Invloed van de afschriktemperatuur

In figuur 10 is de invloed van de afschriktemperatuur op de spanningscorrosie-eigenschappen gegeven. Hieruit blijkt dat een afschriktemperatuur van 100°C het materiaal vrijwel ongevoelig voor spanningscorrosie maakt. De gevoeligheid voor spanningscorrosie bij een afschriktemperatuur van 70°C is in het algemeen iets groter dan bij een afschriktemperatuur van 40°C.

In volgorde van toenemende gevoeligheid voor spanningscorrosie is de rangschikking van de afschriktemperatuur voor AZ 74.61: 100°C-40°C-70°C. Dit komt overeen met de resultaten van Al-7050 waar de rangschikking van de afschriktemperatuur was: 100°C-20°C-60°C.

##### b.2. Invloed van het primair verouderen

In de meeste gevallen blijkt de gevoeligheid voor spanningscorrosie af te nemen bij toename van de tijdsduur van het primair verouderen (24 uur i.p.v. 1 uur). Verhoging van de temperatuur van het primair verouderen geeft in een aantal gevallen een grotere gevoeligheid voor spanningscorrosie (figuur 9).

##### b.3. Invloed van het secundair verouderen

Aangezien slechts 1 serie proefstukken beschikbaar was waarbij de temperatuur van het secundair verouderen afwijkend was van die bij de andere warmtebehandelingen (Z26: 170°C gedurende 5 uur i.p.v. 180°C gedurende 3 uur) is het niet mogelijk conclusies te trekken over de invloed van het secundair verouderen. De resultaten van de proefstukken Z26 kwamen wel overeen met die van het NLR, nl. dat de gevoeligheid voor spanningscorrosie groter is indien secundair wordt verouderd bij 170°C gedurende 5 uur i.p.v. 180°C gedurende 3 uur.

##### b.4. Invloed van herbehandeling

De warmtebehandeling Z26 komt ongeveer overeen met de door de fabrikant gegeven warmtebehandeling. In tegenstelling tot de resultaten bij Al-7050 was er bij AZ 74.61 weinig verschil tussen de resultaten van de herbehandelde proefstukken en de proefstukken in de as-received toestand. De mechanische eigenschappen zijn in beide gevallen vrijwel gelijk, terwijl de gevoeligheid voor spanningscorrosie door de herbehandeling iets toeneemt. Deze resultaten komen overeen met de door het NLR gevonden resultaten.

### b.5. Relatie tussen de rekgrens en de gevoeligheid voor spanningscorrosie

In figuur 11 is voor alle onderzochte warmtebehandelingen de gevoeligheid voor spanningscorrosie uitgezet tegen de rekgrens. Uit deze figuur blijkt dat een afschriktemperatuur van 40°C voor dit materiaal de meest gunstige combinatie geeft. (Hierbij moet worden opgemerkt dat van de warmtebehandelingen met een afschriktemperatuur van 10°C slechts één warmtebehandeling voor dit onderzoek beschikbaar was.) De door de fabrikant gegeven warmtebehandeling (Z28) geeft een zeer hoge sterkte, maar een relatief grote gevoeligheid voor spanningscorrosie. Een hoge sterkte, met een zeer goede weerstand tegen spanningscorrosie geeft de warmtebehandeling Z4 (afschrikken bij 40°C, primair verouderen bij 120°C, secundair verouderen bij 180°C).

## 6. DISCUSSIE

Een van de belangrijkste doelstellingen van dit onderzoek was de vraag of de resultaten die met behulp van de constante reksnelheid beproevingsmethoden worden verkregen overeen komen met de resultaten van de constante vervorming beproevingsmethode zoals die door het NLR zijn uitgevoerd. De resultaten tonen aan dat deze vraag bevestigend mag worden beantwoord. In de meeste gevallen komen de resultaten overeen met die van het NLR.

Dat de resultaten van de beide beproevingsmethoden in sommige gevallen niet eenduidig zijn kan ondermeer worden toegeschreven aan het feit dat de belastingsrichting ten opzichte van de vezeloriëntatie voor de twee beproevingsprogramma's niet gelijk is geweest. Ook zijn voor een aantal warmtebehandelingen de verschillen in spanningscorrosiegevoeligheid gering, waardoor deze verschillen verloren gaan in de aan spanningscorrosieproeven inherente spreiding.

Hierbij spelen ook het vrij kleine aantal proefstukken per warmtebehandeling een rol evenals de verschillen in de gebruikte bezwijkcriteria (TH-LR: breukspanning/NLR: logaritmisch gemiddelde van de levensduur).

In de figuren 12 t/m 15 zijn enkele SEM-foto's van breukvlakken gegeven. Door de toevoeging van Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> aan het corrosieve medium (volgens de Duitse norm LN-65666 blijft de algemene corrosie beperkt, waardoor ook de breukvlakken van de proefstukken vrijwel niet worden aangetast.

Duidelijk zijn op de breukvlakken gebieden te onderkennen waar interkristallijne scheuren zijn opgetreden.

Daarnaast zijn gebieden te zien waar een normale trekbreuk is opgetreden. Deze gebieden worden gekenmerkt door de dimple-structuur. De merkwaardige scheuren in de kristallen die te zien zijn in figuur 15 zijn mogelijk veroorzaakt door grote insluitels in de kristallen.

## 7. CONCLUSIES

De invloed van een aantal warmtebehandelingen op de gevoeligheid voor spanningscorrosie van de legeringen Al-7050 en AZ 74.61 is onderzocht met behulp van de constante reksnelheid beproevingsmethode. Dit onderzoek is een aanvulling op het door het NLR uitgevoerde onderzoek waarbij de constante vervorming beproevingsmethode is gebruikt.

De belangrijkste conclusies die uit dit onderzoek kunnen worden getrokken zijn:

- De resultaten van dit onderzoek stemmen in het algemeen overeen met de door het NLR gevonden resultaten die zijn verkregen met een andere beproevingsmethode.
- De legering Al-7050 is superieur aan de legering AZ 74.61. Bij ongeveer dezelfde gevoeligheid voor spanningscorrosie zijn de mechanische eigenschappen

van Al-7050 aanzienlijk beter.

- Een afschriktemperatuur van 100°C is gunstig voor de spanningscorrosie-eigenschappen, maar levert een niet acceptabel verlies aan sterkte op.
- Bij Al-7050 is geen systematische invloed van het primair verouderen; bij AZ 74.61 neemt de gevoeligheid voor spanningscorrosie enigszins af wanneer het primair verouderen langer duurt.
- Bij Al-7050 neemt de gevoeligheid voor spanningscorrosie toe wanneer bij de warmtebehandelingen zonder voorverouderen de tijdsduur van het secundair verouderen wordt verlengd. Bij warmtebehandelingen met voorverouderen neemt de spanningscorrosiegevoeligheid af.  
Voor AZ 74.61 kan i.v.m. het ontbreken van voldoende resultaten geen conclusie m.b.t. de invloed van het secundair verouderen worden getrokken.
- De door de fabrikant gegeven warmtebehandeling is voor het Al-7050 zeker niet optimaal. Voor AZ 74.61 geldt dat in de "as-received condition", de sterkte ( $\sigma_{0.2}$ ) optimaal is maar de gevoeligheid voor spanningscorrosie kan door een andere warmtebehandeling worden verlaagd, waarbij de sterkte slechts weinig afneemt.

## 8. LITERATUUR

1. Schra, L. : Heat treatment studies of aluminium alloy type 7050  
Van Leeuwen, H.P. forgings.  
Interim report no. 1: A preliminary investigation on the effect of heat treatment on hardness and stress corrosion resistance.  
NLR TR 74119 U. Aug. 1974.
2. Schra, L. : Heat treatment studies of aluminium alloy type 7050  
Van Leeuwen, H.P. forgings.  
Interim report no. 2: The effect of heat treatment on a variety of engineering properties.  
NLR TR 76008 U. Jan. 1976.
3. Schra, L. : Heat treatment studies of aluminium alloy type 7050  
Van Leeuwen, H.P. forgings.  
Interim report no. 3: Corroded-specimen fatigue tests and SCC propagation tests.  
NLR TR 77124 U. Dec. 1977.
4. Schra, L. : Heat treatment studies of aluminium alloy forgings of  
Van Leeuwen, H.P. the AZ 74.61 type.  
Interim report no. 1: A preliminary investigation on the effect of heat treatment on hardness and stress corrosion resistance.  
NLR TR 73108 U. Sept. 1973.
5. Schra, L. : Heat treatment studies of aluminium alloy forgings of  
Van Leeuwen, H.P. the AZ 74.61 type.  
Interim report no. 2: The effect of heat treatment on a variety of engineering properties.  
NLR TR 74151 U. Oct. 1974.

6. - : Spannungsriszkorrosions-Prüfung von Aluminium-Knetlegierungen für Luftfahrtgerät.  
Deutsche Normenstelle Luftfahrt LN 65 666. Juli 1974.
7. H.F. de Jong : The constant strain rate method - a useful method for testing stress corrosion cracking.  
Report VTH-214, March 1976.
8. H.F. de Jong : Influence of loading direction and environment on the SCC susceptibility of aluminium 7075 T651.  
British Corrosion Journal, 1980, Vol. 15, no. 3.

## 9. TABELLEN

|                      |                 |                    |
|----------------------|-----------------|--------------------|
| Legering             | Al-7050         | AZ 74.61           |
| Oplosgloeien         | 477°C           | 465°C              |
| Afschrikken          | 66°C (in water) | 30-50°C (in water) |
| Primair verouderen   | 121°C (24 uur)  | 120°C (24 uur)     |
| Secondair verouderen | 177°C (12 uur)  | 170°C (12 uur)     |

Tabel 1: De door de fabrikanten aan de legeringen gegeven warmtebehandelingen (de "as-received" toestand) (lit. 1,4).

| Element         | Al-7050                       |                           | AZ 74.61                      |                                   |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
|                 | volgens specificatie (gew. %) | gemeten door NLR (gew. %) | volgens specificatie (gew. %) | volgens opgave fabrikant (gew. %) |
| Zn              | 5.7-6.7                       | 6.50                      | 5.5-6.5                       | 5.90                              |
| Mg              | 1.9-2.6                       | 2.59                      | 2.1-2.0                       | 2.40                              |
| Mn              | 0.10 max                      | < 0.10                    | 0.1 max                       | < 0.10                            |
| Cu              | 2.0-2.6                       | 2.56                      | 0.6-1.3                       | 1.03                              |
| Cr              | 0.04 max                      | 0.02                      | 0.05-0.25                     | 0.17                              |
| Ag              | -                             | -                         | 0.25-0.40                     | 0.25                              |
| Si              | 0.12 max                      | 0.02                      | 0.4 max                       | 0.10                              |
| Fe              | 0.15 max                      | < 0.15                    | 0.4 max                       | 0.13                              |
| Ti              | 0.06 max                      | 0.01                      | 0.2 max                       | 0.05                              |
| Zr              | 0.08-0.15                     | niet gemeten              | -                             | -                                 |
| overigen elk    | 0.05 max                      | -                         | -                             | -                                 |
| overigen totaal | 0.15 max                      | -                         | -                             | -                                 |
| Al              | rest                          | rest                      | rest                          | rest                              |

Tabel 2: De chemische samenstelling van de legeringen Al-7050 en AZ 74.61 (lit. 1,4).

## Al-7050

| Smeed-<br>stuk | sym-<br>bool | code warmte-<br>behandeling <sup>1)</sup> | Smeed-<br>stuk | sym-<br>bool | code warmte-<br>behandeling        |
|----------------|--------------|---|----------------|--------------|------------------------------------|
| X1             | ●            | 480-20-160(24)                            | X14            | ■            | 480-60-160(24)                     |
| X2             | ●            | 480-20-160(40)                            | X15            | ■            | 480-60-100(24)-160(40)             |
| X3             | ●            | 480-20-20(96)-160(24)                     | X16            | ■            | 480-60-120(24)-160(40)             |
| X4             | ●            | 480-20-20(96)-160(40)                     | X17            | □            | 480-60-180(4)                      |
| X5             | ●            | 480-20-100(24)-160(40)                    | X18            | ☒            | 480-60-100(24)-180(8)              |
| X6             | ●            | 480-20-120(24)-160(40)                    | X19            | ☒            | 480-60-120(24)-180(8)              |
| X7             | ○            | 480-20-180(2)                             | X20            | ▲            | 480-100-160(24)                    |
| X8             | ○○           | 480-20-180(4)                             | X21            | ▲            | 480-100-100(24)-160(40)            |
| X9             | ○○○          | 480-20-180(8)                             | X22            | △            | 480-100-180(4)                     |
| X10            | ○○○○         | 480-20-20(96)-180(4)                      | X23            | △            | 480-100-100(24)-180(8)             |
| X11            | ○○○○         | 480-20-20(96)-180(8)                      | X24            | ⊗            | 477-66-121(24)-177(12)             |
| X12            | ○○○○         | 480-20-100(24)-180(8)                     | X25            | *            | zoals ontvangen (T736<br>toestand) |
| X13            | ○○○○         | 480-20-120(24)-180(8)                     |                |              |                                    |

Tabel 3: De door het NLR op de smeedstukken van de legering Al-7050 toegepaste warmtebehandelingen.

1) Verklaring code warmtebehandeling:

eerste getal: oplosgloeitemperatuur in °C (voor alle smeedstukken 90 min.)

tweede getal: afschriktemperatuur in °C (in water)

derde getal : temperatuur primair verouderen in °C (tussen haakjes is de tijdsduur in uren gegeven)

vierde getal: temperatuur secundair verouderen in °C (tussen haakjes is de tijdsduur in uren gegeven)



## AZ 74.61

| Smeed-<br>stuk | sym-<br>bool | code warmte-<br>behandeling <sup>1)</sup> | Smeed-<br>stuk | sym-<br>bool | code warmte-<br>behandeling |
|----------------|--------------|---|----------------|--------------|-----------------------------|
| Z1             | □            | 465-40-100( 1)-180                        | Z17            | ○            | 465-10-100( 1)-180          |
| Z2             | □            | 465-40-100(24)-180                        | Z18(x)         | ○            | 465-10-100(24)-180          |
| Z3             | ▣            | 465-40-120( 1)-180                        | Z19(x)         | ●            | 465-10-120( 1)-180          |
| Z4             | ▣            | 465-40-120(24)-180                        | Z20(x)         | ●            | 465-10-120(24)-180          |
| Z5             | ■            | 465-40-140( 1)-180                        | Z21(x)         | ●            | 465-10-140( 1)-180          |
| Z6             | ■            | 564-40-140(24)-180                        | Z22(x)         | ●            | 465-10-140(24)-180          |
| Z7             | △            | 465-70-100( 1)-180                        | Z23(x)         | □            | 465-40-100( 1)-170          |
| Z8             | △            | 465-70-100(24)-180                        | Z24(x)         | □            | 465-40-100(24)-170          |
| Z9             | ▲            | 465-70-120( 1)-180                        | Z25(x)         | ▣            | 465-40-120( 1)-170          |
| Z10            | ▲            | 465-70-120(24)-180                        | Z26            | ▣            | 465-40-120(24)-170          |
| Z11            | ▲            | 465-70-140( 1)-180                        |                |              |                             |
| Z12            | ▲            | 465-70-140(24)-180                        | Z28            | *            | zoals ontvangen             |
| Z13            | ○            | 465-100-100(24)-180                       |                |              |                             |
| Z14            | ●            | 465-100-120(3½)-180                       |                |              |                             |
| Z15(x)         | ●            | 465-100-120(24)-180                       |                |              |                             |
| Z16            | ●            | 465-100-140(3½)-180                       |                |              |                             |

Tabel 4: De door het NLR op de smeedstukken van de legering AZ 74.61 toegepaste warmtebehandelingen

1) Verklaring code warmtebehandeling:

eerste getal: oplosgloeitemperatuur in °C (voor alle smeedstukken 90 min.)

tweede getal: afschriktemperatuur in °C (in water)

derde getal : temperatuur primair verouderen in °C (tussen haakjes is de tijdsduur in uren gegeven)

vierde getal: temperatuur secundair verouderen in °C

N.B. Tijdsduur van het secundair verouderen is bij de temp. van 180°C: 3 uren en bij 170°C: 5 uren.

(x) Niet voor het TH-LR onderzoek beschikbaar.

## Al-7050

| Smeed-<br>stuk | $\sigma_{0.2}$<br>MPa | $\sigma_{max}$<br>MPa | $\sigma_{breuk}$<br>MPa | Smeed-<br>stuk | $\sigma_{0.2}$<br>MPa | $\sigma_{max}$<br>MPa | $\sigma_{breuk}$<br>MPa |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| X1             | 569(543)              | 610(580)              | 535                     | X14            | 565(585)              | 605(620)              | 582                     |
| X2             | 528(505)              | 574(559)              | 507                     | X15            | 518(498)              | 567(556)              | 475                     |
| X3             | 591(568)              | 628(591)              | 568                     | X16            | 525(490)              | 573(539)              | 500                     |
| X4             | 537(514)              | 584(566)              | 514                     | X17            | 537(549)              | 587(590)              | 546                     |
| X5             | 500(483)              | 556(547)              | 453                     | X18            | 483(480)              | 534(540)              | 466                     |
| X6             | 553(508)              | 597(561)              | 513                     | X19            | 522(487)              | 576(548)              | 491                     |
| X7             | 572(605)              | 610(632)              | 551                     | X20            | 414(386)              | 516(488)              | 485                     |
| X8             | 542(522)              | 588(569)              | 507                     | X21            | 453(439)              | 518(506)              | 486                     |
| X9             | 507(477)              | 559(546)              | 489                     | X22            | 404(393)              | 489(483)              | 458                     |
| X10            | 532(513)              | 591(561)              | 504                     | X23            | 411(413)              | 484(488)              | 449                     |
| X11            | 508(499)              | 563(551)              | 486                     | X24            | 459(440)              | 522(510)              | 430                     |
| X12            | 514(492)              | 568(552)              | 475                     | X25            | 502(495)              | 560(553)              | 478                     |
| X13            | 479(482)              | 542(542)              | 456                     |                |                       |                       |                         |

Tabel 5: Mechanische eigenschappen van de Al-7050 legering. De tussen haakjes geplaatste waarden zijn door het NLR gemeten.

## AZ 74.61

| Smeed-<br>stuk | $\sigma_{0.2}$<br>MPa | $\sigma_{max}$<br>MPa | $\sigma_{breuk}$<br>MPa | Smeed-<br>stuk | $\sigma_{0.2}$<br>MPa | $\sigma_{max}$<br>MPa | $\sigma_{breuk}$<br>MPa |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Z1             | 467(456)              | 528(514)              | 456                     | Z10            | 430(435)              | 497(506)              | 429                     |
| Z2             | 460(457)              | 518(520)              | 439                     | Z11            | 427(422)              | 495(497)              | 437                     |
| Z3             | 474(459)              | 533(520)              | 461                     | Z12            | 419(419)              | 489(494)              | 424                     |
| Z4             | 483(467)              | 540(526)              | 467                     | Z13            | 272(258)              | 377(368)              | 325                     |
| Z5             | 475(456)              | 533(524)              | 465                     | Z14            | 223(213)              | 371(352)              | 335                     |
| Z6             | 477(457)              | 532(524)              | 457                     | Z16            | 194(197)              | 382(347)              | 331                     |
| Z7             | 416(410)              | 493(489)              | 425                     | Z17            | 474(460)              | 533(525)              | 446                     |
| Z8             | 423(427)              | 499(498)              | 443                     | Z26            | 494(488)              | 550(548)              | 491                     |
| Z9             | 449(431)              | 517(495)              | 456                     | Z28            | 490(476)              | 548(540)              | 485                     |

Tabel 6: Mechanische eigenschappen van de AZ 74.61 legering. De tussen haakjes geplaatste waarden zijn door het NLR gemeten.

## Al-7050

| Smeed-<br>stuk | $\sigma_{0.2}$ gemidd.<br>(MPa) | afwijking<br>min/max<br>waarde<br>t.o.v.<br>gemiddelde<br>(%) -/+ | $\sigma_{max}$ gemidd.<br>(MPa) | afwijking<br>min/max<br>waarde<br>t.o.v.<br>gemiddelde<br>(%) -/+ | $\sigma_{breuk}$ gemidd.<br>(MPa) | afwijking<br>min/max<br>waarde<br>t.o.v.<br>gemiddelde<br>(%) -/+ |
|----------------|---------------------------------|---|---------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| X1             | 556                             | 1.5/1.2   | 584                             | 1.9/1.6   | 504                               | 6.0/5.6   |
| X2             | 497                             | 2.0/2.0   | 532                             | 1.4/1.0   | 430                               | 2.4/3.5   |
| X3             | 534                             | 5.1/6.8   | 569                             | 4.6/5.6   | 509                               | 6.0/6.0   |
| X4             | 492                             | 16.5/10.5   | 544                             | 20.5/11.9   | 466                               | 27.3/19.3   |
| X5             | 492                             | 0.7/1.4   | 530                             | 1.0/1.9   | 418                               | 3.0/4.3   |
| X6             | 529                             | 1.9/2.4   | 562                             | 1.2/2.4   | 462                               | 1.8/3.7   |
| X7             | 588                             | 2.2/2.2   | 619                             | 1.6/1.6   | 582                               | 0.7/1.5   |
| X8             | 541                             | 0.8/1.1   | 572                             | 1.2/0.6   | 480                               | 6.0/8.2   |
| X9             | 494                             | 3.1/2.1   | 534                             | 3.2/2.5   | 433                               | 8.2/5.9   |
| X10            | 528                             | 3.0/1.8   | 564                             | 2.0/1.7   | 455                               | 2.6/3.0   |
| X11            | 507                             | 7.7/6.8   | 545                             | 11.4/9.2  | 452                               | 10.6/10.2   |
| X12            | 504                             | 2.5/2.5   | 541                             | 2.7/2.5   | 427                               | 2.8/5.6   |
| X13            | 494                             | 1.0/1.0   | 533                             | 1.1/1.3   | 425                               | 5.4/5.4   |
| X14            | 557                             | 1.8/1.4   | 588                             | 1.7/1.3   | 552                               | 2.6/2.0   |
| X15            | 504                             | 3.0/3.0   | 537                             | 2.2/2.5   | 428                               | 3.0/6.0   |
| X16            | 512                             | 4.0/4.0   | 544                             | 2.7/3.0   | 453                               | 6.2/5.6   |
| X17            | 528                             | 7.0/6.4   | 559                             | 11.3/9.1  | 487                               | 3.4/4.3   |
| X18            | 467                             | 0.7/0.9   | 507                             | 0/0   | 390                               | 0.9/1.7   |
| X19            | 508                             | 0.2/0.3   | 550                             | 0.9/0.9   | 462                               | 3.5/3.7   |
| X20            | 405                             | 3.8/3.8   | 486                             | 1.1/1.6   | 471                               | 2.2/2.2   |
| X21            | 429                             | 2.2/2.0   | 484                             | 2.6/2.6   | 461                               | 3.3/3.3   |
| X22            | 385                             | 5.5/3.7   | 476                             | 1.6/3.2   | 447                               | 5.5/3.6   |
| X23            | 395                             | 2.6/1.9   | 458                             | 3.2/2.4   | 422                               | 4.6/3.8   |
| X24            | 453                             | 1.1/1.2   | 495                             | 1.2/0.9   | 387                               | 3.9/3.3   |
| X25            | 463                             | 5.3/4.6   | 508                             | 2.7/2.8   | 423                               | 7.2/9.0   |

Tabel 7: Resultaten van de spanningscorrosieproeven van de legering Al-7050.

## AZ 74.61

| Smeed-<br>stuk | $\sigma_{0.2}$ gemidd.<br>(MPa) | afwijking<br>min/max<br>waarde<br>t.o.v.<br>gemiddelde<br>(%) -/+ | $\sigma_{\max}$ gemidd.<br>(MPa) | afwijking<br>min/max<br>waarde<br>t.o.v.<br>gemiddelde<br>(%) -/+ | $\sigma_{\text{breuk}}$ gemidd.<br>(MPa) | afwijking<br>min/max<br>waarde<br>t.o.v.<br>gemiddelde<br>(%) -/+ |
|----------------|---------------------------------|---|----------------------------------|---|--|---|
| Z1             | 469                             | 1.1/0.5   | 521                              | 0.3/0.6   | 446                                      | 1.1/1.1   |
| Z2             | 452                             | 2.1/1.3   | 501                              | 1.4/1.2   | 419                                      | 1.0/0.8   |
| Z3             | 463                             | 2.6/3.5   | 514                              | 1.0/2.0   | 429                                      | 0.2/0.4   |
| Z4             | 473                             | 1.4/1.8   | 519                              | 0.8/1.2   | 455                                      | 2.6/3.0   |
| Z5             | 464                             | 2.9/2.6   | 518                              | 2.1/2.3   | 430                                      | 5.4/3.7   |
| Z6             | 464                             | 1.3/1.5   | 512                              | 0.5/0.5   | 433                                      | 1.2/1.8   |
| Z7             | 418                             | 3.8/2.2   | 476                              | 2.7/2.4   | 391                                      | 3.0/2.2   |
| Z8             | 421                             | 0.8/0.4   | 487                              | 0.7/0.9   | 418                                      | 3.8/2.2   |
| Z9             | 433                             | 0.6/0.6   | 494                              | 0/0   | 409                                      | 1.0/2.7   |
| Z10            | 433                             | 0.6/1.2   | 494                              | 2.1/1.0   | 414                                      | 3.5/2.1   |
| Z11            | 429                             | 3.2/2.8   | 486                              | 2.1/1.0   | 405                                      | 3.1/4.4   |
| Z12            | 409                             | 1.7/2.7   | 476                              | 1.1/2.1   | 399                                      | 2.2/2.2   |
| Z13            | 267                             | 6.4/4.1   | 379 <sup>1)</sup>                | -   | 334 <sup>1)</sup>                        | -   |
| Z14            | 218 <sup>2)</sup>               | 7.6/7.6   | 377 <sup>2)</sup>                | 0.7/0.7   | 331 <sup>2)</sup>                        | 3.1/3.1   |
| Z16            | 203                             | 7.1/6.7   | 376                              | 1.1/1.6   | 323                                      | 2.9/2.6   |
| Z17            | 459                             | 3.0/2.0   | 515                              | 1.2/0.8   | 430                                      | 1.6/1.4   |
| Z26            | 488                             | 1.9/1.2   | 536                              | 0.8/0.6   | 448                                      | 1.1/0.6   |
| Z28            | 491                             | 1.0/1.0   | 536                              | 1.1/1.3   | 446                                      | 0.8/1.0   |

Tabel 8: Resultaten van de spanningscorrosieproeven van de legering AZ 74.61.

- 1) resultaat 1 proefstaaf  
2) resultaat 2 proefstaven

| Smeed-<br>stuk | $\frac{\sigma_{0.2cor}}{\sigma_{0.2dr}}$ | $\frac{\sigma_{maxcor}}{\sigma_{maxdr}}$ | $\frac{\sigma_{brcor}}{\sigma_{brdr}}$ |
|----------------|--|--|--|
| X1             | 0,977                                    | 0,957                                    | 0,942                                  |
| X2             | 0,941                                    | 0,927                                    | 0,848                                  |
| X3             | 0,904                                    | 0,906                                    | 0,896                                  |
| X4             | 0,916                                    | 0,932                                    | 0,907                                  |
| X5             | 0,984                                    | 0,953                                    | 0,945                                  |
| X6             | 0,957                                    | 0,941                                    | 0,901                                  |
| X7             | 1,028                                    | 1,015                                    | 1,056                                  |
| X8             | 0,998                                    | 0,973                                    | 0,947                                  |
| X9             | 0,974                                    | 0,955                                    | 0,885                                  |
| X10            | 0,992                                    | 0,954                                    | 0,903                                  |
| X11            | 0,998                                    | 0,968                                    | 0,930                                  |
| X12            | 0,981                                    | 0,952                                    | 0,899                                  |
| X13            | 1,031                                    | 0,983                                    | 0,932                                  |
| X14            | 0,986                                    | 0,972                                    | 0,948                                  |
| X15            | 0,973                                    | 0,947                                    | 0,901                                  |
| X16            | 0,975                                    | 0,949                                    | 0,906                                  |
| X17            | 0,983                                    | 0,952                                    | 0,892                                  |
| X18            | 0,967                                    | 0,949                                    | 0,837                                  |
| X19            | 0,973                                    | 0,955                                    | 0,941                                  |
| X20            | 0,978                                    | 0,942                                    | 0,971                                  |
| X21            | 0,947                                    | 0,934                                    | 0,949                                  |
| X22            | 0,953                                    | 0,973                                    | 0,976                                  |
| X23            | 0,961                                    | 0,946                                    | 0,940                                  |
| X24            | 0,987                                    | 0,948                                    | 0,891                                  |
| X25            | 0,924                                    | 0,902                                    | 0,885                                  |

Tabel 9: Spanningscorrosiegevoeligheidscoëfficiënten voor Al-7050.

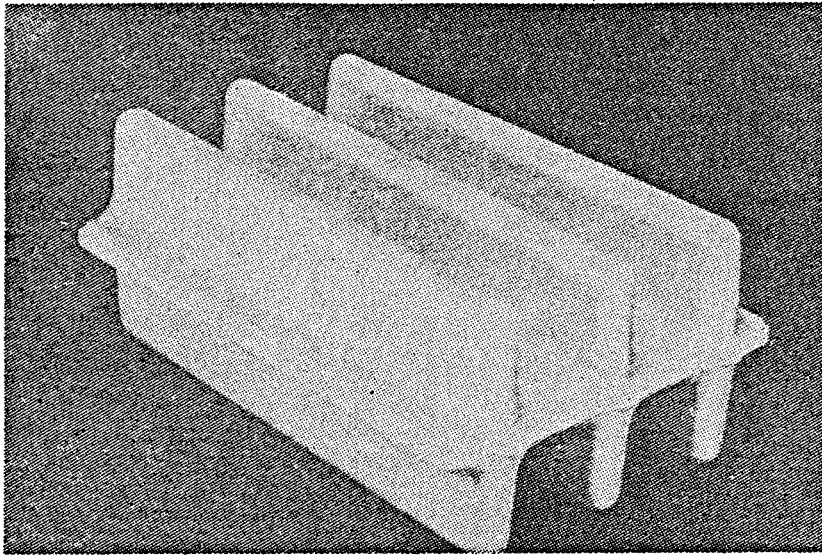
| Smeed-<br>stuk | $\frac{\sigma_{0.2_{cor}}}{\sigma_{0.2_{dr}}}$ | $\frac{\sigma_{max_{cor}}}{\sigma_{max_{dr}}}$ | $\frac{\sigma_{br_{cor}}}{\sigma_{br_{dr}}}$ |
|----------------|--|--|--|
| Z1             | 1,004  | 0,987  | 0,978  |
| Z2             | 0,983  | 0,967  | 0,954  |
| Z3             | 0,977  | 0,964  | 0,931  |
| Z4             | 0,979  | 0,961  | 0,974  |
| Z5             | 0,977  | 0,972  | 0,917  |
| Z6             | 0,973  | 0,962  | 0,947  |
| Z7             | 1,005  | 0,966  | 0,920  |
| Z8             | 0,995  | 0,976  | 0,944  |
| Z9             | 0,964  | 0,956  | 0,897  |
| Z10            | 1,007  | 0,994  | 0,965  |
| Z11            | 1,005  | 0,982  | 0,927  |
| Z12            | 0,976  | 0,973  | 0,941  |
| Z13            | 0,982  | 1,005  | 1,028  |
| Z14            | 0,978  | 1,016  | 0,988  |
| Z15            | 1,046  | 0,984  | 0,976  |
| Z17            | 0,968  | 0,966  | 0,923  |
| Z26            | 0,988  | 0,975  | 0,912  |
| Z28            | 1,002  | 0,978  | 0,920  |

Tabel 10: Spanningscorrosiegevoelig-  
heidscoëfficiënten voor  
AZ 74.61.

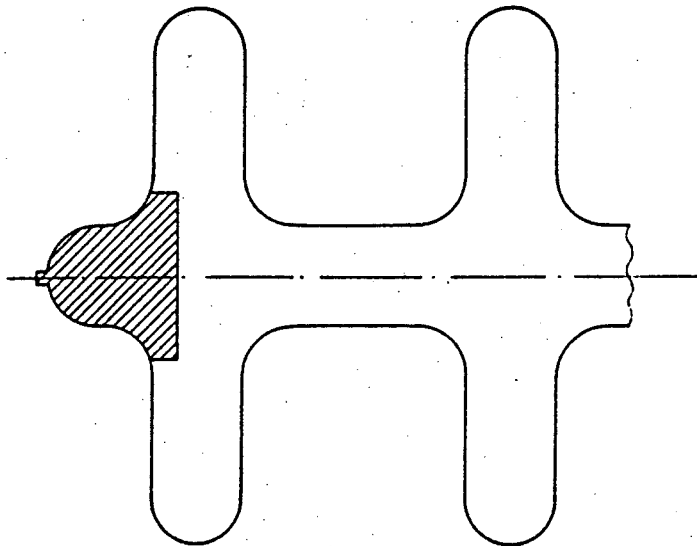
| Smeedst.<br>Al-7050 | Tijdsduur<br>corrosiepr.(uur) |      |      |
|---------------------|-------------------------------|------|------|
|                     | Code                          | I    | II   |
| X1                  | 50,8                          | -    | 66,2 |
| X2                  | 64,5                          | -    | 64,7 |
| X3                  | 57,2                          | -    | 54,7 |
| X4                  | -                             | -    | 63,8 |
| X5                  | 67,4                          | 67,1 | 64,2 |
| X6                  | 63,4                          | 67,4 | 64,1 |
| X7                  | 49,4                          | 64,0 | 60,1 |
| X8                  | 64,1                          | 64,5 | 65,8 |
| X9                  | 60,2                          | 67,2 | 62,9 |
| X10                 | 69,2                          | 67,3 | 65,6 |
| X11                 | 59,0                          | 66,6 | 65,4 |
| X12                 | 62,9                          | -    | 61,8 |
| X13                 | 61,9                          | 68,1 | 60,1 |
| X14                 | 54,6                          | 54,8 | 60,0 |
| X15                 | 64,2                          | 61,6 | 63,2 |
| X16                 | 59,8                          | 62,0 | 65,3 |
| X17                 | 56,9                          | 68,0 | 51,4 |
| X18                 | 61,6                          | 66,9 | 66,0 |
| X19                 | -                             | -    | 58,5 |
| X20                 | 43,9                          | 51,8 | 49,0 |
| X21                 | -                             | 49,0 | 40,7 |
| X22                 | 50,0                          | 45,8 | 57,7 |
| X23                 | 49,5                          | -    | 48,1 |
| X24                 | 63,0                          | 59,4 | 63,1 |
| X25                 | 61,7                          | 41,3 | -    |

| Smeedst.<br>AZ 74.61 | Tijdsduur<br>corrosiepr.(uur) |      |      |
|----------------------|-------------------------------|------|------|
|                      | Code                          | I    | II   |
| Z1                   | 64,5                          | 62,8 | 63,3 |
| Z2                   | 63,7                          | 63,3 | 62,9 |
| Z3                   | -                             | -    | 65,4 |
| Z4                   | 64,6                          | 58,1 | 61,8 |
| Z5                   | 64,0                          | 63,5 | 64,5 |
| Z6                   | 62,6                          | 63,7 | 63,7 |
| Z7                   | 63,0                          | 63,6 | 60,4 |
| Z8                   | 60,4                          | 59,6 | 61,4 |
| Z9                   | 59,5                          | 64,1 | 59,3 |
| Z10                  | 63,6                          | 58,8 | 62,4 |
| Z11                  | 59,3                          | 61,8 | 57,5 |
| Z12                  | 62,3                          | 58,6 | 64,4 |
| Z13                  | 58,3                          | 61,9 | -    |
| Z14                  | -                             | 59,7 | 73,2 |
| Z16                  | 75,2                          | 78,7 | 72,2 |
| Z17                  | 63,0                          | 55,2 | 65,1 |
| Z26                  | 56,5                          | 66,5 | 56,6 |
| Z28                  | 66,2                          | 56,5 | 66,7 |

Tabel 11: Tijdsduur van de spanningscorrosieproeven.

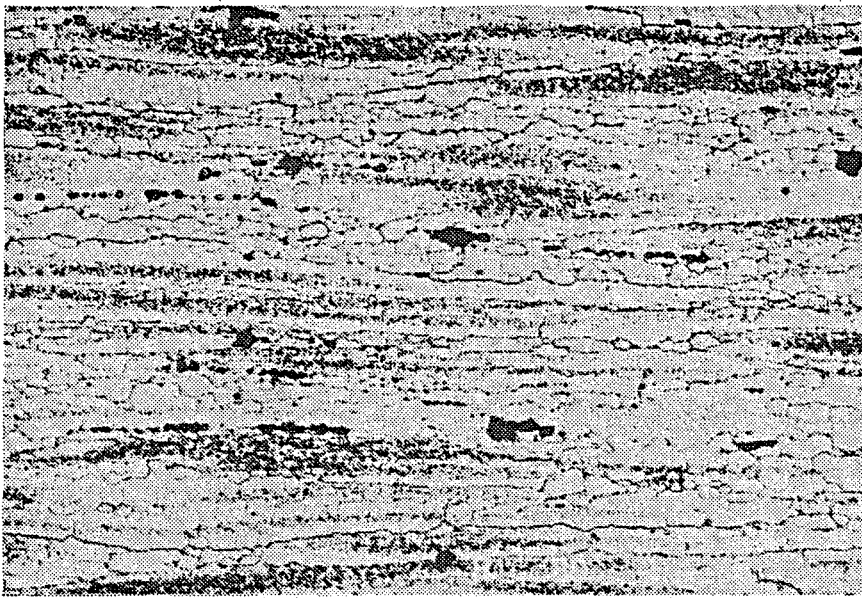


Figuur 1. Vorm van de smeedstukken (lit. 4).

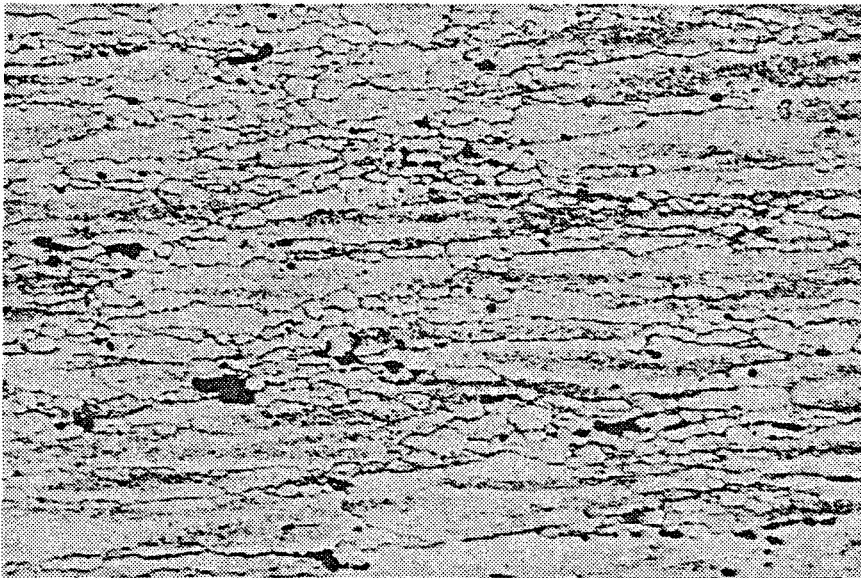


Figuur 2. Plaats van de proefflens in het smeedstuk.

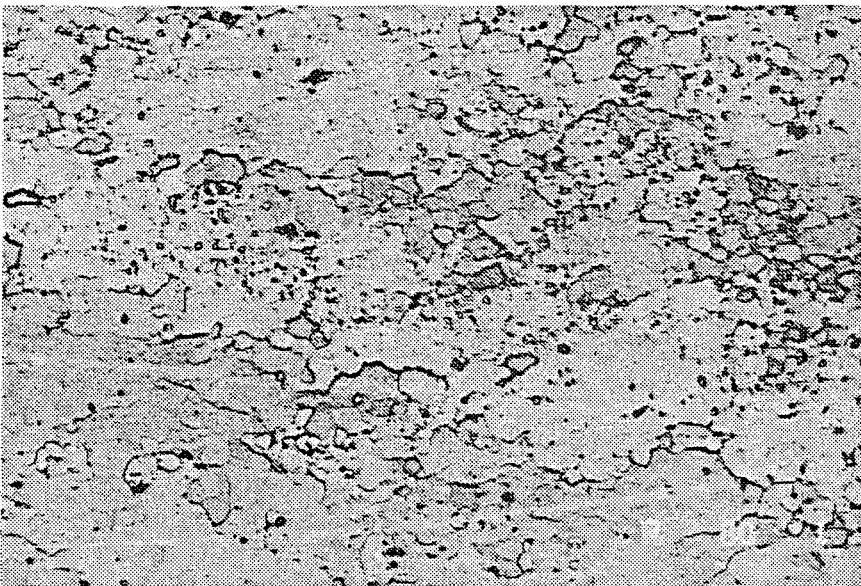




Vlak [1,2]

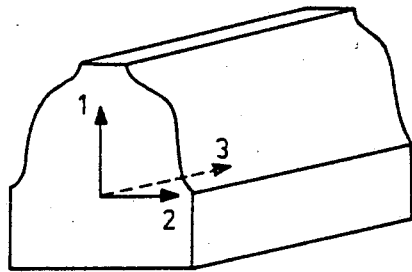


Vlak [2,3]

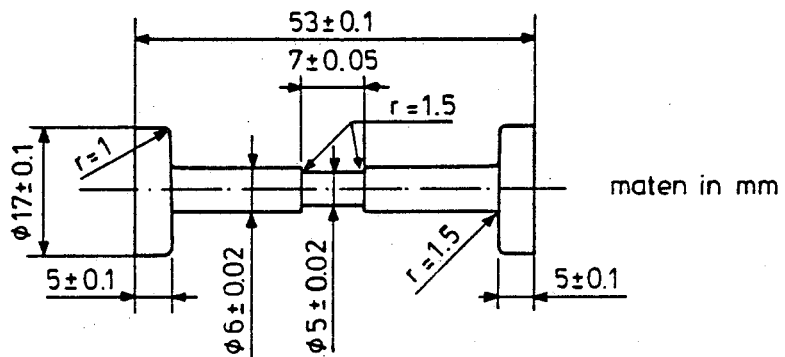


Vlak [1,3]

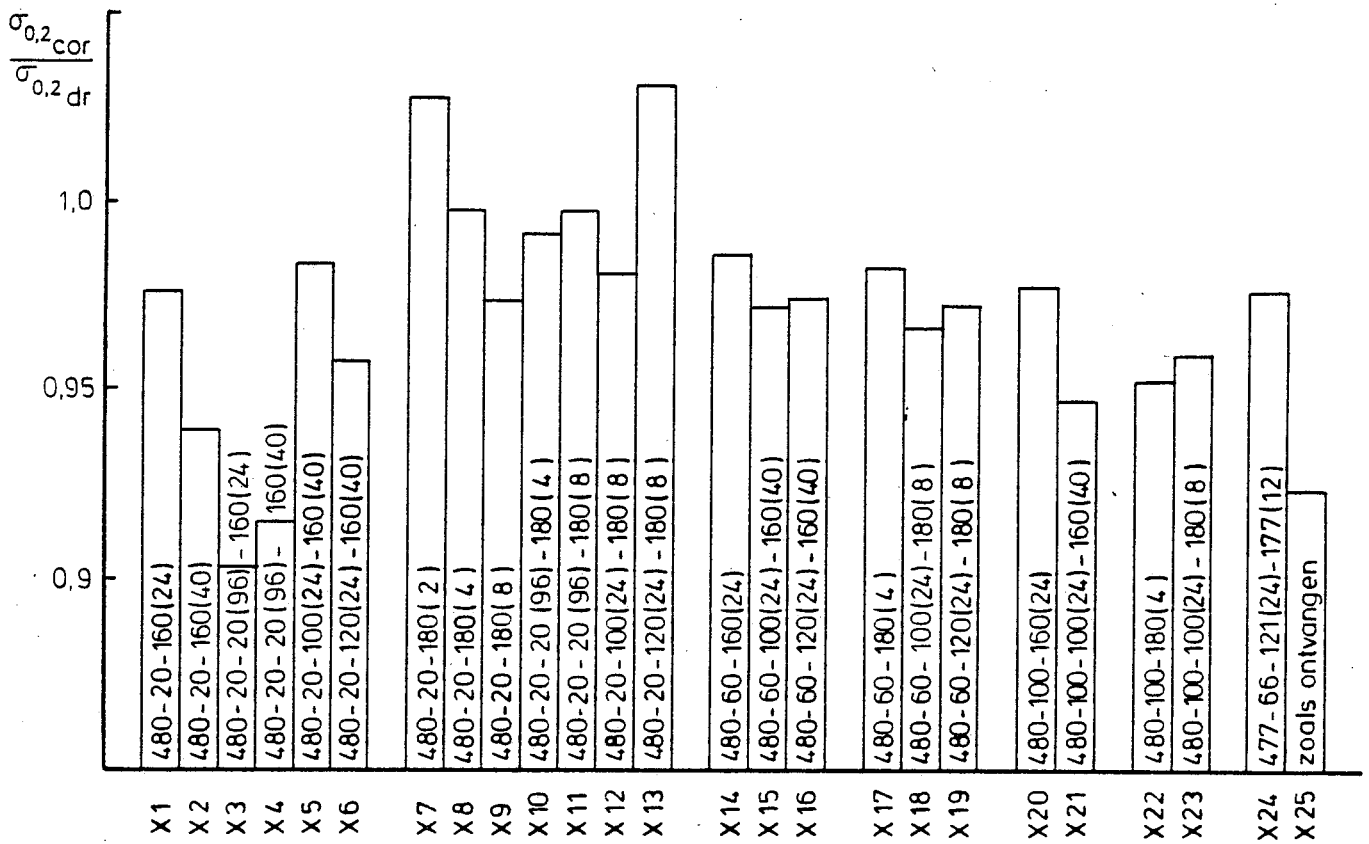
Figuur 3. Microstructuur van AZ 74.61  
Vergroting ca. 300 x.



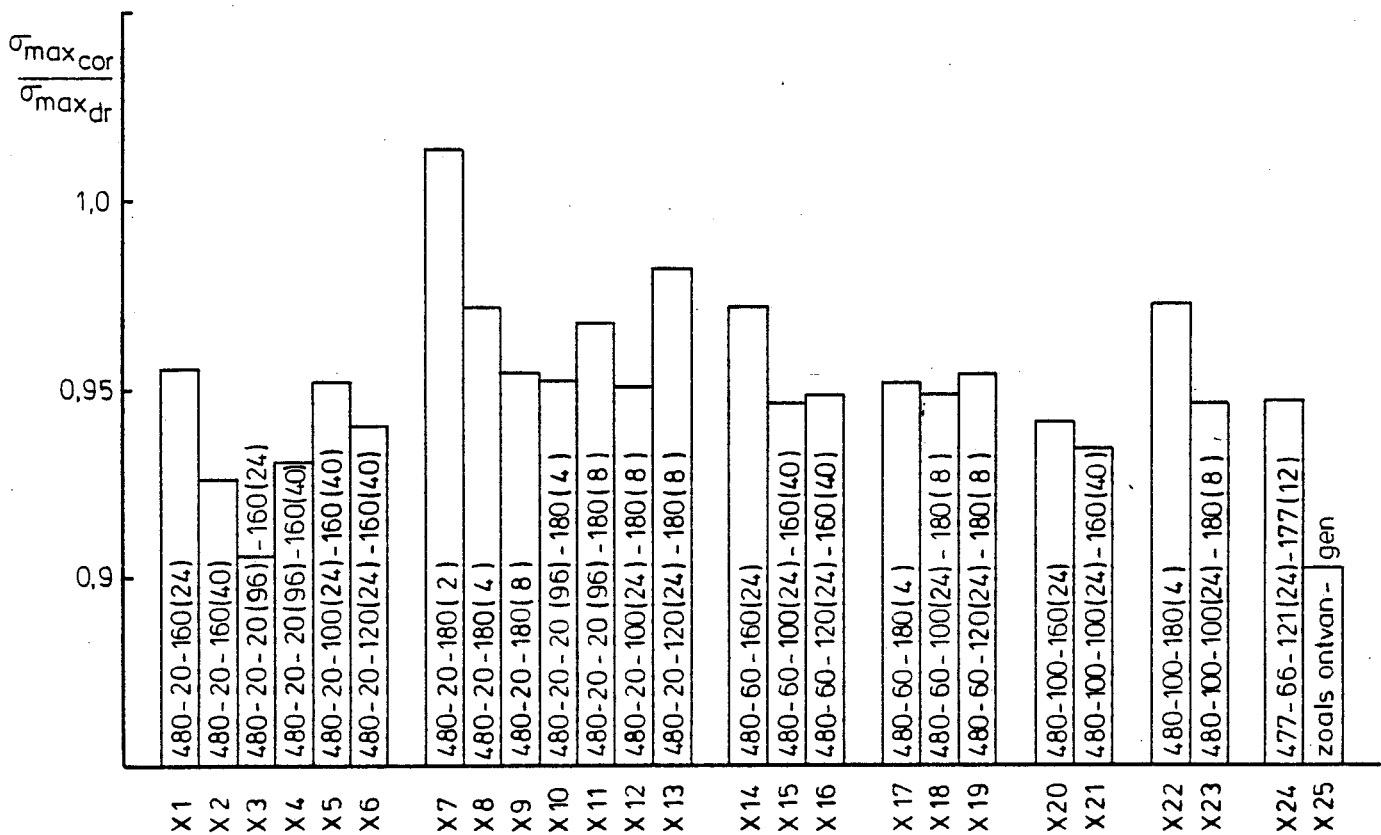
Figuur 4. Definitie van de materiaalrichtingen.



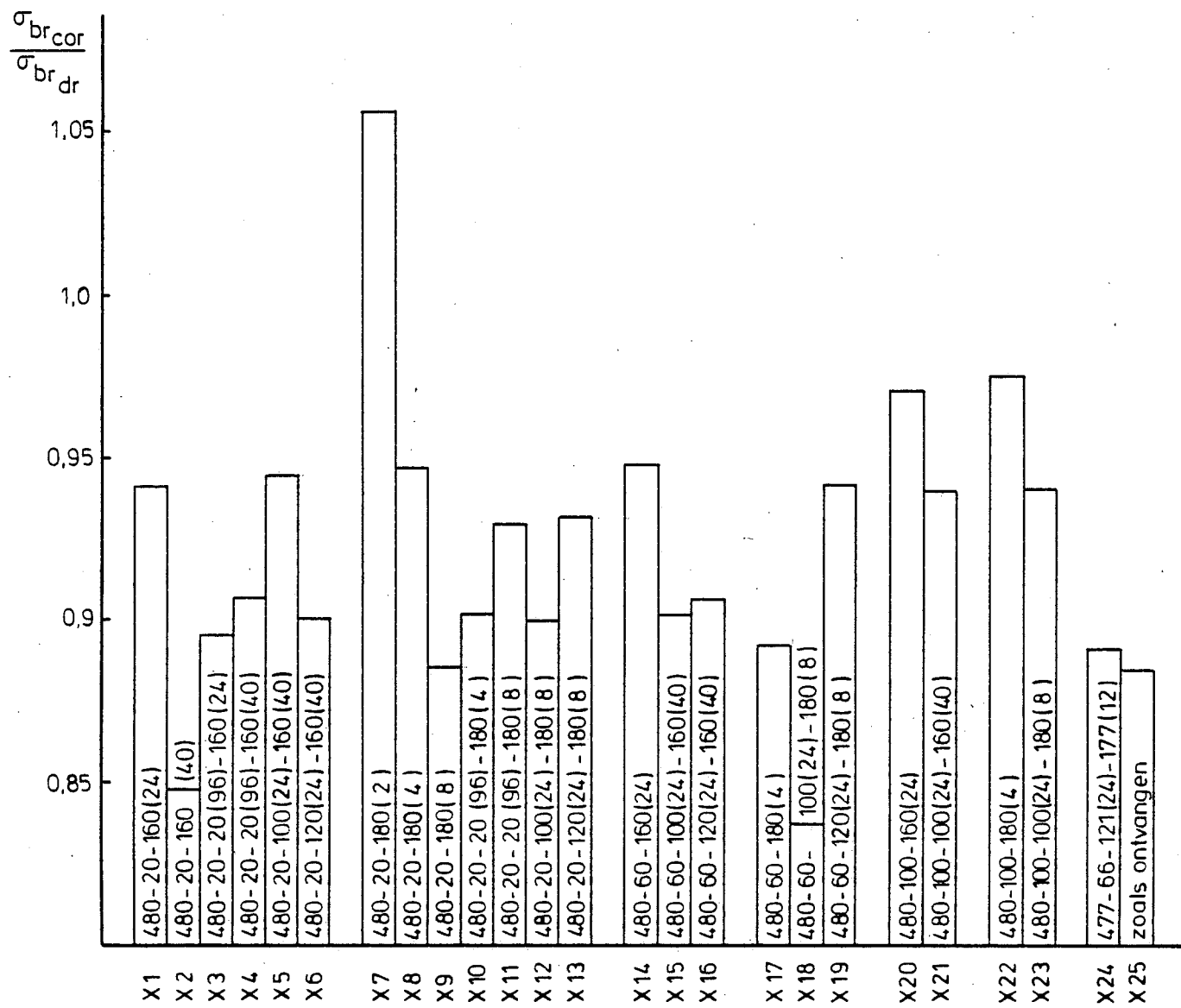
Figuur 5. Afmetingen van de proefstaven.



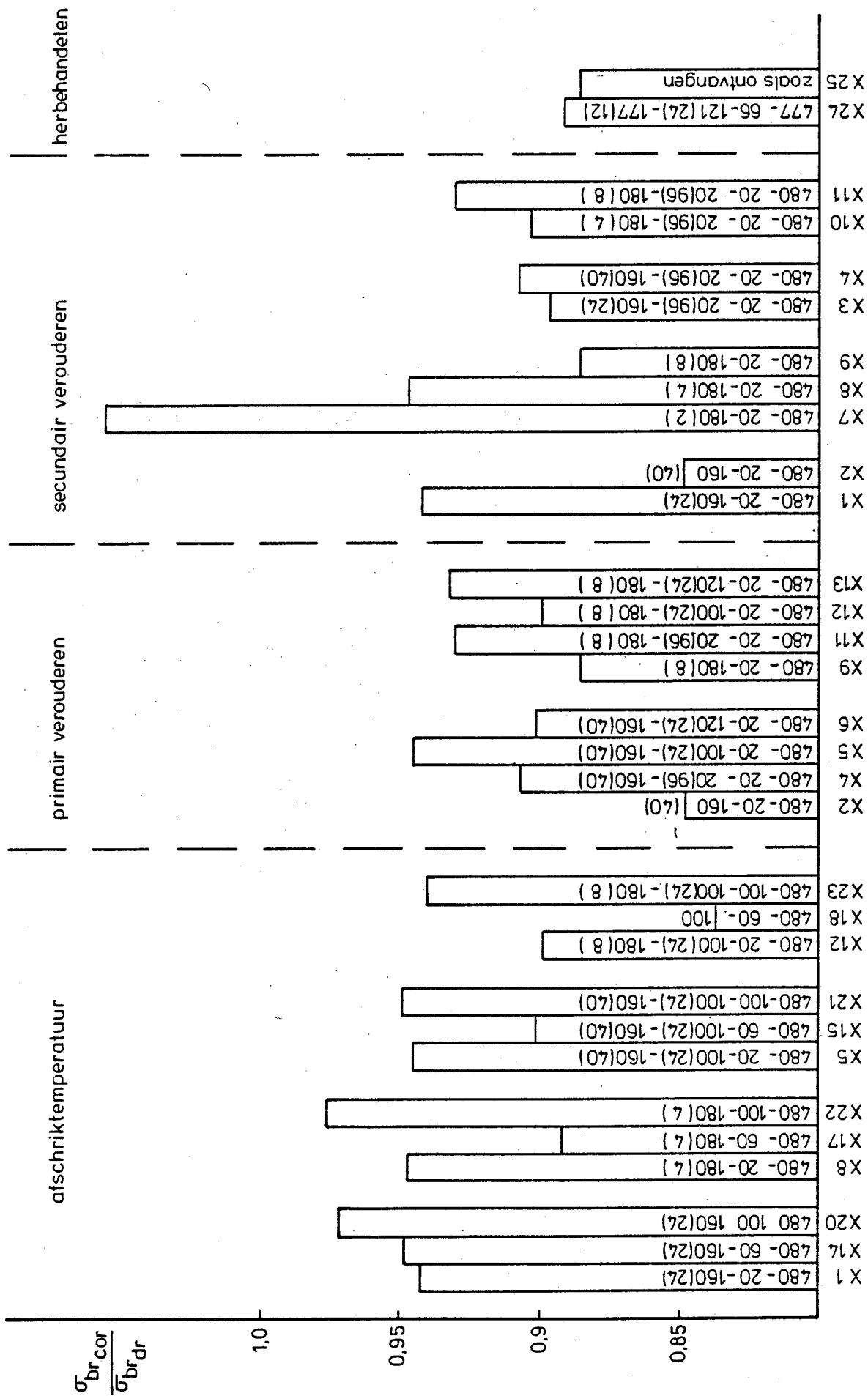
Figuur 6a. Het effect van de warmtebehandeling op de spanningscorrosiegevoeligheid van AL 7050. (waarden bij de rekgrens)



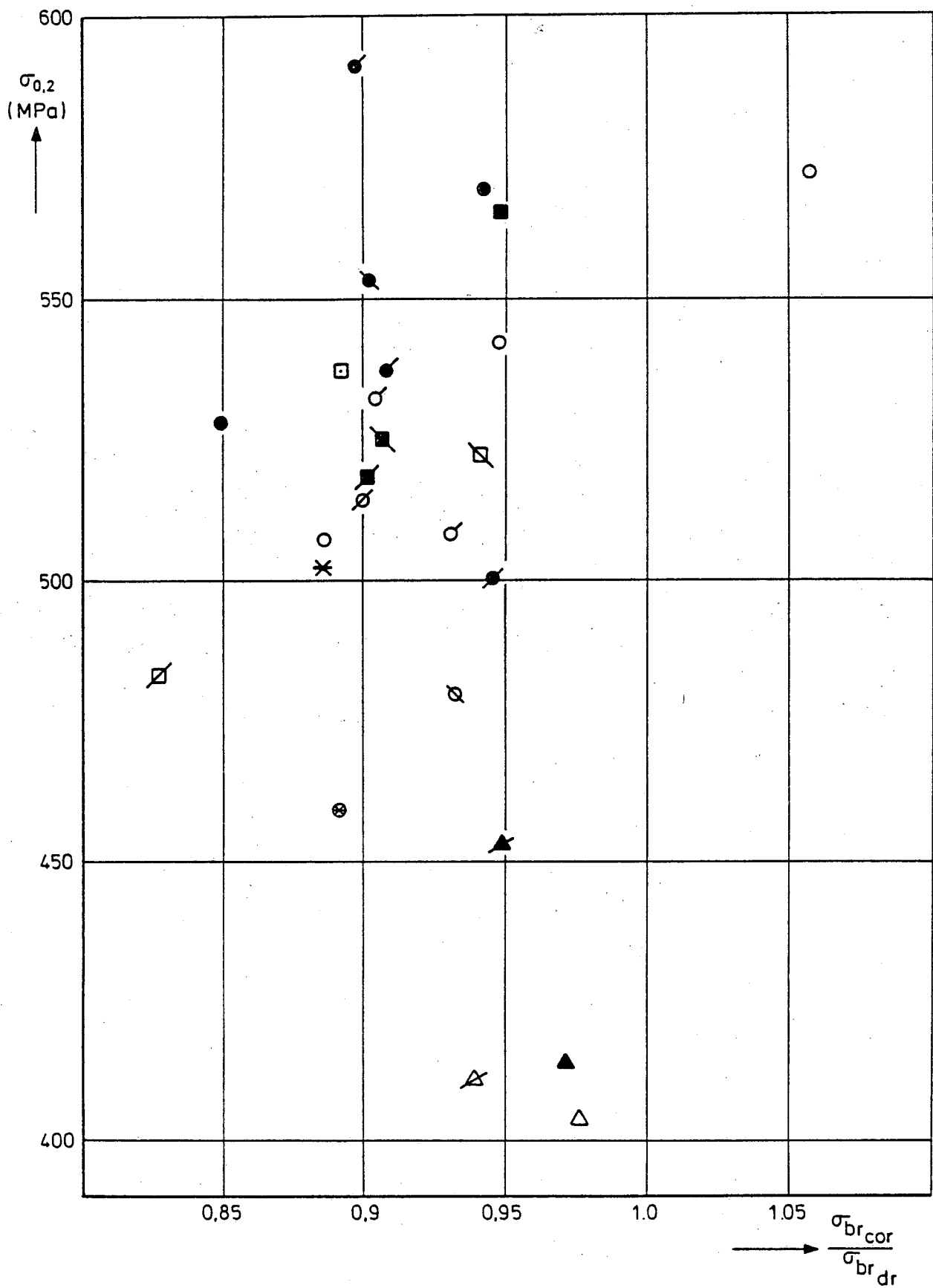
Figuur 6b. Idem, waarden bij de treksterkte.



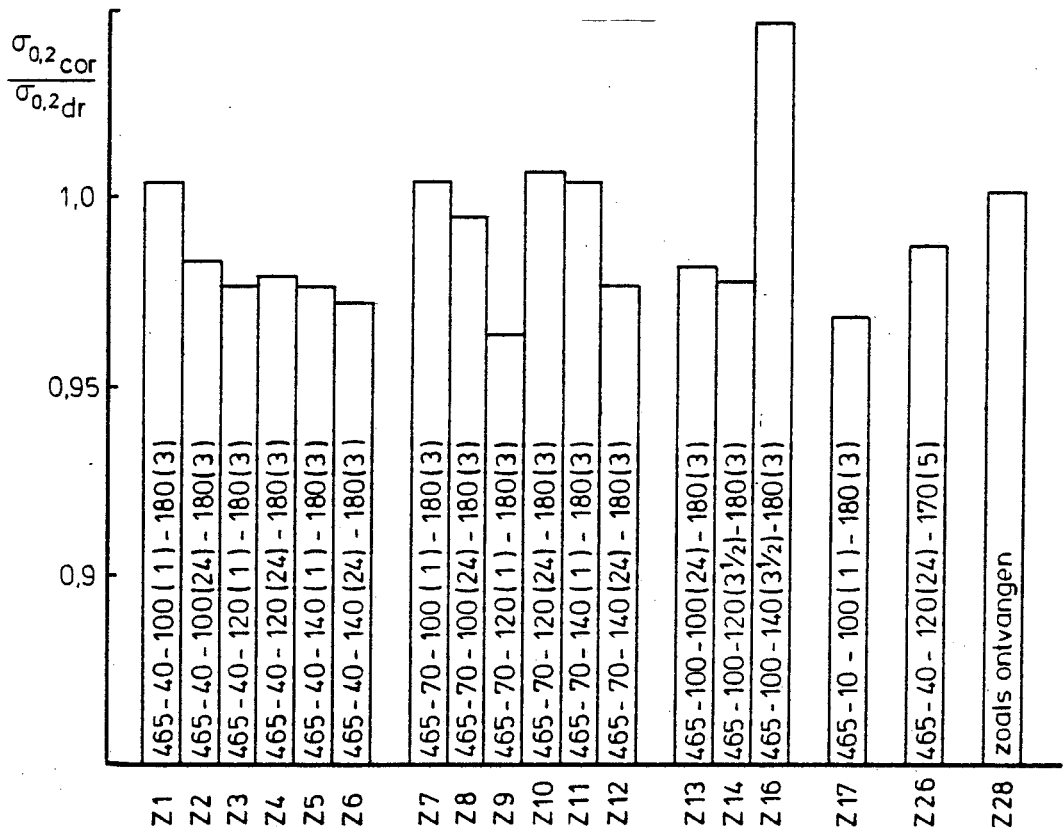
Figuur 6c. Idem, voor de breukwaarden.



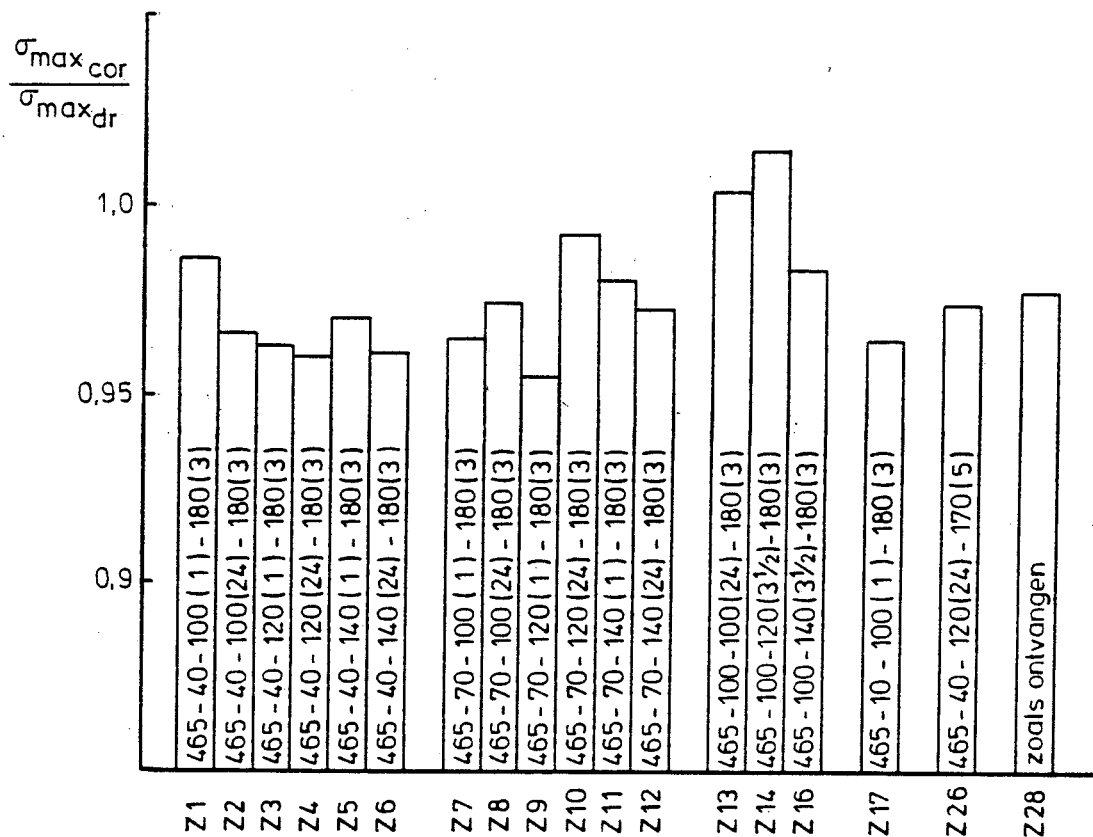
Figuur 7. De invloed van de warmtebehandeling op de spanningscor. gevoeligheid, gerangschikt naar enkele factoren voor A1 7050.



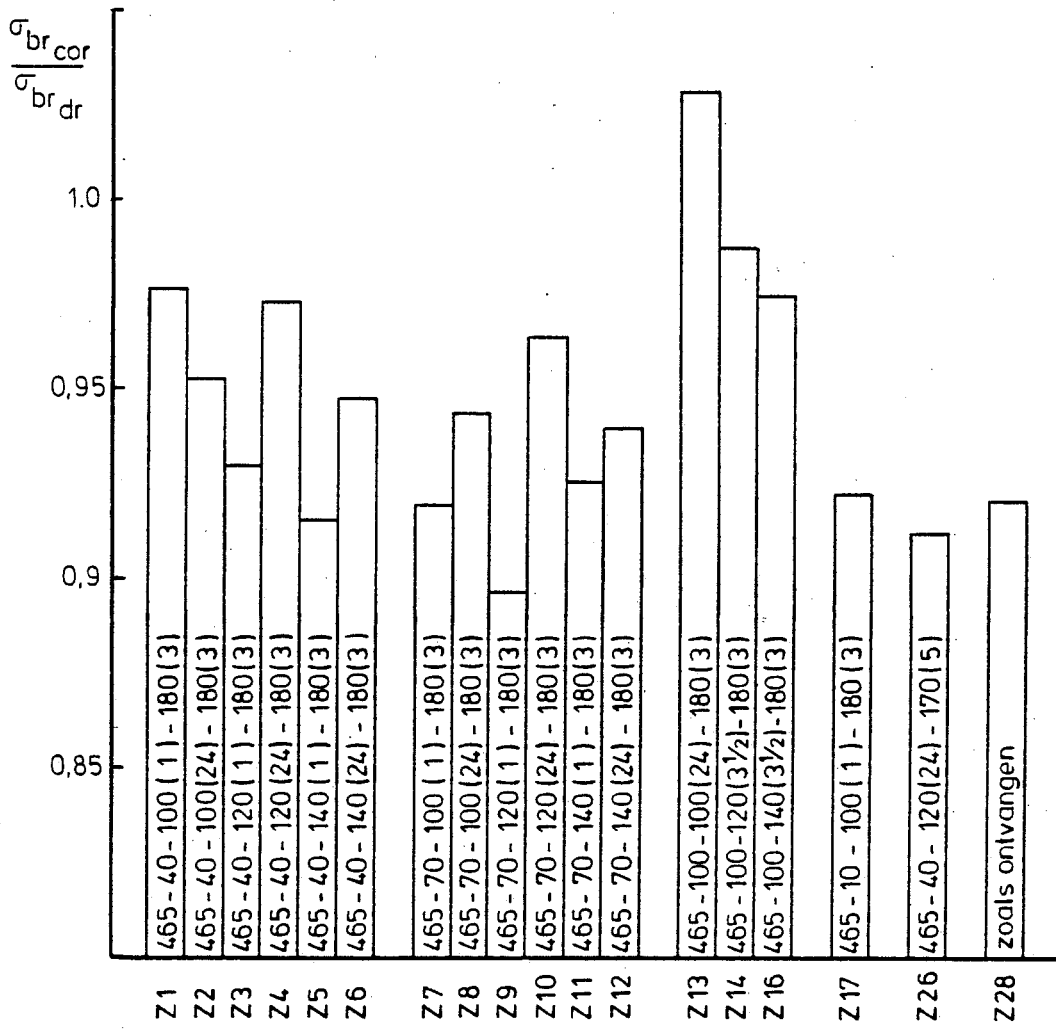
Figuur 8. De spanningscorrosiegevoeligheid van AL 7050 als functie van de rekgrans, voor verschillende warmtebehandelingen.



Figuur 9a. De invloed van de warmtebehandeling op de spanningscorrosiegevoeligheid van AZ 74.61 - de rekgranswaarden.

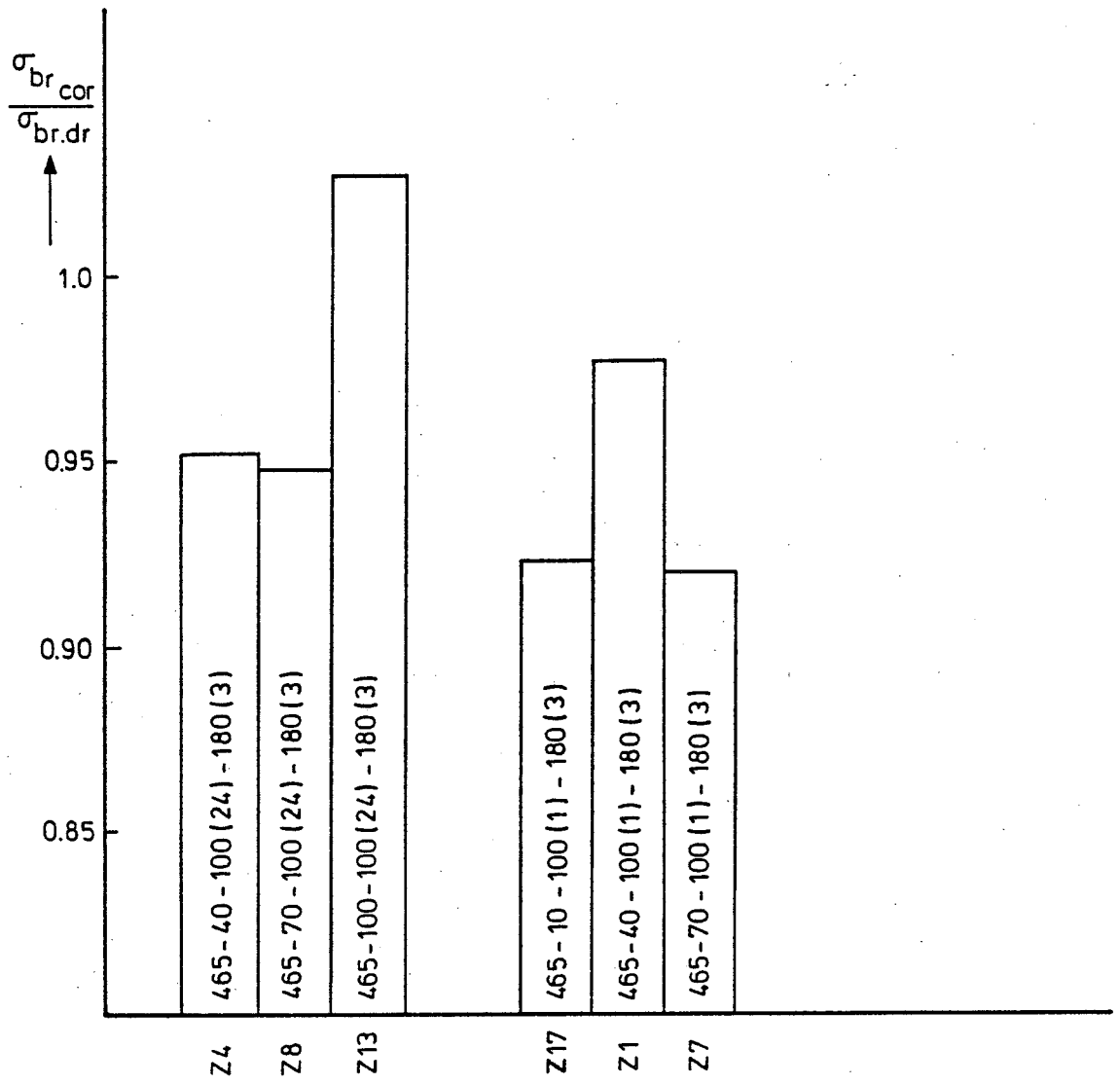


Figuur 9b. Idem, de treksterktewaarden.

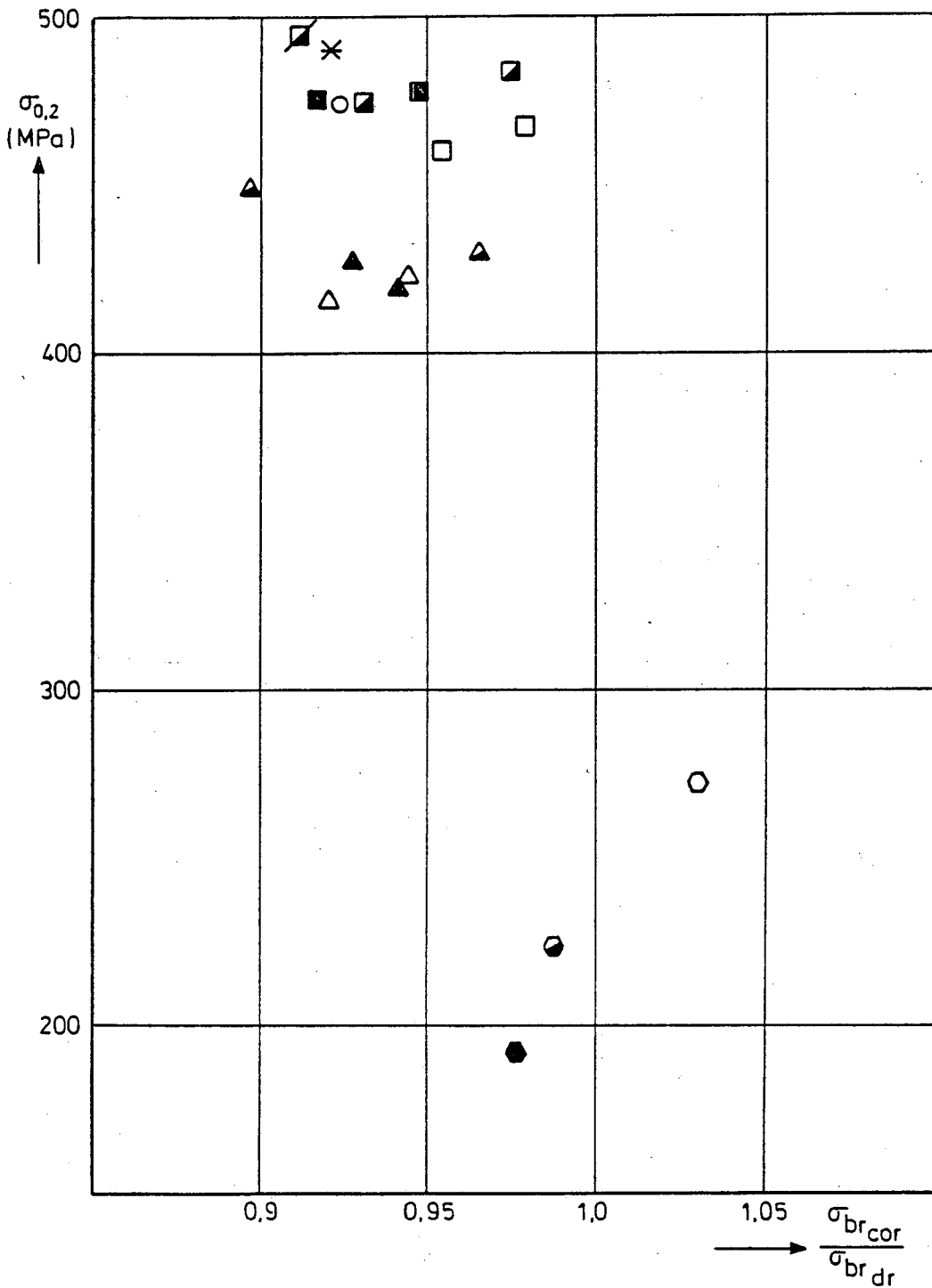


Figuur 9c. Idem, de breukwaarden.





Figuur 10. Invloed van de afschriktemperatuur op de corrosiegevoeligheid van AZ 74.61.



Figuur 11. De spanningscorrosiegevoeligheid van AZ 74.61 als functie van de rekgrens, voor verschillende warmtebehandelingen.

