

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT
AFDELING DER LUCHTVAART- EN RUIMTEVAARTECHNIEK

Memorandum M-253

De reststerkte van dunne, smalle panelen
van Al-2024 T3 en Al-7075 T6

door

H.F. de Jong

Delft - Nederland
augustus 1976

INHOUD

	blz.
1. Samenvatting	1
2. Inleiding	2
3. Materiaal en proefstukvorm	4
4. Uitvoering van de proeven	5
5. Resultaten	6
5.1. Platen met centrale scheur	6
5.2. Platen met enkelzijdige scheur uitgaande van een centraal gat	6
5.3. Platen met centrale scheur met verstevigings- strippen	6
6. Bespreking van de resultaten	7
6.1. Platen met centrale scheur	7
6.2. Platen met een scheur (enkelzijdig) vanuit een centraal gat	7
6.3. Platen met centrale scheur met verstevigings- strippen	8
7. Conclusies	9
8. Literatuur	9

Tabellen

Figuren

1. SAMENVATTING

Voor het opzetten van een geschikte praktikum/instructie proef bij het college Vliegtuigmaterialen I zijn een aantal reststerkte proeven uitgevoerd aan dunne ($t=2$ mm), smalle ($W=100$ mm) platen Al-2024 T3 en Al-7075 T6.

De onderzochte configuraties zijn:

- a. platen met centrale scheur,
- b. platen met een scheur (enkelzijdig) vanuit een centraal gat,
- c. platen met een centrale scheur, waarop aan weerszijden een versterkingsstrip wordt bevestigd.

De reststerkte eigenschappen van Al-7075 T6 blijken iets beter te zijn dan die van Al-2024 T3. De oorzaak hiervan is dat door de geringe proefplaatbreedte (100 mm) de reststerkte hoofdzakelijk wordt bepaald door σ_{ys} . De reststerkte van de platen met een scheur vanuit een centraal gat is gelijk aan die van de centraal gescheurde platen met een scheurlengte die gelijk is aan de gatdiameter plus de lengte van de daaruit ontspringende scheur.

Door de versterkingsstrippen blijkt de reststerkte van de centraal gescheurde platen te worden verhoogd.

De lengte van de strippen blijkt ook enige invloed op de reststerkte te hebben.

2. INLEIDING

Bij de huidige vliegtuigconstructies ligt de nadruk op de fail-safe eigenschappen van de constructie. Bij het ontwerpen van een fail-safe constructie wordt de volgende gedachtengang gevolgd:

- a. Bij bezwijken van een bepaald onderdeel moet de belasting van dit onderdeel (tijdelijk) kunnen worden overgenomen door een ander onderdeel (multipath structure).
- b. Voor constructiedelen waarvoor de onder punt a. genoemde eis niet mogelijk is, wordt geëist dat gedurende de periode tussen twee inspectiebeurten een scheur in een onderdeel, die bij de laatste inspectiebeurt nog niet aanwezig was of nog te klein om gedetecteerd te kunnen worden, niet mag groeien tot een zodanige lengte dat de reststerkte van het onderdeel te klein is geworden om de belasting te kunnen dragen.

Toepassing van de onder punt b. genoemde eis veronderstelt kennis van de scheurgroeisnelheid en de reststerkte als materiaaleigenschappen.

In dit rapport wordt alleen de reststerkte van dunne ($t=2$ mm) en relatief smalle ($W=100$ mm) proefplaten van geplateerd Al-2024 T3 en Al-7075 T6 onderzocht. De reststerkte eigenschappen van dunne platen zijn afwijkend van die van dikke platen.

Een bekend verschijnsel bij reststerkte proeven op dunne platen van voldoende ductiel materiaal (zoals Al-2024, en in iets mindere mate Al-7075) is de stabiele scheurgroei. In fig. 1 is een schematisch reststerkte-diagram van een dergelijk materiaal gegeven. Hierin zijn 3 lijnen getrokken:

- 1) lijn a, die de spanning σ_1 (waarbij de stabiele scheurgroei begint) als functie van de beginscheurlengte $2a_0$ aangeeft,
- 2) lijn b, die de bezwijkspanning σ_c als functie van de kritische scheurlengte $2a_c$ aangeeft,
- 3) lijn c, die de bezwijkspanning σ_c als functie van de beginscheurlengte $2a_0$ aangeeft.

Deze laatste lijn heeft voor de praktijk de meeste betekenis. Hij geeft immers aan bij welke belasting een plaat met b.v. een vermoeiingsscheur, bezwijkt. Of daaraan wel of niet stabiele scheurgroei is voorafgegaan, is voor de praktijk niet belangrijk.

De reststerkte eigenschappen van dunne plaat kunnen worden beschreven door de spanningintensiteitsfactor voor een vlakspanningstoestand K .

Voor wat betreft het reststerktediagram kunnen drie K -factoren worden onderscheiden:

$$K_i = C \cdot \sigma_i \sqrt{\pi a_o}$$

$$K_c = C \cdot \sigma_c \sqrt{\pi a_c}$$

$$K_e = C \cdot \sigma_c \sqrt{\pi a_o}$$

Van deze drie K -factoren is K_e voor de praktijk de belangrijkste (vgl. lijn c in het reststerktediagram in fig. 1).

Uit proeven is gebleken dat bij een bepaalde plaatdikte K_c toeneemt met toenemende plaatbreedte, tot bij een bepaalde breedte een constante waarde wordt bereikt.

Feddersen heeft een praktisch bruikbare methode ontwikkeld om de reststerkte van platen van verschillende breedte W te bepalen als de K_c waarde voor dat materiaal (bij een bepaalde dikte) bekend is.

Deze methode wordt o.m. beschreven in lit. 1. Vanuit de punten $\sigma = \sigma_{0.2}$ en $2a = W$, worden de raaklijnen getrokken aan de kromme bepaald door

$$\sigma_c = K_c / \sqrt{\pi a_c} \quad (\text{fig. 2})$$

Er kan worden aangetoond dat de raakpunten liggen bij $\sigma_c = \frac{2}{3} \sigma_{0.2}$ en $2a = \frac{1}{3} W$.

De minimum plaatbreedte waarvoor deze methode gebruikt kan worden is die waarbij de twee raakpunten samenvallen. Voor W_{\min} kan dan worden

$$W_{\min} = \frac{27}{2} \cdot \frac{K_c^2}{\sigma_{0.2}^2}$$

Uit deze vergelijking voor W_{\min} kunnen tevens de eisen voor een geldige K_c bepaling worden afgeleid:

$$\sigma_c < \frac{2}{3} \sigma_{0.2} \quad \text{en} \quad 2a < \frac{1}{3} W$$

Bij platen met een kleinere breedte dan W_{\min} worden de reststerkte eigenschappen niet meer bepaald door K_c , maar door het "net section yield criterium", d.w.z. de plaat bezwijkt als in de netto doorsnede de spanning gelijk wordt aan $\sigma_{0.2}$.

De reststerkte eigenschappen van een materiaal met een hoge $\sigma_{0.2}$ maar lage K_c -waarde zijn dan beter dan die van een materiaal met een hogere K_c -waarde maar lagere $\sigma_{0.2}$ (b.v. Al-7075 en Al-2024).

3. MATERIAAL EN PROEFSTUKVORM

De mechanische eigenschappen van het gebruikte Al-2024 T3 en Al-7075 T6 plaatmateriaal zijn gegeven in onderstaande tabel:

	$\sigma_{0.2}$		σ_{hr}		ϵ
	kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ²	MN/m ²	%
Al-2024 T3 clad t = 2 mm	38.0	373	49.0	481	18
Al-7075 T6 clad t = 2 mm	47.3	464	52.5	515	13

De proefstaafvormen worden gegeven in fig. 3 en 4.

De verstevigingsstrippen (fig. 4) zijn van hetzelfde materiaal als de proefplaat waarop zij worden bevestigd en hebben dezelfde breedte als de scheurlengte in de proefplaat ($2a = 24$ mm). De verticale afstand ($2h$) tussen de bouten is resp. 100, 50 en 25 mm (fig. 4).

De stripjes worden op de proefplaten bevestigd nadat hierin de vermoeiingsscheur van 24 mm is aangebracht.

4. UITVOERING VAN DE PROEVEN

Bij alle proefplaten is met een juwelierszaagje met een dikte van 0.18 mm een beginkerf van enkele millimeters lang gemaakt. Daarna is op de elektro-hydraulische Amsler vermoeiingsmachine een vermoeiings-scheur van de gewenste lengte aangebracht.

De vermoeiingsbelasting is $10 \pm 6 \text{ kgf/mm}^2$.

Bij de grotere scheurlengte is de vermoeiingsbelasting enkele malen verlaagd om beneden de statische reststerkte van de proefplaten te blijven. Voor alle vermoeiingsbelastingen geldt echter dat $R = S_{\min} / S_{\max} = \frac{1}{4}$.

Na het aanbrengen van de vermoeiingsscheur zijn de proefplaten statisch tot breuk belast. De grootte van de stabiele scheurgroei is niet gemeten. De platen met verstevigingsstrippen zijn "weggestuurd" tot breuk belast, teneinde na te kunnen gaan of de breuk plaats vond door het bezwijken van de proefplaat of door het bezwijken van de verstevigingsstrippen en/of boutverbinding, gevolgd door het bezwijken van de proefplaat.

De overige platen zijn "krachtgestuurd" tot breuk belast.

5. RESULTATEN

5.1. Platen met centrale scheur

De reststerkte van de 2024 T3 proefplaten wordt gegeven in tabel 1 en figuur 5, die van de 7075 T6 proefplaten en tabel 2 en figuur 6.

In beide gevallen is zowel de bruto reststerkte (=bezwijklast gedeeld door het oorspronkelijke oppervlak) als de netto reststerkte (=bezwijklast gedeeld door het netto oppervlak) uitgezet.

In fig. 7 zijn ter onderlinge vergelijking de bruto en netto reststerktes van zowel 2024 T3 als 7075 T6 gegeven.

5.2. Platen met enkelzijdige scheur uitgaande van een centraal gat

In tabel 3 en fig. 9 is de reststerkte weergegeven van de platen met een centraal gat (\emptyset 12 mm) van waaruit enkelzijdig een scheur ontspringt. Ter vergelijking zijn in de figuur ook de bruto reststerktes van de centraal gescheurde platen gegeven (getrokken lijnen).

5.3. Platen met centrale scheur met versterkingsstrippen

In tabel 4 en fig. 10 is de reststerkte gegeven van de platen met versterkingsstrippen.

Bij alle proeven is het bezwijken veroorzaakt door het scheuren van de plaat; zowel de strippen als de boutverbindingen bleven in takt.

Wel trad een aanmerkelijke ovalisatie van de boutgaten in de plaat op. De reststerkte blijkt afhankelijk te zijn van de lengte $2h$ van de versterkingsstrippen.

Zowel bij 2024 T3 als 7075 T6 wordt de grootste toename van de reststerkte t.o.v. de niet-verstijfde plaat verkregen bij $2h = 50$ mm.

6. BESPREKING VAN DE RESULTATEN

6.1. Platen met centrale scheur

In het algemeen geldt dat de scheurgevoeligheid van Al-7075 T6 groter is dan die van Al-2024 T3, en daarom bij overeenkomstige scheurlengten een lagere reststerkte heeft (lit. 2). Uit de resultaten blijkt echter dat in dit geval de reststerkte van de 7075 T6 proefplaten voor alle onderzochte scheurlengten groter is dan die van 2024 T3 proefplaten (fig. 7). De oorzaak hiervan moet worden gezocht in de afmetingen van de proefplaten. Met behulp van de in hoofdstuk 1 gegeven formule voor W_{\min} kan worden berekend dat W_{\min} voor 2024 T3 ongeveer 350 à 400 mm is en voor 7075 T6 ongeveer 100 à 130 mm. De reststerkte van de 2024 proefplaten zal dan ook geheel worden bepaald door het "net-section yield" criterium.

Dit blijkt ook uit tabel 10 en fig. 5 waarin de breukspanning in de netto doorsnede is gegeven. Deze is voor alle scheurlengten vrijwel gelijk aan $\sigma_{0.2}$. Voor de proefplaten van 7075 is de werkelijke breedte slechts iets kleiner dan de berekende W_{\min} . De breukspanning berekend over de netto doorsnede is in dit geval dan ook aanzienlijk lager dan de $\sigma_{0.2}$ van 7075 (fig. 6 en tabel 2).

In tabel 5 zijn de reststerkte eigenschappen van de twee legeringen uitgedrukt in σ_c/σ_{br} als functie van de scheurlengte. Hieruit blijkt dat, hoewel de reële reststerkte van de 7075 T6 proefplaten hoger is dan die van de 2024 proefplaten, de teruggang in sterkte voor de beide legeringen, verhoudingsgewijs, vrijwel gelijk is.

In fig. 8 zijn de berekende K_e -waarden uitgezet (zie ook tabel 1 en 2). Bij de berekening is gebruik gemaakt van de Feddersen correctie voor de eindige plaatbreedte.

Omdat zowel voor 2024 als 7075 geldt dat de werkelijke proefplaatbreedte kleiner is dan W_{\min} , mag aan de berekende K_e -waarden geen absolute waarde worden toegekend.

6.2. Platen met een scheur (enkelzijdig) vanuit een centraal gat

Uit fig. 9 blijkt dat de reststerkte van een plaat waarin zich een gat (diam. $2r$) plus een scheur met lengte a bevindt, gelijk is aan de reststerkte van een plaat met een centrale scheur waarvan de lengte gelijk is aan $2r + a$.

In tabel 3 zijn de K-waarden berekend volgens de methode van Bowie,

de methode van Tweed/Rooke en volgens de z.g. "Engineering Approach". Bij deze laatste methode wordt gesteld dat de combinatie gat + scheur dezelfde K-waarde heeft als een scheur die even lang is (lit. 3, 4). Bij de berekening van de K-waarden is voor de scheurlengte steeds de oorspronkelijke scheurlengte gebruikt ($2a_0$), dus zonder rekening te houden met de stabiele scheurgroei.

Ook is geen correctie voor de eindige plaatbreedte en de plastische zone voor de scheurtip toegepast.

Uit de tabel 3 blijkt dat, zeker voor de grotere scheurlengten, de verschillen tussen de drie berekeningsmethoden gering zijn.

6.3. Platen met centrale scheur met verstevigingsstrippen

De functie van de verstevigingsstrippen is het zodanig verstijven van de gescheurde plaat dat de kritische scheuropening waarbij verdere scheurgroei ontreedt, pas bij een hogere belasting wordt bereikt. Het is dan ook duidelijk dat de stijfheid van de strippen en van de verbinding een belangrijke rol speelt.

Uit fig. 10 blijkt dat (voor de drie in het onderzoek opgenomen strip-lengten) de optimale lengte van de strippen ligt bij $2h = 50$ mm (h is de halve lengte van de strippen). Bij langere strippen ($2h = 100$ mm) is de rek van de strippen groot, terwijl bij de korte strippen ($2h = 25$ mm) de strippen zoveel van de belasting gaan doorleiden dat de toelaatbare vlaktedruk in de plaat (t.p.v. de verbindingbouten) wordt overschreden. Door de grote gat ovalisatie (voor $2h = 25$ mm meer dan 100%) wordt de kritische scheuropening bereikt en bezwijkt de plaat.

De maximale winst in reststerkte bedraagt voor Al-2024 T3 ca. 16%, voor Al-7075 T6 ca. 18%, beide bij $2h = 50$ mm.

7. CONCLUSIES

1. De reststerkte van Al-7075 T6 is, bij de onderzochte proefstaafconfiguraties, in alle gevallen iets hoger dan die van Al-2024 T3. De oorzaak hiervan is dat door de geringe breedte van de proefplaten de reststerkte eigenschappen van Al-2024 T3 grotendeels worden bepaald door het "net-section yield" criterium.
2. De reststerkte van een plaat met een enkelzijdige scheur, ontspingend vanuit een centraal gat is gelijk aan de reststerkte van een plaat met een centrale scheur, waarvan de lengte gelijk is aan gatdiameter plus scheur.
3. De reststerkte van platen met een centrale scheur kan worden verhoogd door verstevigingsstrippen aan te brengen. De lengte (c.q. stijfheid) van de strippen heeft invloed op de toename van de reststerkte

8. LITERATUUR

1. Broek, D. Elementary Engineering Fracture Mechanics, 1974 Noordhoff Int.
2. Broek, D. The effect of finite specimen width on the residual strength of light alloy sheet. NLR-TR M2152, Sept. 1965.
3. Schijve, J. De spanningsintensiteitsfactor van een scheur aan de rand van een gat. Memorandum M-226, nov. 1974. Technische Hogeschool Delft, Afdeling der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek.
4. Tada, H.; Paris, P.; Irwin, G. The Stress Analysis of Cracks Handbook. Del Research Corp. 1973.

Proefst. nr.	Scheur- lengte $2a_0$ (mm)	Bruto reststerkte		Netto reststerkte		K_e	
		kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ^{$\frac{3}{2}$}	MN/m ^{$\frac{3}{2}$}
1	4.0	35.7	350	37.2	365	89.6	27.8
2	5.5	35.1	344	37.2	365	103.4	32.1
3	8.0	32.7	321	35.6	349	116.4	36.1
4	12.0	31.7	311	36.0	353	138.9	43.1
5	12.0	31.8	312	36.1	354	139.3	43.2
6	18.0	29.0	285	35.4	347	157.4	48.8
7	18.0	29.3	287	35.7	350	159.0	49.3
8	23.2	27.5	270	35.8	351	171.7	53.3
9	23.5	27.4	269	35.8	351	172.4	53.5
10	30.0	24.9	244	35.6	349	181.1	56.2
11	29.0	25.4	249	35.7	350	180.9	56.1
12	36.5	22.8	224	35.9	352	188.4	58.5
13	46.5	19.1	187	35.6	349	189.1	58.7
14	60.5	14.2	139	35.8	351	181.5	56.3
15	70.0	11.2	110	37.3	366	174.3	54.1

Tabel 1: De reststerkte van Al-2024 T3 proefplaten met een centrale scheur
($t = 2$ mm, $W = 100$ mm).

Proefst. nr.	Scheur- lengte $2a_0$ (mm)	Bruto reststerkte		Netto reststerkte		K_e	
		kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ^{$\frac{3}{2}$}	MN/m ^{$\frac{3}{2}$}
1	4.5	43.4	426	45.5	446	115.5	35.8
2	5.0	42.6	418	44.8	439	119.6	37.1
3	8.0	40.6	398	44.1	433	144.5	44.8
4	12.0	37.4	367	42.5	417	163.8	50.8
5	12.0	38.1	374	43.2	424	166.9	51.8
6	18.0	31.6	310	38.5	378	171.5	53.2
7	18.0	31.8	312	38.7	380	172.6	53.6
8	25.0	29.4	288	39.2	385	191.7	59.5
9	23.0	31.2	306	40.5	397	193.9	60.2
10	32.0	25.9	254	38.1	374	196.2	60.9
11	30.8	27.0	265	38.9	382	199.6	61.9
12	36.0	24.7	242	38.6	379	202.1	62.7
13	51.0	18.9	185	38.5	378	202.8	62.9
14	60.0	14.5	142	36.3	356	183.6	57.0
15	72.0	10.3	101	36.6	359	167.9	52.1

Tabel 2: De reststerkte van Al-7075 T6 proefplaten met een centrale scheur
($t = 2$ mm, $W = 100$ mm).

Proefst. nr.	Mat.	Scheur- lengte a_0 (mm)	Bruto reststerkte		Netto reststerkte		K_e Eng. appr.		K_e Bowie		K_e Tweed/Rooke	
			kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ²	MN/m ²
1	2024	0	37.7	370	42.9	421	-	-	-	-	-	-
2	2024	0	37.7	370	42.9	421	-	-	-	-	-	-
3	2024	6	29.5	289	36.0	353	156.8	48.7	175.3	54.4	167.2	51.9
4	2024	6	29.5	289	36.0	353	156.8	48.7	175.3	54.4	167.2	51.9
5	2024	12	27.5	270	36.2	355	168.8	52.4	178.9	55.5	173.9	54.0
6	2024	12	27.7	272	26.4	357	170.1	52.8	180.3	55.9	175.2	54.4
7	2024	18	25.2	247	36.9	353	173.0	53.7	178.2	55.3	176.3	54.7
8	2024	24	22.1	217	34.5	338	166.2	51.6	169.8	52.7	168.4	52.3
1	7075	0	47.5	466	53.9	529	-	-	-	-	-	-
2	7075	0	47.9	470	54.5	535	-	-	-	-	-	-
3	7075	6	32.9	323	40.1	393	174.9	54.3	195.6	60.7	186.4	57.8
4	7075	6	31.7	311	38.7	380	168.6	52.3	188.5	58.5	179.7	55.8
5	7075	12	29.5	289	38.8	381	181.1	56.2	192.0	59.6	186.5	57.9
6	7075	12	31.6	310	41.6	408	194.0	60.2	205.6	63.8	199.8	62.0
7	7075	18	27.8	273	39.8	390	190.9	59.2	196.7	61.0	194.5	60.4
8	7075	24	24.4	239	38.1	374	183.5	56.9	187.4	58.2	185.9	57.7

Tabel 3: De reststerkte van proefplaten met een enkelzijdige scheur uitgaande van een centraal gat met diameter 12 mm
(t = 2 mm, W = 100 mm).

Spec. no.	Mat.	Scheur- lengte $2a_0$ (mm)	Strip- lengte $2h$ (mm)	Bruto reststerkte		Netto reststerkte	
				kgf/mm ²	MN/m ²	kgf/mm ²	MN/m ²
1	2024	24	100	30.6	300	40.3	395
2	2024	24	100	30.9	303	40.7	399
3	2024	24	50	31.6	310	41.6	408
4	2024	24	50	32.2	316	42.3	415
5	2024	24	25	30.2	296	39.7	389
6	2024	24	25	30.4	298	40.0	392
1	7075	24	100	35.5	348	46.7	458
2	7075	24	100	35.3	346	46.4	455
3	7075	24	50	35.7	350	47.0	461
4	7075	24	50	35.9	352	47.2	463
5	7075	24	25	34.6	339	45.5	446
6	7075	24	25	35.6	349	46.9	460

Tabel 4: De reststerkte van proefplaten met een centrale scheur voorzien van verstevigingsstrippen.

$2a_0/W$	σ_c/σ_{br}	
	2024 T3	7075 T6
0.12	0.65	0.72
0.20	0.58	0.59
0.30	0.51	0.51
0.40	0.44	0.44
0.50	0.37	0.37
0.60	0.29	0.29
0.70	0.22	0.21
0.80	0.14	0.13

Tabel 5: Scheurgevoeligheid van Al-2024 T3

en Al-7075 T6.

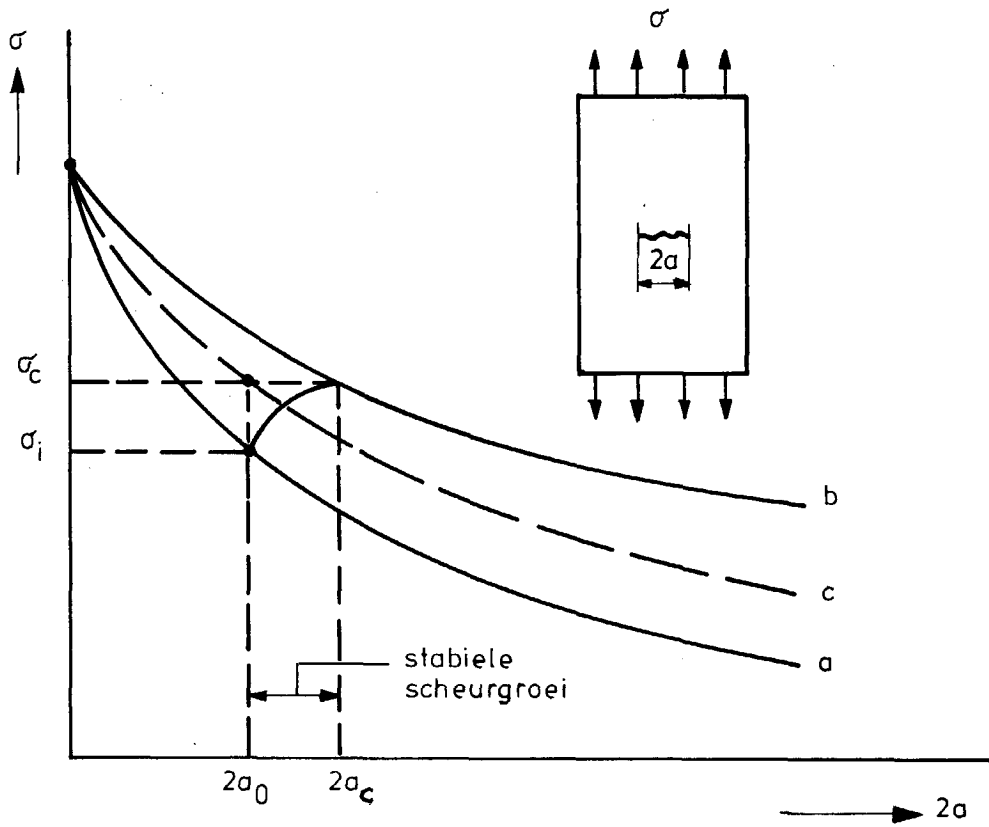


FIG. 1: RESTSTERKTE DIAGRAM

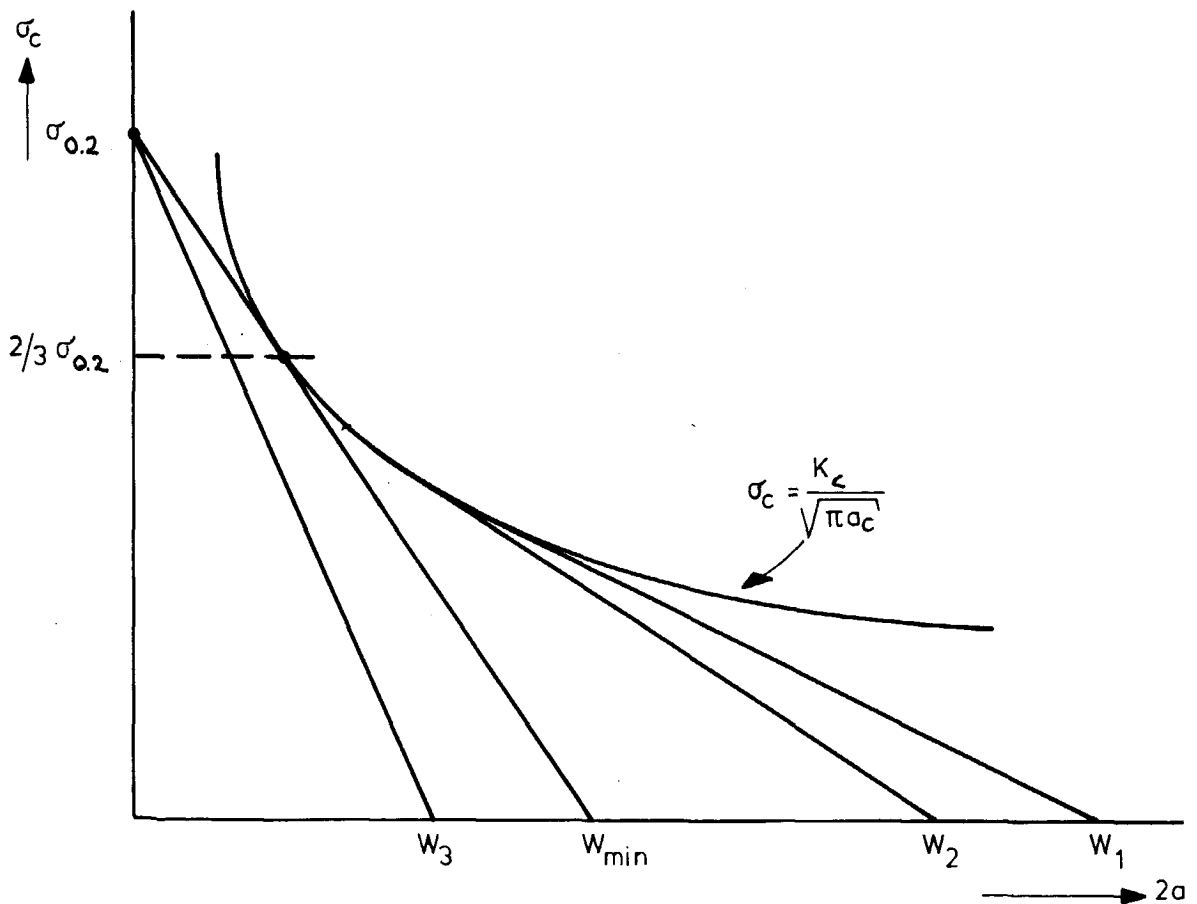
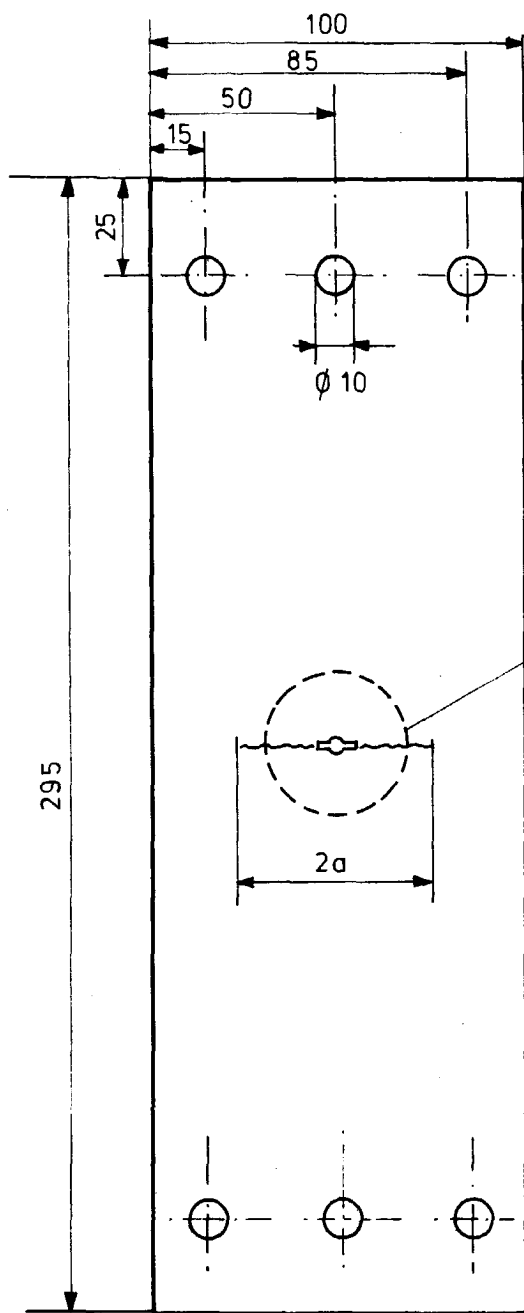
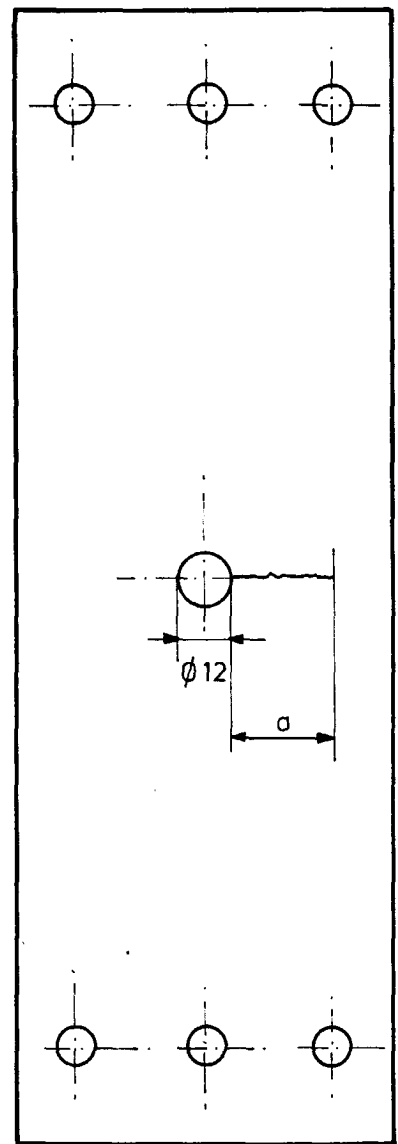


FIG. 2: RESTSTERKTE DIAGRAM VOOR VERSCHILLENDE PROEFPLAAT BREEDTE (uit lit.1).



(a)

proefplaat met
centrale scheur



(b)

proefplaat met
centraal gat

FIG. 3 : AFMETINGEN VAN DE PROEFPLATEN .

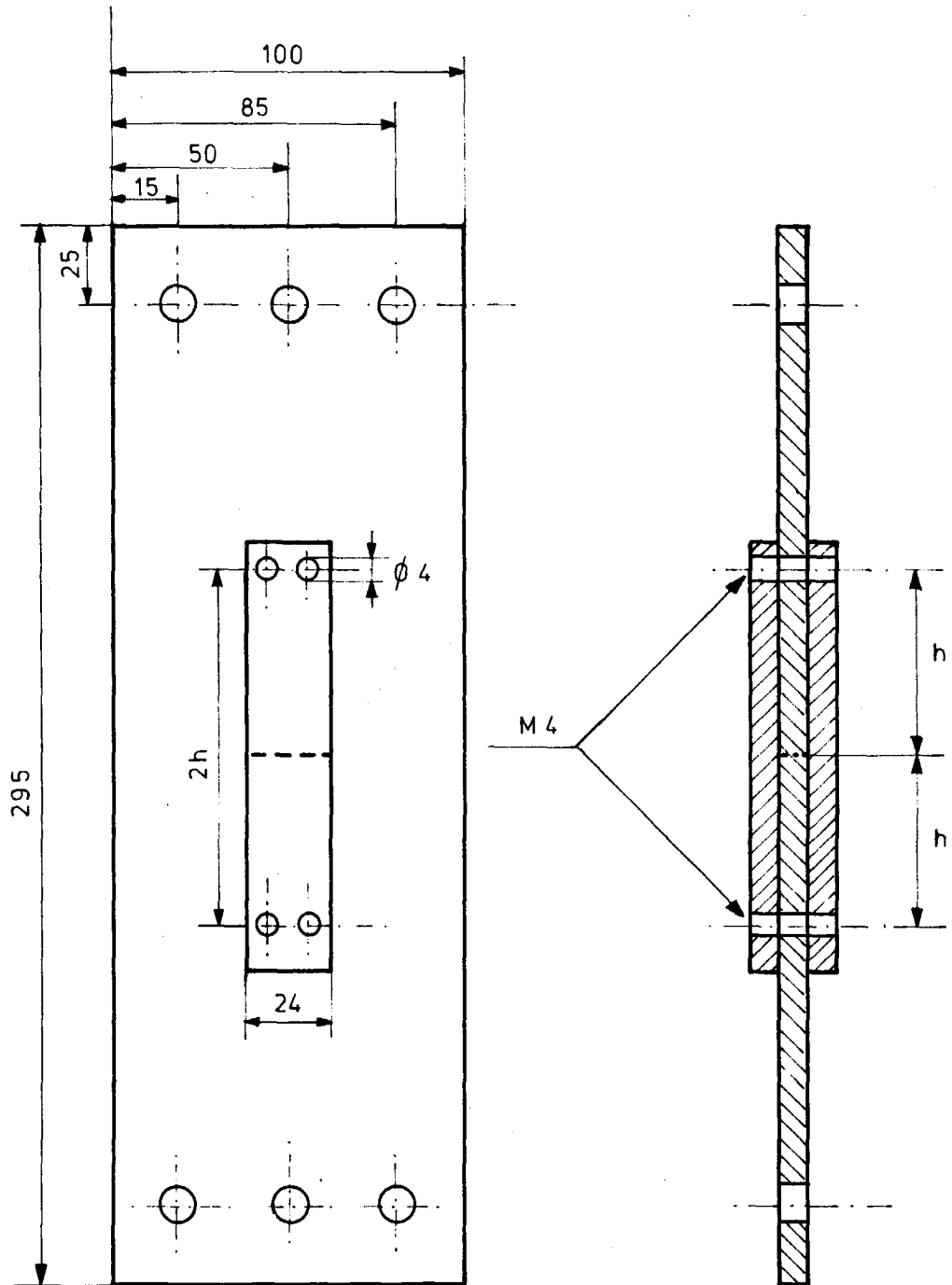


FIG. 4: AFMETINGEN VAN DE PROEFPLATEN MET VERSTEVIGINGSSTRIPPEN.

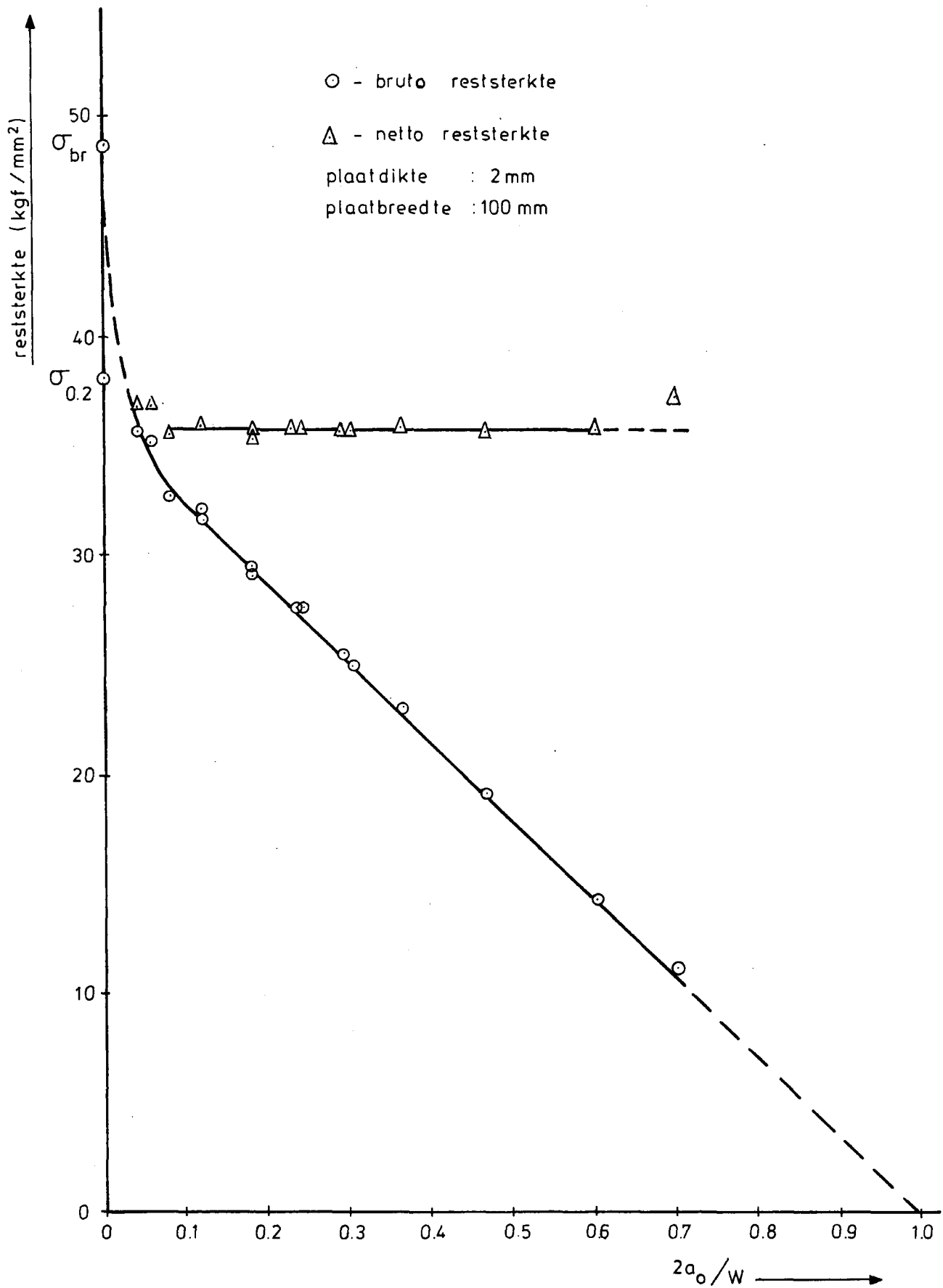


FIG. 5 : RESTSTERKTE VAN Al-2024 T3 PROEFPLATEN MET EEN CENTRALE SCHEUR

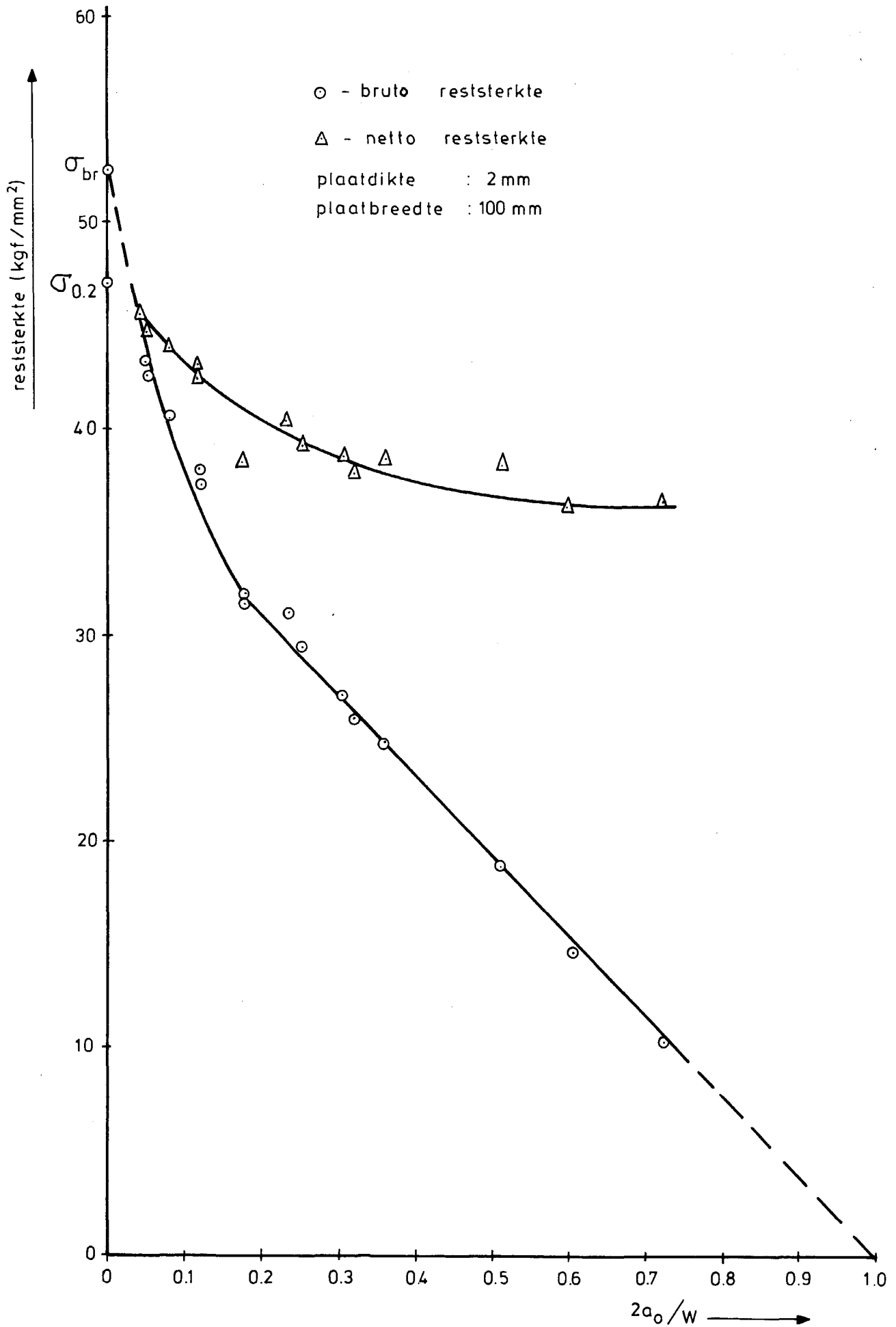


FIG. 6: RESTSTERKTE VAN Al-7075 T6 PROEFPLATEN MET EEN CENTRALE SCHEUR

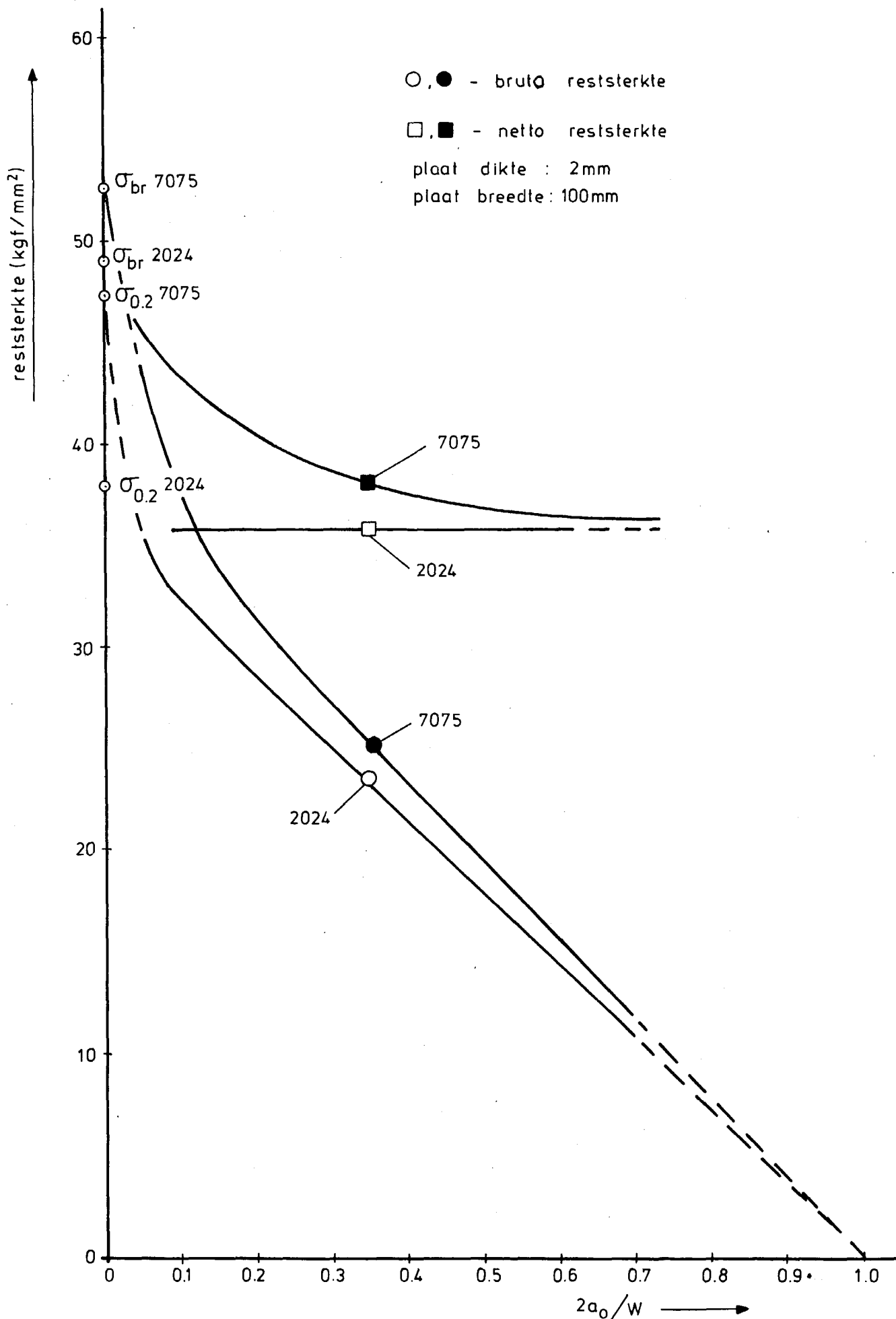


FIG. 7 : RESTSTERKTE VAN PROEFPLATEN MET EEN CENTRALE SCHEUR

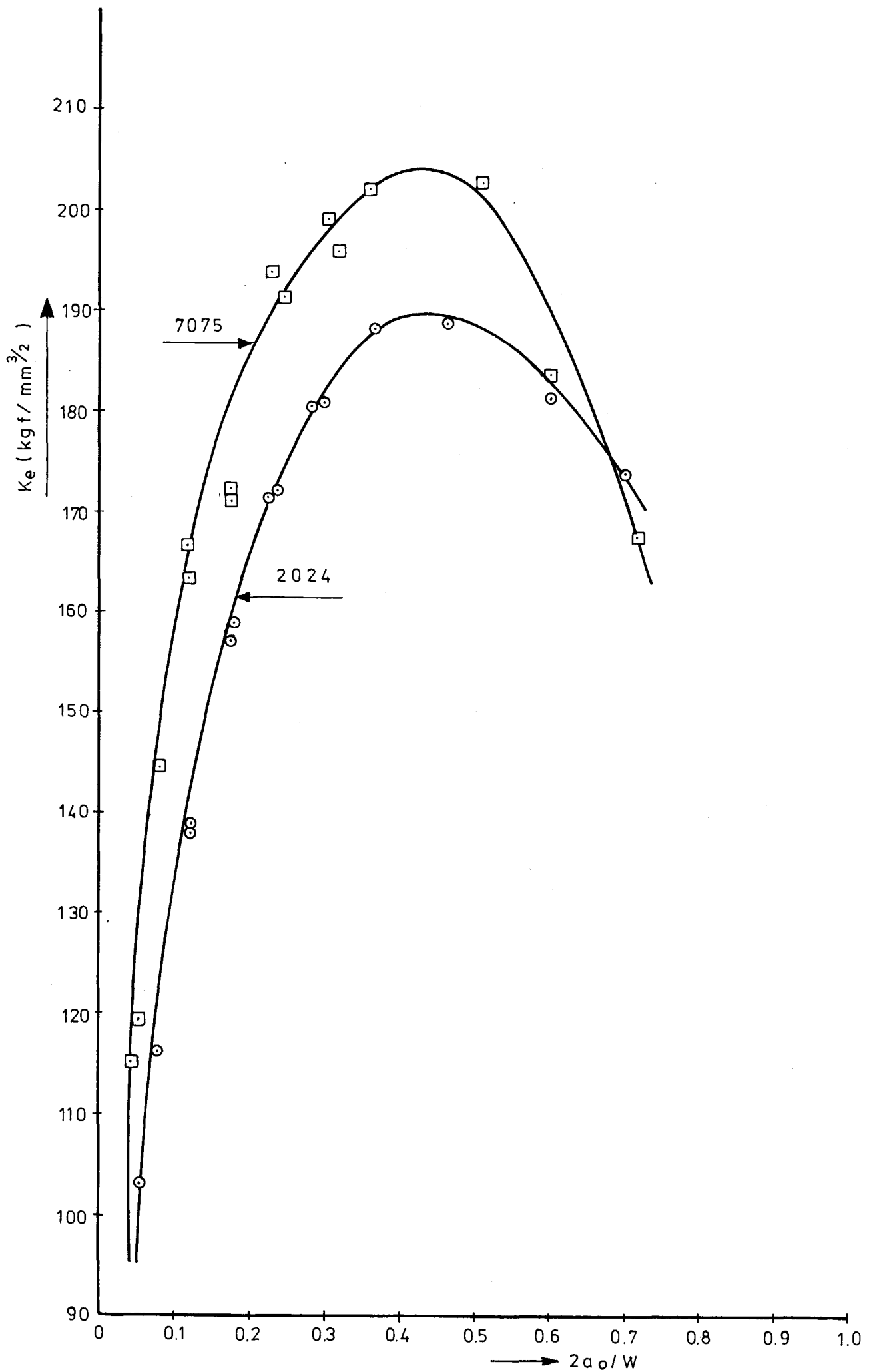


FIG. 8 : K_e ALS FUNKTIE VAN DE SCHEURLENGTE

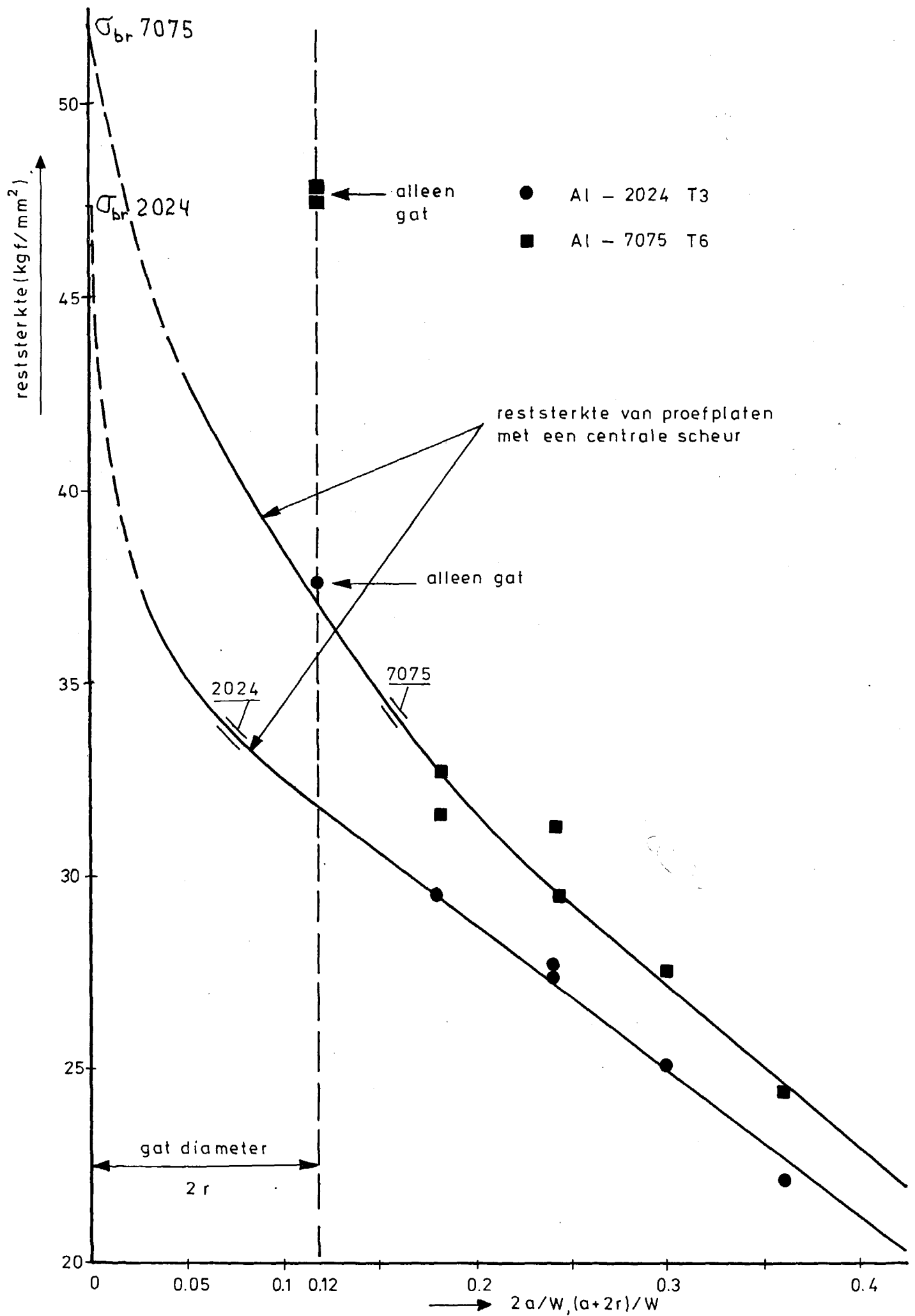


FIG.9: DE RESTSTERKTE VAN PROEFPLATEN MET EEN ENKELZIJDIGE SCHEUR, UITGAANDE VAN EEN CENTRAAL GAT.

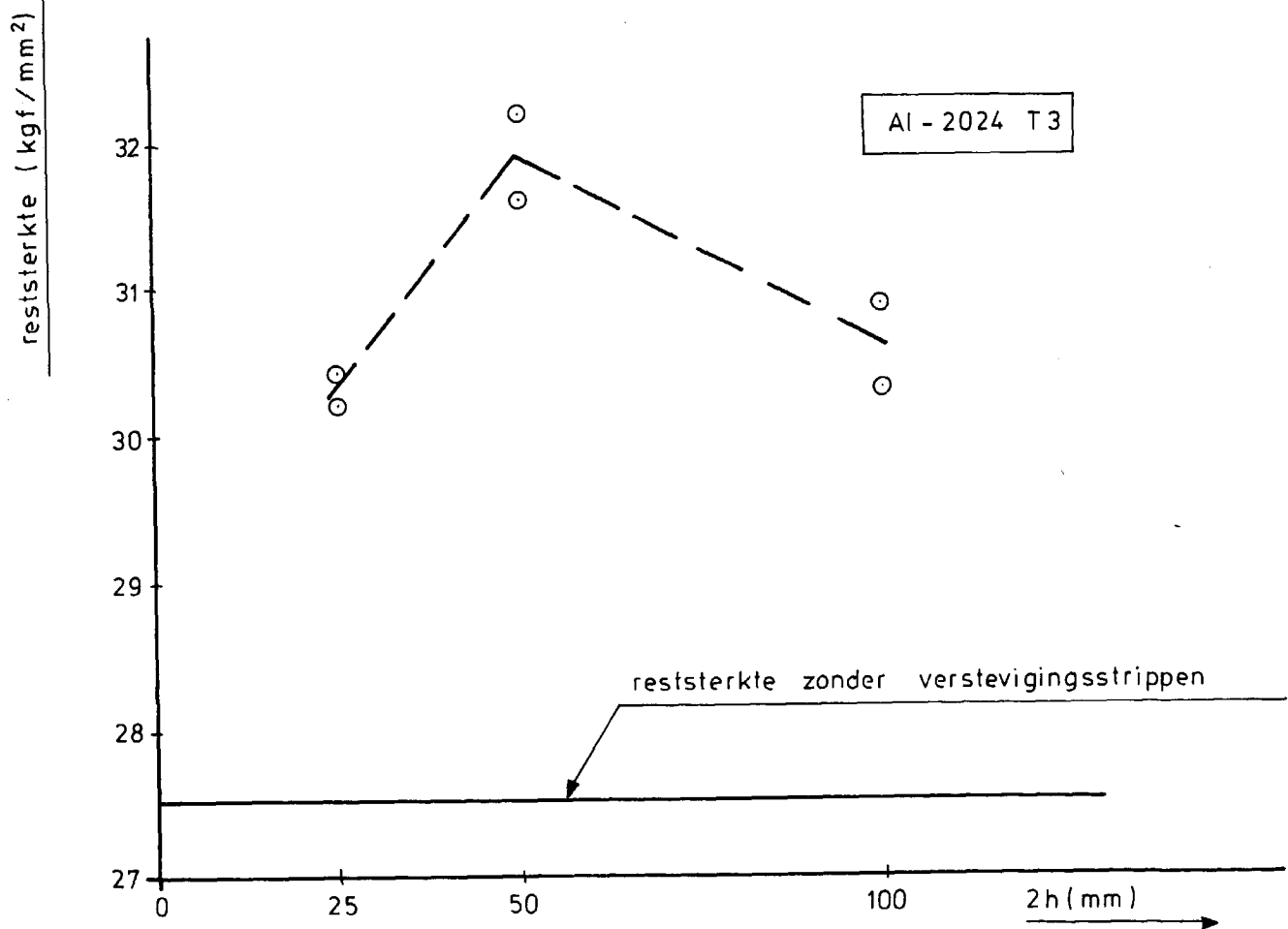
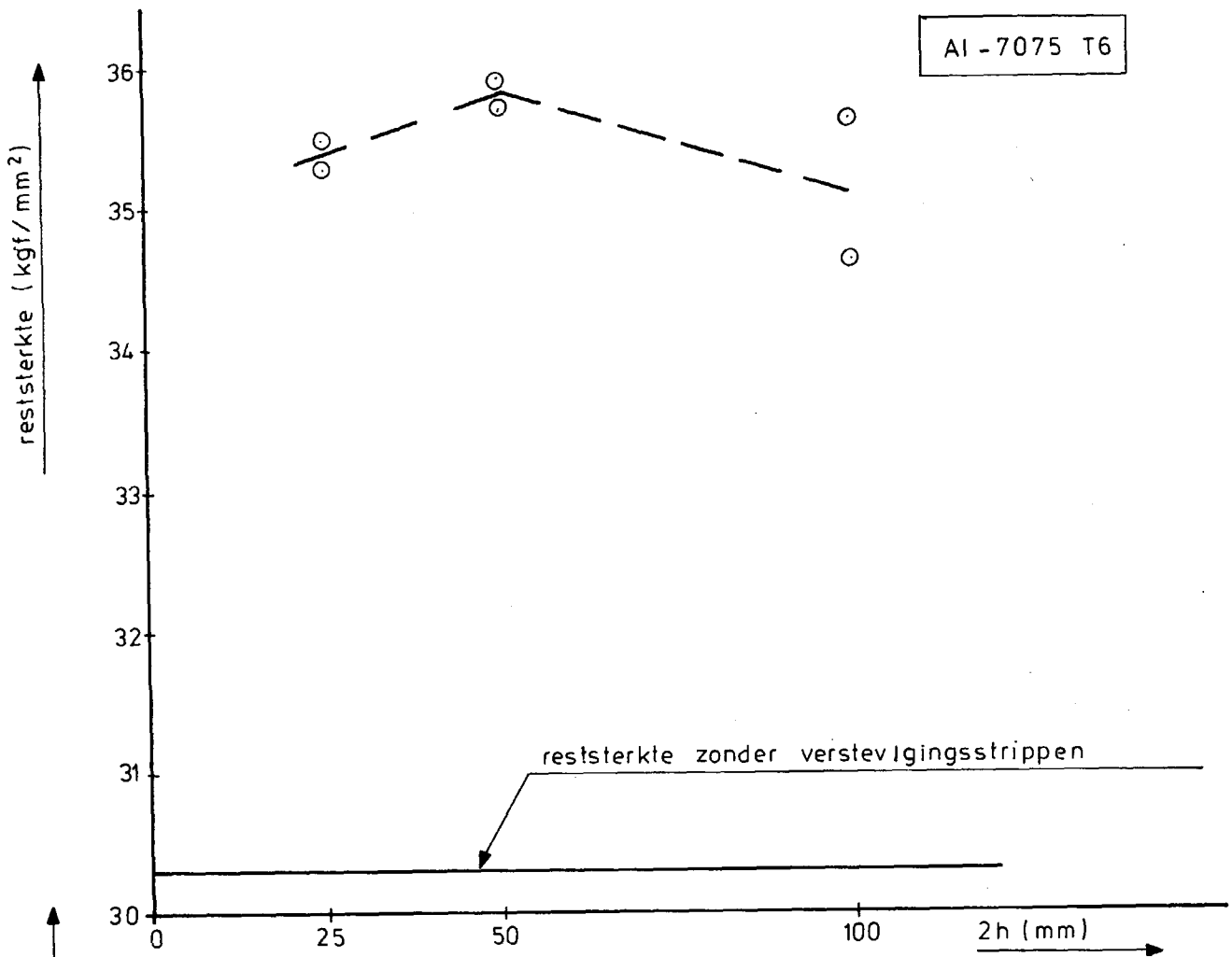


FIG. 10 : INVLOED VAN DE LENGTE VAN DE VERSTEVIGINGSSTRIPPEN OP DE RESTSTERKTE

Memorandum 253



60142071014