Dokument: SASAK-RAP-DE-AKS-FI-0009-01

Dimensionering af udmattelsesbelastede svejste samlinger i aluminium efter EUROCODE No. 9

SASAK
Projekt 1 - Designregler

Lars Tofte Johansen

FORCE Instituttet, juni 2001

UDMATTELSE AF SVEJSTE SAMLINGER I ALUMINIUM EFTER EUROCODE 9 (ENV 1999-2:1998)

Indholdsfortegnelse **Side**

1. Indledning 3
2. Grundlag 3
3. Definitioner 3
4. Symboler 6
5. Design dokumenter 7
6. Belastninger 7
7. Beregning af spændinger 7
8. Detaljekategorier, udmattelseskurver 9
9. Udmattelsesvurdering 18
10. Safe life design 18
11. Påvirkning fra miljø (korrosionspåvirkning) 19
12. Kvalitetskrav 20
13. Beregningseksempel 21

Løsning *22*

1. Indledning

Dette materiale er udarbejdet med det formål at give indsigt i anvendelsen af ENV 1999-2:1998 (Eurocode 9 part 2):

Udmattelsespåvirkede konstruktioner i aluminium.

Nærværende materiale er ikke en total gengivelse af alle forhold omkring udmattelse anført i Eurocode 9 part 2, men er udfærdiget med henblik på at kunne anvende normens dimensioneringsprincip på enkle svejsesamlinger.

2. Grundlag

Eurocode 9 part 2 angiver designregler efter 3 forskellige metoder (angivet på Engelsk):

- Safe life
- Damage tolerance
- Design by testing

Endvidere indeholder part 2 specifikke krav til fremstillingskvaliteten af svejste aluminiumskonstruktioner, for at sikre at designforudsætningerne er overholdt.

Part 2 dækker de legeringer, der er anført på side 8 i normen (tabel 1.1.1 og tabel 1.1.2)

Designreglerne er begrænset med hensyn til drifttemperatur (maks. 65° - 100°C afhængig af legering). Endvidere forudsættes det, at der ikke forekommer fremadskridende korrosion.

3. Definitioner

I forbindelse med Eurocode 9 part 2 er følgende betegnelser defineret:

- **Udmattelse:** Svækkelse af en konstruktionsdel ved gradvis revneudvikling forårsaget af gentagne spændingsvariationer.

- **Udmattelseslast:** Et sæt typiske lastbegivenheder beskrevet ved lasternes placering eller bevægelser, deres intensitet og deres relative hyppighed.

- **Lastbegivenhed:** En defineret lastsekvens, der påvirker konstruktionen og gentages med en given frekvens.

- **Nominel spænding:** En spænding i grundmaterialet, der grænser op til et potentielt revneområde, beregnet i overensstemmelse med simpel elasticitetsteori uden hensyn til spændingskoncentrationer.

- **Modificeret nominel spænding:** En nominel spænding forøget med en passende spændingskoncentrationsfaktor K_{gt}, for at tage hensyn til en geometrisk diskontinuitet, der ikke indgår i klassifikationen af en bestemt konstruktionsdetalje.

- **Geometrisk spænding:** I princippet svarer det til ovennævnte modificerede nominelle spænding. Ved beregningen tages der ikke hensyn til små diskontinuiteter som f.eks. sidekærve, revner, bearbejdningsspor etc.

- **Geometrisk spændingskoncentrationsfaktor K_{gt}:** Forholdet mellem den geometriske - og nominelle spænding**.**

- **Hot spot spænding:** Den geometriske spænding ved et specifikt revneinitieringssted i en bestemt geometri, som f. eks. sidekærv i en rørknudesamling.

- **Lokal spændingskoncentrationsfaktor af en klassificeret detalje K_{cd}:** Forholdet mellem største spænding i et hot spot beregnet ved hjælp af finite element method (FEM) og den nominelle spænding.

- **Spændingshistorie:** En registrering af spændingsvariationen i et punkt på konstruktionen (som regel angivet for en lastbegivenhed).

- **Spændingsændringspunkt:** Værdien af spændingen i en spændingshistorie for hvilken størrelsen af spændingsændringsforhold skifter fortegn (vendetangent).

- **Spændingstop:** Et punkt i en spændingshistorie for hvilken størrelsen af spændingsændringsforhold skifter fortegn fra positiv til negativ.

- **Spændingsdal:** Et punkt i en spændingshistorie for hvilken størrelsen af spændingsændringsforhold skifter fortegn fra negativ til positiv.

- **Konstant amplitude:** Relateret til en spændingshistorie, hvor spændingerne skifter mellem spændingstoppe og spændingsdale med en konstant værdi.

- **Variabel amplitude:** Relateret til enhver spændingshistorie, der indeholder mere end en spændingstop eller spændingsdal.

- **Spændingscyclus:** Del af en spændingshistorie, hvor spændingen starter og slutter i f.eks. en spændingstop og passerer igennem en spændingsdal.

- **Cyklustælling:** Processen at omforme en variabel spændingshistorie til et spændingsspektrum (reservoir og rainflow counting metoderne).

- **Spændingsvidde:** Den algebraiske forskel mellem spændingstop og spændingsdal i en spændingscyklus.

- **Spændingsspektrum:** Histogram af frekvensen for hvilken de forskellige spændingsvidder forekommer i en lastbegivenhed.

- **Designspektrum:** Totalen af spændingsspektra for hvilke en udmattelsesvurdering er relevant.

- **Detaljeklategori:** Betegnelsen for en bestemt konstruktionsdetaljes tilhørende udmattelseskurve.

- **Udmattelsestal:** Antallet af påvirkninger indtil grænseværdien under påvirkning af en konstant amplitude spændingshistorie.

- **Udmattelseskurve:** Forholdet mellem spændingsvidde og udmattelsestal, typisk afbildedet i dobbeltlogaritmisk skema.

- **Referenceudmattelsesstyrke:** Spændingsvidden for en detaljekategori ved udmattelsestallet 2.000.000.

- **Konstant amplitude udmattelsesgrænse:** Grænseværdi for konstant spændingsvidde, over hvilken en udmattelsesvurdering er nødvendig.

- **Afskæringsgrænse:** Grænseværdi under hvilken spændingsvidderne ikke bidrager til den beregnede kumulative skade.

- **Levetid:** Den referenceperiode, i hvilken konstruktionen kræves at udvise sikker opførsel med en acceptabel sandsynlighed for, at brud på grund af udmattelsesrevner ikke vil optræde.

- **"Safe life":** Den referenceperiode, i hvilken konstruktionen er estimeret at udvise sikker opførsel med en acceptabel sandsynlighed for, at udmattelsesrevner ikke vil optræde, når safe life designgrundlaget er anvendt.

- **Udmattelsesskade:** Forholdet mellem antallet af påvirkninger ved en given spændingsvidde og det totale antal påvirkninger ved samme spændingsvidde, der medfører udmattelse.

- **Miner's summation:** Summationen af delskader for alle spændingscycler i et spændingsspektrum (eller design spektrum) baseret på Palmgren Miner's delskadehypotese.

- **Ækvivalent udmattelsesbelastning:** En enkel udmattelsesbelastning, der med acceptabel nøjagtighed repræsenterer udmattelsespåvirkningerne fra de faktiske lastbegivenheder.

- **Ækvivalent spændingsvidde:** Spændingsvidde beregnet ud fra ækvivalent udmattelsesbelastning.

4. Symboler

D	Udmattelsesskade beregnet for en given driftperiode
D_L	Udmattelsesskade beregnet for totale levetid
N	Udmattelsestallet
N_i	Udmattelsestallet for en spændingsvidde
N_C	Antal cykler (2.000.000) for hvilke referenceværdien af udmattelsesstyrken er defineret
N_D	Antal cykler (5.000.000) for hvilke konstant amplitude udmattelsesgrænsen er defineret
N_L	Antal cykler (100.000.000) for hvilke afskæringsgrænsen er defineret
R	Forholdet mellem minimumspænding og maksimumspænding
T_f	Tiden fra, at en revne vokser fra detekterbar størrelse til kritisk revnelængde
T_i	Inspektionsinterval
T_L	Levetid
T_S	”Safe life”
l_d	Minimum detekterbar revnelængde
l_f	Kritisk revnelængde
m	Hældningskonstant for udmattelseskurver
m_1	Værdien af m for $N \leq 5.000.000$ cykler
m_2	Værdien af m for $5.000.000 < N \leq 100.000.000$ cykler
n_i	Antal cykler med spændingsvidden $\Delta\sigma i$
γ_{Ff}	Partialkoefficient for udmattelseslast
γ_{Mf}	Partialkoefficient for udmattelsesstyrke
σ_{maks}, σ_{min}	Maksimum- og minimumværdier for de varierende spændinger i en spændingscyklus
$\Delta\sigma$	Nominel spændingsvidde
$\Delta\sigma_C$	Referenceværdi for udmattelsestyrken ved 2.000.000 cykler
$\Delta\sigma_D$	Referenceværdi for udmattelsestyrken ved konstant amplitudegrænsen
$\Delta\sigma_L$	Referenceværdi for udmattelsestyrken ved afskæringsgrænsen
$\Delta\sigma_R$	Udmattelsestyrke
log	10-tals logaritme

5. Design dokumenter

Eurocode 9 part 2 forudsætter at der foreligger tegninger, fremstillingsspecifikationer, driftmanual og vedligeholdsmanual i forbindelse med design af en udmattelsespåvirket aluminiumskonstruktion.

6. Belastninger

Alle belastningstyper der kan medføre udmattelse såsom bevægelige laster, vibrationer, vind, bølger, accelerationslaster, temperaturlaster skal opstilles med en passende pålidelighed.

Lastpartialkoefficienten γ_{Ff} fastsættes normalt til 1,0 når ovennævnte passende pålidelighed på udmattelseslasten er verificeret.

Eurocode 9 part 2 tabel 3.4.1 angiver lastpartialkoefficientværdien fra 1,0 til 1,5 afhængig af pålidelighedsgrænserne ved en statistisk vurdering af lasterne.

7. Beregning af spændinger

Ved beregning af nominelle spændinger anvendes generelt den lineær elastiske styrkelære.

Hvor der optræder geometrier, der ikke er indeholdt i de anførte detaljekategorier må der ved beregningen anvendes den modificerede nominelle spænding.

Den beregnes ligeledes ved anvendelse af den lineær elastiske styrkelære, hvorefter den beregnede spænding multipliceres med den geometriske spændingskoncentrationsfaktor K_{gt}.

Hot spot spændingsberegning anvendes hvor geometrien er så kompleks, at den nominelle spænding ikke kan beregnes med rimelighed.

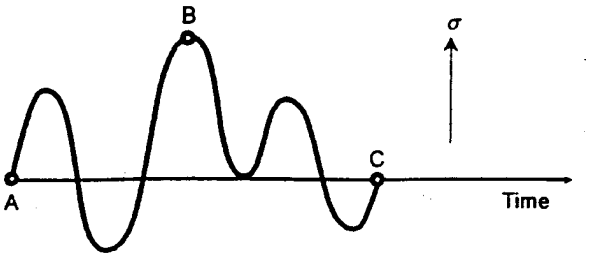
For beregning og vurdering af hot spot spændinger henvises der til anneks A og C i Eurocode 9 Part 2.

Efter beregning af de nominelle eller modificerede nominelle spændinger efter den lineær elastiske styrkelære opstilles spændingsvidderne i et spændingsspektrum.

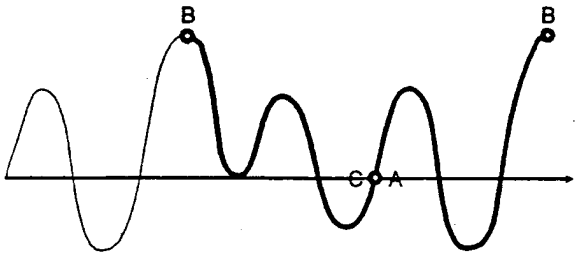
For varierende spændingsvidder foretages dette eventuelt ved anvendelse af reservoir-metoden eller rainflow-counting metoden.

Et eksempel på anvendelse af reservoir-metoden er vist på næste side.

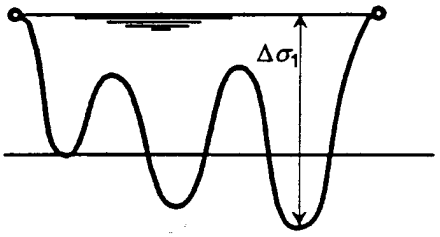
”Reservoir”-metoden



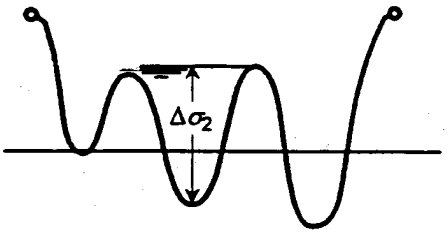
Opstil spændingshistorien for en lastbegivenhed og find største spænding



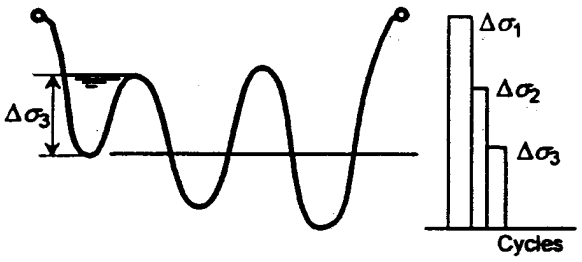
Flyt spændingshistoriedelen til venstre for største spænding over til højre



Fyld ”reservoiret” med vand.
Største dybde er største spændingsvidde.



Tap ”vandet af største dybde.
Find næststørste dybde. Dette er næststørste spændingsvidde



Fortsæt indtil alt ”vand” er aftappet og opstil spændingsvidderne i et spændingsspektrum

8. Detaljekategorier, udmattelseskurver

For de almindeligt brugte detaljer i konstruktioner er der i Eurocode 9 anført detaljekategorier, der angiver, hvilken udmattelseskurve der skal anvendes for at vurdere sammenhængen mellem spændingsvidden og udmattelsestallet.

Detaljekategorierne er for de svejste samlinger inddelt i 3 basisgrupper:

a) Ikke svejste detaljer i grundmateriale (valsede, trukne, ekstruderede eller støbte legeringer).

b) Svejste detaljer placeret på overfladen af belastede dele.

c) Direkte kraftoverførende svejste samlinger mellem elementer.

På de efterfølgende sider er detaljekategorierne anført på venstre side ved et billede af de pågældende svejsesamlinger inden for et hovedområde og de dertil hørende dimensions-, fremstillings-, kvalitets- og spændingsberegningskrav anført i en underliggende tabel.

På de efterfølgende sider er udmattelseskurverne anført på højre side for de samme detaljekategorier.

Udmattelseskurverne er angivet som forholdet mellem størrelsen af spændingsvidden og det dertil hørende udmattelsestal for middelværdien minus 2 gange standardafvigelsen af prøvningsresultater.

Dette svarer til 2,3% brudsandsynlighed.

For udmattelsestal mindre end 5×10^6 er udmattelseskurverne bestemt ved ligningen:

$$N_i = 2 \cdot 10^6 \cdot (\Delta\sigma_c / (\Delta\sigma_i \cdot \gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf}))^{m_l}$$

N_i	er udmattelsestallet svarende til spændingsvidden $\Delta\sigma_i$
$\Delta\sigma_c$	er referenceværdien for udmattelsesstyrke ved $2 \cdot 10^6$ belastningsvariationer for en bestemt detaljekategori (angivet ved forreste tal over udmattelseskurven)
$\Delta\sigma_i$	er den aktuelle konstante spændingsvidde der virker på detaljen
m_l	er kurvehældningen for udmattelseskurven indtil $5 \cdot 10^6$ påvirkninger (angivet ved bagerste tal over udmattelseskurven)
γ_{Ff} og γ_{Mf}	er henholdsvis lastpartialkofficienten og materialepartialkoefficienten

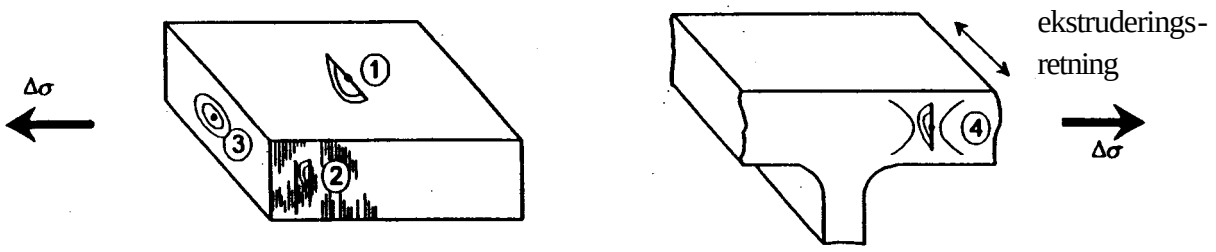
For konstant spændingsvidde gøres udmattelseskurverne vandrette ved $5 \cdot 10^6$ påvirkninger.

Er der tale om udmattelsesbelastning ved varierende spændingsvidde ændres udmattelseskurvernes hældning i området fra $5 \cdot 10^6$ til $1 \cdot 10^8$ påvirkninger ($m_2 = m_1 + 2$)

Spændingsvidder under værdien for $1 \cdot 10^8$ påvirkninger medtages ikke i udmattelsesvurderingen.

ALUMINIUM

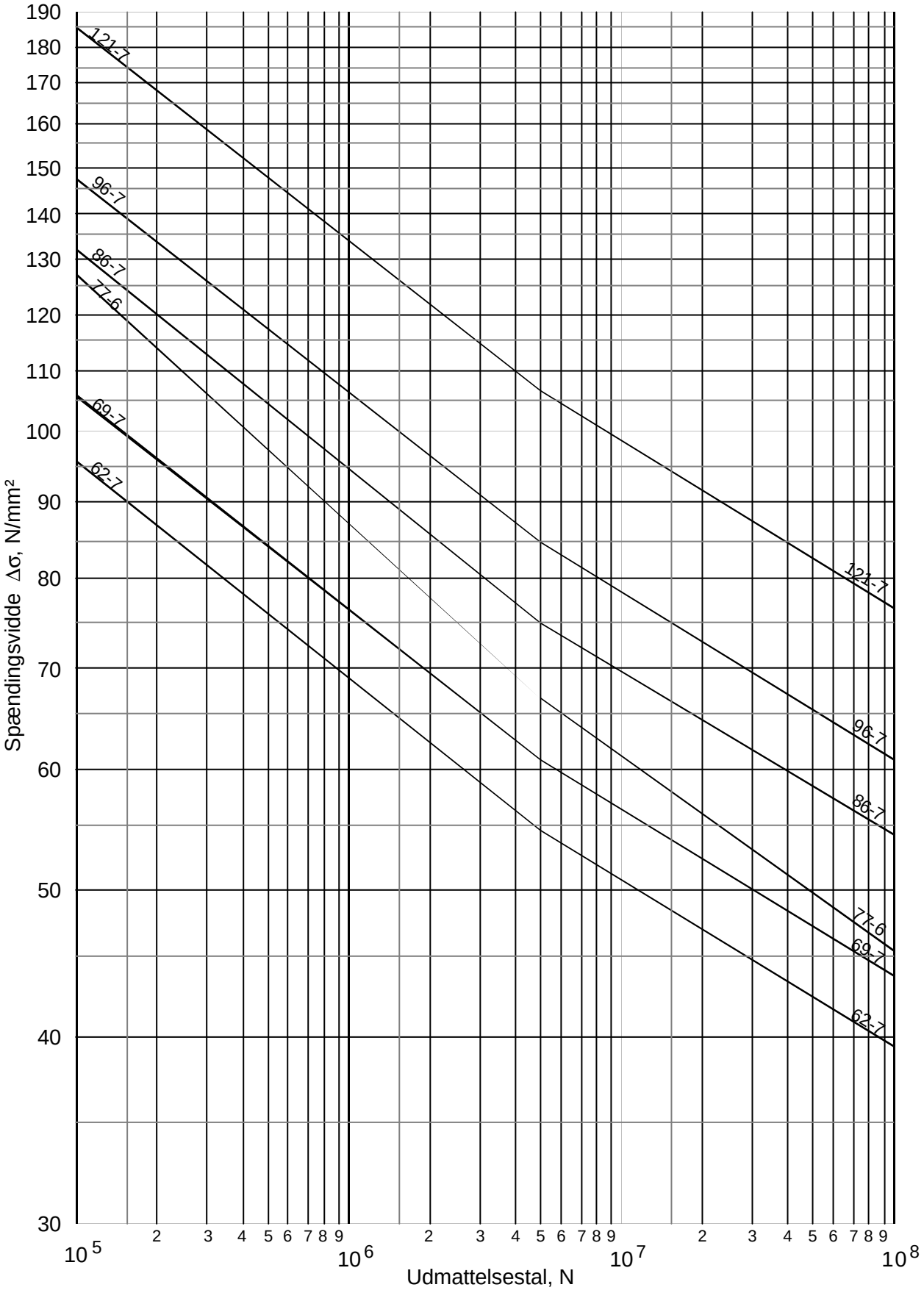
Detaljekategorier for grundmateriale



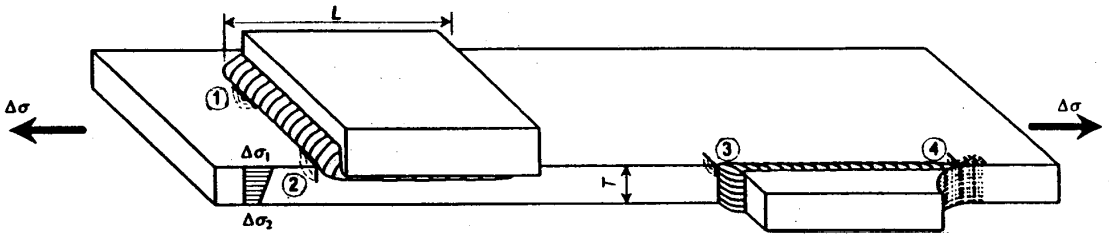
Produkt form		Plader, stænger		Rør, smedet, ekstruderet		Pl., smedet ekstruderet		Hule ekstruderede		Støbte emner	
Start-sted	Ref. Nr.	1,2		1,2		1,2		2		1	3
	Place-ring	I forbindelse med små overfladefejl						Ekstruderings søm		Overfl fejl	Indre Fejl
Spændingsretn.		Parallel med valse- eller Ekstruderingsretning				På tværs af fremst-retn.		På tværs af Ekstrud.-retn.			
Legeringer		7020	Tabel 1.1.1	7020	Tabel 1.1.1	7020	Tabel 1.1.1	7020	6*** serie	Tabel 1.1.2	
Sær-lige krav	Dimen-sion	Overflade fri for skarpe hjørner med mindre det er parallel med sp.-retning									
		Ingen kon-takt med andre emner									
	Ud-førelse	Kun high speed bearbejdning		Håndslibning ikke tilladt med mindre det er parallel med spændingsretning				Ekst.-teknik Port hole ell. Bridge die		Kun high speed bearbejdn.	
	Inspek-tion	Visu-el	-	-	-	-	-	Drift test ved afslutning af ekstrudering		Penet	x-ray
										Anneks D Tabel D.3	
	Kvali-tets-krav	Overflade Finish R<0,5mm		Ingen mærker på tværs af spændingsretning				Ingen revner langs ekstr. søm		Anneks D tabel D.4	
Sp.-ana-lyse	Sp.-p-m	Nominel spænding ved initieringssted									
	Sp.-konc till. for	Overflade ujævnheder									Porø sitet.
Type nr.		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
Detaljekategori		121-7	86-7	96-7	69-7	96-7	69-7	86-7	62-7	77-6	77-6

ALUMINIUM

Udmattelseskurver for grundmateriale

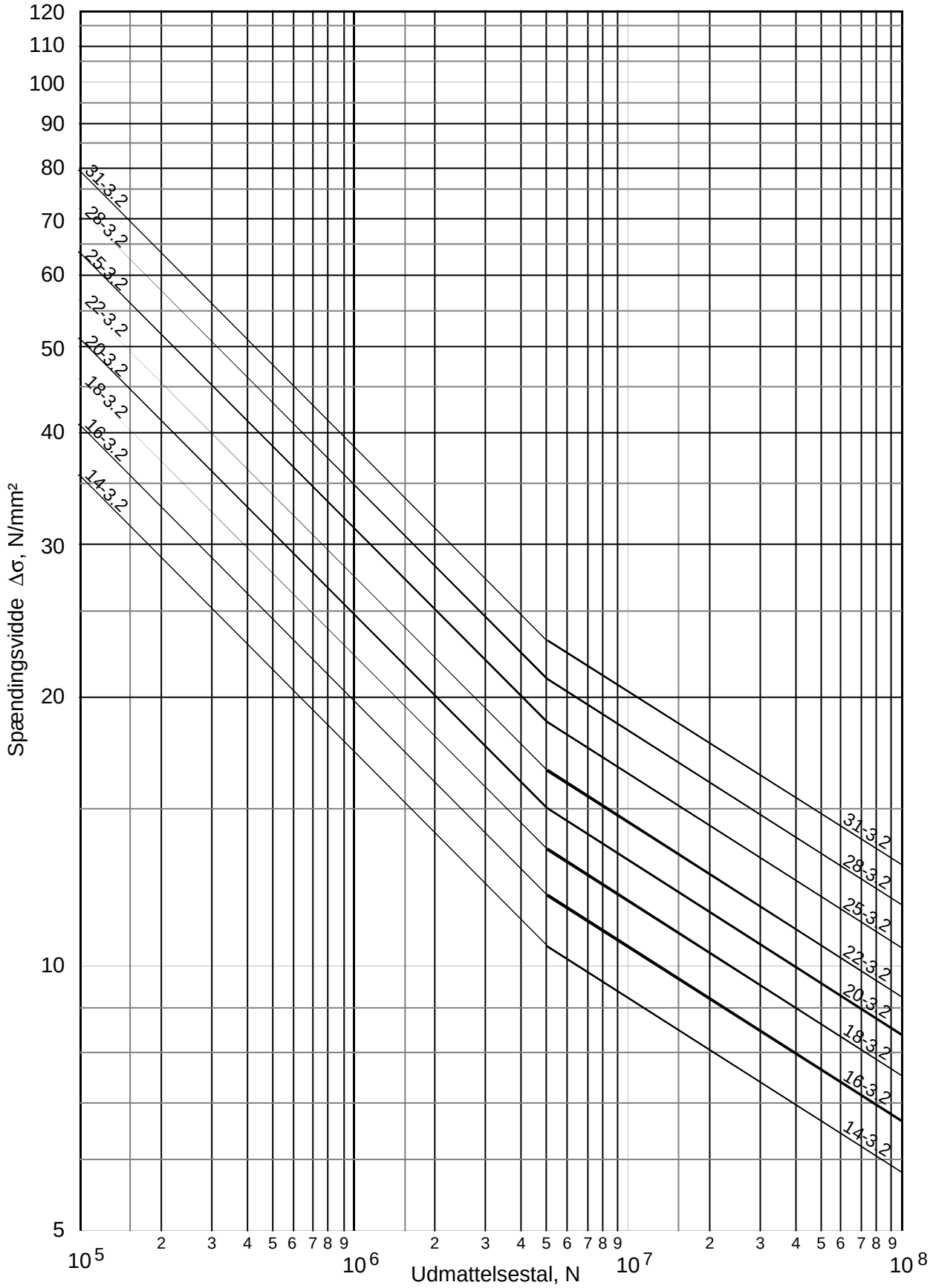


ALUMINIUM
Detaljekategorier for påsvejste dele ved tværgående sidekærv

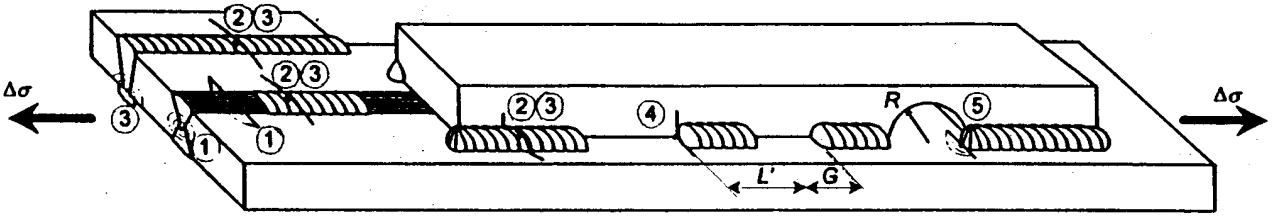


Produktformer			Valsede, ekstruderede og smedede emner												
Start sted	Ref. nr.		1								2	3	4		
	Placering		Ved tværgående sidekærv i det belastede emne										Ved afslutning af langsgående svejsning		
			På overfladen væk fra kant								I hjørnet	På kanten	I slebet sidekærv på kanten		
Spændingsretning			Vinkelret på tværgående sidekærv										Parallel med svejsningens akse		
Legeringer			Tabel 1.1.1												
Særlige krav	Dimension	samlgeometri	Beslag på konstruktionens overflade									Beslag på konstruktionens kant			
			Svejsning på overflade væk fra hjørne								Svejsn. rundt om hjørne	Svejsning på kanten			
		L >	0	10	20	30	50	80	120	200	L og T som for type 2.2 til 2.8	Ingen radius	Rundingsradius R mm		
		L <	10	20	30	50	80	120	200						
		T mm	Se nedenstående tabel										10-20	20-40	> 40
	Udførelse										Sidekærv slebet glat		Slib R i sp. retn.		
	Inspektion		Efter anneks D tabel D1												
	Kval.-krav		Efter anneks D tabel D2												
Spændingsanalyse	Sp.-param.		Nominel spænding ved initieringssted												
	Sp.-konc. tilladt for		Svejseprofil tilladt efter anneks D tabel D2												
			Stivhedseffekten af beslag												
Type nr.	**2.**		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Detaljekategori	T<4		31	28	25	25	25	25	25	25	Som type 2.1 til 2.8 men reduceret med en detalje kategori	18	25	28	31
	4<T<10		31	28	25	22	22	22	22	22					
	10<T<15		31	28	25	22	20	20	20	20					
	15<T<25		31	28	25	22	20	18	18	18					
	25<T<40		31	28	25	22	20	18	16	16					
	T>40		31	28	25	22	20	18	16	14					
Tilpas for Sp.-grad.			Ved neg. Sp.-grad. : Gå 2 det.-kat. op for T<15mm og en det.kat. op for 15<T<40												

ALUMINIUM
Udmattelseskurver for påsvejste dele (tværgående sidekærv)

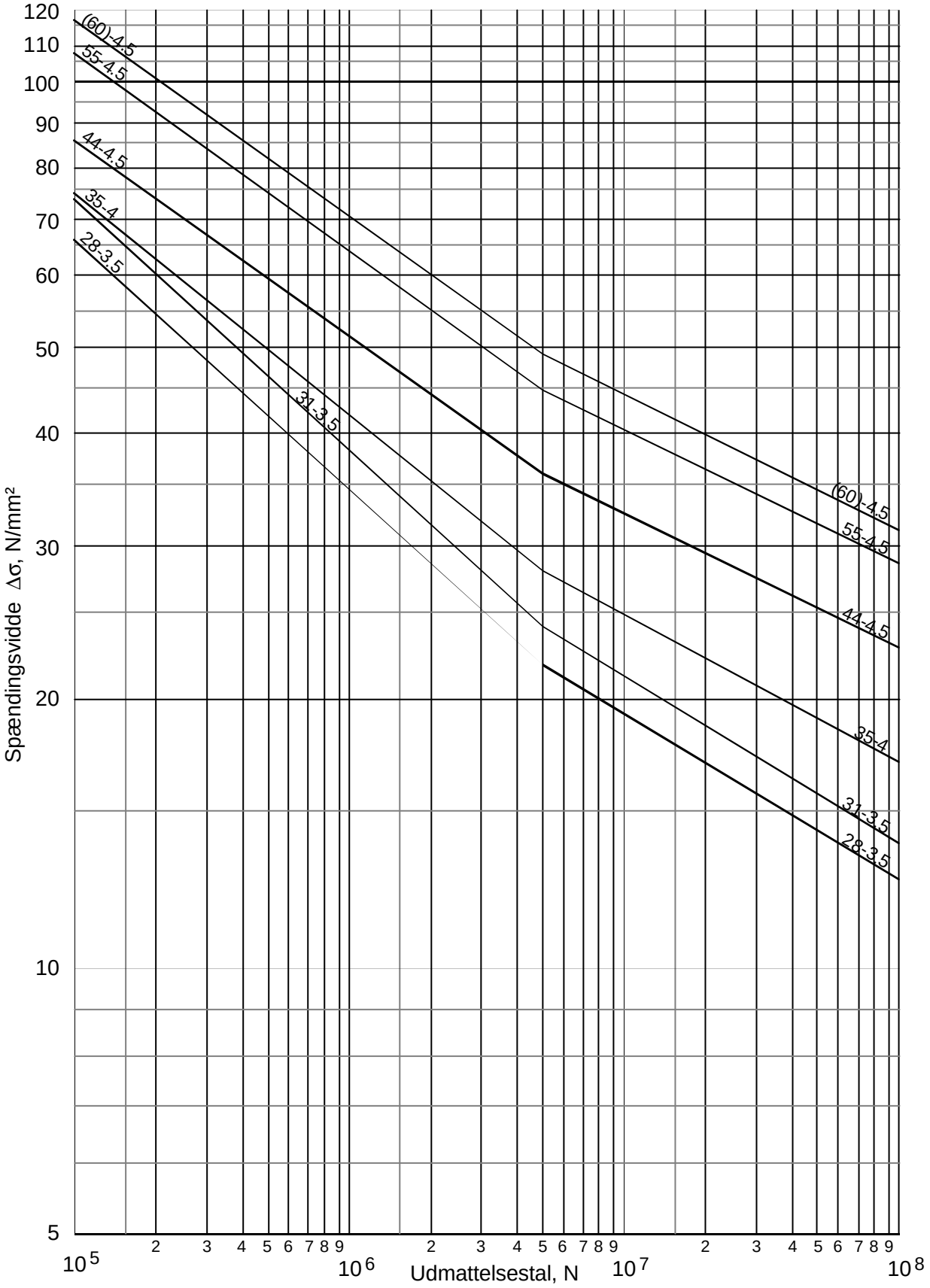


ALUMINIUM
Detaljekategorier for langsgående svejsesømme

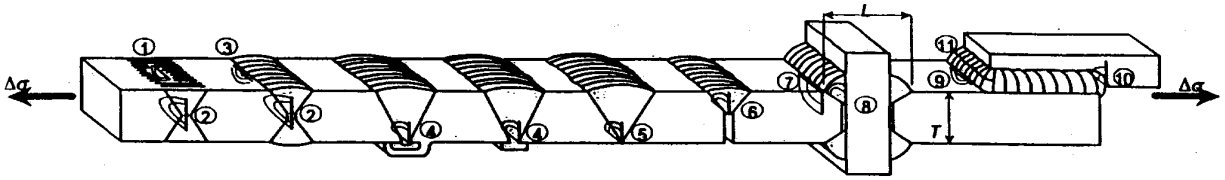


Produktform		Valsede, ekstruderede og smedede produkter				
Startsted	Reference nr.	1	2	3	4	5
	Placering	Ved svejse diskontinuitet	svejse-bølge	stop-start	Svejsetå eller -krater	Svejsetå eller -krater
Spændingsretning		Parallel med svejsningens længderetning				
Legeringer		Tabel 1.1.1				
Særlige krav	Dimension	Fuld gennem svejsning			Afbrudte kant-sømme	Afl.-hul center på overflade
		Dobbelt-siddet svejst			G≤2,5L	R≤25mm
	Fremstilling	Kontinuert automatsvejst				
		Svejsn. overflade slebet plan				
		Backing og svejsning skal være Kontinuerte				
	Inspektion	Efter anneks D tabel D1				
	Kvalitetskrav	Efter anneks D tabel D2				
Spændings-Analyse	Spændings-parameter	Nominel spænding ved initieringssted				
		Det påvejste materiale skal indgå i modstandsegenskaberne				
	Sp.-koncen-tration tilladt for	Svejsediskontinuiteter tilladt efter anneks D tabel D1				
						Aflast-ningshul
Type nr.		2.14	2.15	2.16	2.17	2.18
Detaljekategori		55-4,5 (60-4,5)	44-4,5	35-4	31-3,5	28-3,5

ALUMINIUM
Udmattelseskurver for langsgående svejsesømme

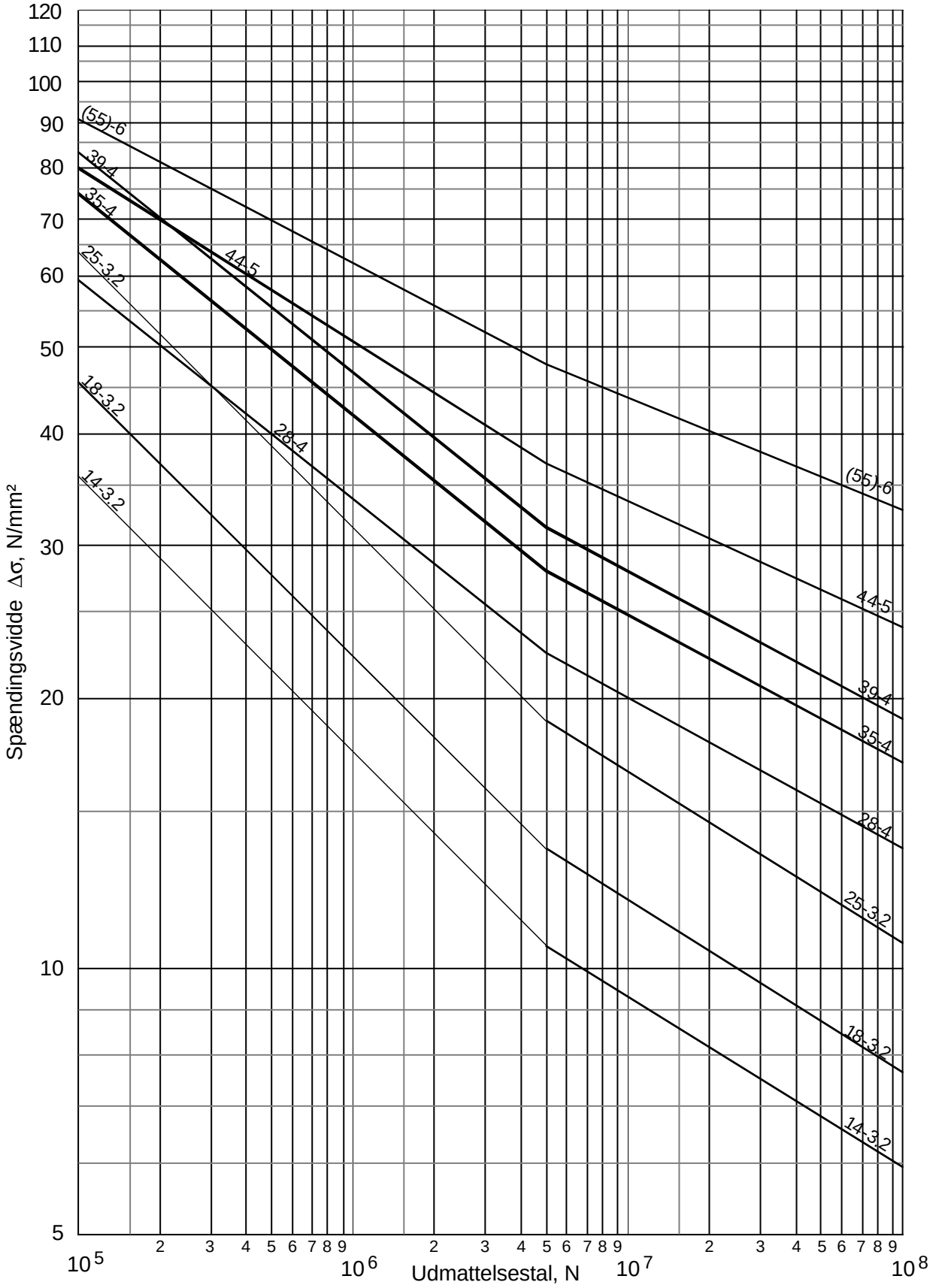


ALUMINIUM
Detaljekategorier for kraftoverførende svejste samlinger mellem elementer



Produkt form			Valsede, ekstruderede og smedede emner									
Start-sted	Ref. Nr.		1,2	3,2	4	5	6	7		8	9, 10	11
	Placering		Overfl. Ind. fejl	S-kærv Ind. fejl	rodside	rodfejl	Mgl indt	side kær	side kær	rodside	rodside	rodside
Spændingsretning			På tværs af svejseretningen									
Legeringer			Tabel 1.1.1									
Sær-lige krav	Di men sion	Saml Type	Stumpsøm mellem elementer på linie					kryds			overlap	
		Sv.	stumpsøm								kantsøm	
		Prep	dobbeltsidig sv.		ensidigt svejst							
		Indtr	fuld gennemsvejsning				part.	fuld	partiel			
		Over gang	overgang i tykkelse eller bredde < 1 : 4									
	Frem stil ling	rod	slebet		backing	-back.		slib				
		cap	slebet plan									
		ende	anvend ind- og udløbsplader der skæres væk og sømafslutning slibes efterfølgende									
	Inspektion		Anneks D tabel D1									
	Kvalitetskr.		Anneks D tabel D2									
Sp. ana lyse	Sp.-param.		Netto sømtykkelse+spec. forsætn.-spænd.					Netto T		Net. a-mål	Netto T	Net. a
	Sp.-konc. inkluderet i Det.-kat.		Svejseprofil, uspecificeret kantforsætning og diskontinuiteter till. efter anneks D tab. D.2									
								Stivhedseffekt af tværgående element			Spændingsspids ved svejseafslutning	
Type nr.			3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
Detalje-kategori		Plade	(55-6) **44-5**	(39-4) **35-4**	(35-4) **25-3,2**	(29-3,2) **18-3,2**	**14-3,2**	Som tabel 5.1.2(a) type 2.1 til 2.9		**18-3,2**	Som type 3.6 og 3.7	**14-3,2**
		Åbne pro-filer	(44-5) **28-4**	(35-4) **28-4**								
		Rør	ikke till.									
Nøgle: ( ) Før værdier i parentes anvendes skal 5.2.1(10) vurderes												

ALUMINIUM
Udmattelseskurver for kraftoverførende svejsesømme



9. Udmattelsesvurdering

Konstruktionselementer udsat for vekslende belastninger skal vurderes overfor udmattelse på en sådan måde, at der med acceptabel sandsynlighed ikke sker havari i konstruktionselementets levetid.

Konstruktionselementer kan vurderes ud fra 3 forskellige metoder:

1. Safe life design

2. Damage tolerant design.

3. Design by testing

I det følgende er der alene beskrevet forholdene for safe life design.

10. Safe life design

Det forudsættes, at der tilvejebringes pålidelige oplysninger med hensyn til udmattelseslast, således at der kan opstilles et spændingsspektrum.

Kvalitetskravene til konstruktionsdelens udførelse skal være defineret.

Der foretages vurdering af, hvilke detaljekategorier konstruktionsdelens svejsesamlinger kan henføres til.

For hver spændingsvidde $\Delta\sigma_i \cdot \gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf}$ i det opstillede spændingsspektrum findes det tilhørende udmattelsestal N_i ud fra detaljekategoriens udmattelseskurve.

Udmattelsesskaden D_L for den totale levetid beregnes ved anvendelse af Palmgren-miners summation:

$$D_L = \sum n_i/N_i$$

er værdien mindre end eller lig med 1 er ”safe life” opfyldt.

Hvis værdien er større end 1 må detaljen omformes så spændingsvariationerne bliver mindre eller alternativt at geometrien forbedres, så der kan anvendes en højere detaljekategori.

Er dette ikke muligt må det overvejes om damage tolerant design kan anvendes. Dette kræver fastsættelse af inspektionsintervaller jævnfør Eurocode 9 part 2 punkt 2.3.

11. Påvirkning fra miljø (korrosionspåvirkning)

Udmattelsesstyrken reduceres med stigende miljøpåvirkning af aluminiumlegeringer.

I Eurocode 9 Part 2 er der i afsnit 5.4 angivet en tabel for reduktion af udmattelsesstyrken for visse legeringstyper afhængig af beskyttelsesgrad og miljøpåvirkning.

Tabellen er gældende for temperaturer indtil 65°C i ikke maritime miljøer og for maritime miljøer er temperaturgrænsen sat til maksimum 30°C.

Tallene i tabellen henfører til reduktion i detaljekategori i forhold til den oprindeligt valgte.

Legering			Miljø							
Leg. serie	Leg. kompo-nenter	Beskyt telses grad	land	Industri		Maritimt			Neddyppet	
				Mode rat	kraftig	ikke industri	Mode rat	Kraftig	Fersk vand	Hav vand
3000	AlMnCu	A	-	-	(P)	-	-	-	-	-
5000	AlMg	A	0	0	(P)	0	0	0	0	0
5000	AlMgMn	A	0	0	(P)	0	0	0	0	1
6000	AlMgSi	B	0	0	(P)	0	0	1	0	2
7000	AlZnMg	C	0	0	(P)	0	0	2	1	3

For maritime miljøer med kraftig korrosionspåvirkning eller for legeringer neddyppet i havvand er det anført, at grænsen for udmattelsesstyrke ved konstant spændingsvidde flyttes ud til $N_D = 1 \cdot 10^7$ påvirkninger og afskæringsgrænsen flyttes ud til $N_L = 2 \cdot 10^8$ påvirkninger.

Hvor der er anført (P) i listen skal man være opmærksom på, at udmattelsesstyrken er meget afhængig af ”kemien” i miljøpåvirkningen og hvor der er anført en – i tabellen er der ikke opgivet udmattelsesdata.

12. Kvalitetskrav

Detaljekategorierne er gældende såfremt kvalitetskravene i Eurocode 9 part 2 anneks D er opfyldt.

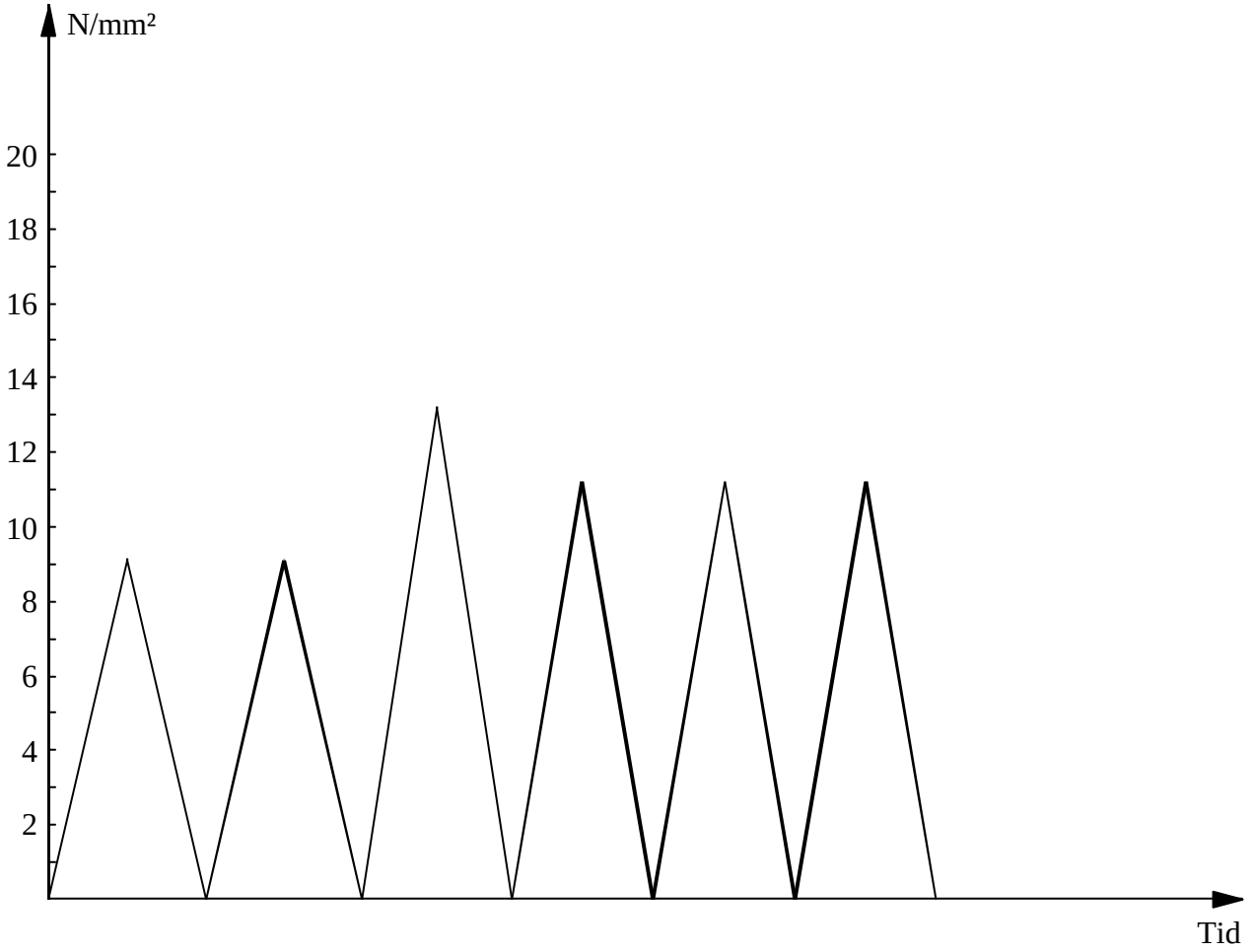
1. Fremstilleren skal tilpasse sig kravene i EN 729-2.
2. Svejsekoordinatorerne skal have passende teknisk kendskab in overensstemmelse med EN 719.
3. Svejseprocedurespecifikationerne skal være godkendt i overensstemmelse med EN 288-4.
4. Svejserne skal være godkendt i henhold til EN 287-2.
5. Kontrol i forbindelse med svejsning skal være i overensstemmelse med EN 1011-1 og 1011-4.
6. Kontrolomfanget og –metoderne skal være i overensstemmelse med tabel D.1
7. Svejsningernes kvalitet skal opfylde kravene i tabel D.2

Generelt kan detaljekategorierne til og med kat. 20 anvendes direkte når svejsekvaliteten opfylder kravene til level B efter EN 30042.

Højere detaljekategorier skærper kravene yderligere end level B-svejsning for nogle fejltyper.

13. Beregningseksempel

Et langsgående beslag med længde L = 60 mm svejses på en 6 mm tyk aluminiumplade, der er udsat for nedenfor viste spændingshistorie 1 million gange:

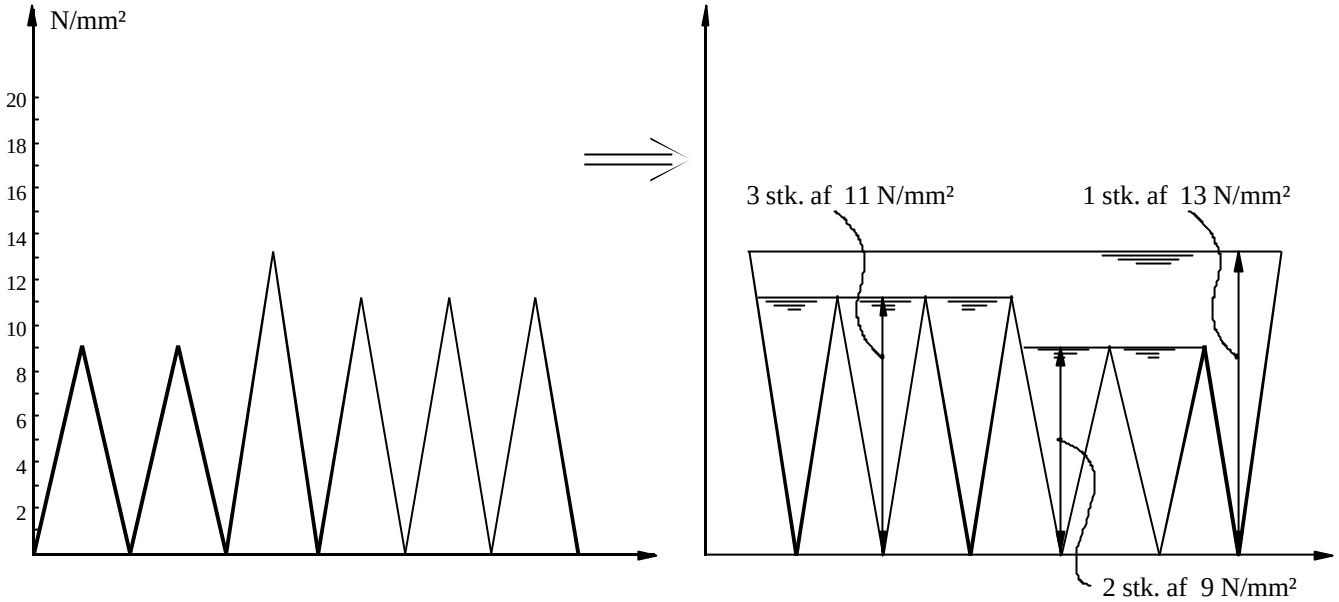


Vurder, om ovennævnte situation opfylder kravet til Miners summation når der forudsættes en lastpartialkoefficient på 1,0 og en materialepartialkoefficient på 1,43.

Det forudsættes endvidere at udmattelseskurven skal vælges ud fra skema side 12, hvor beslaget ikke er ført ud til kant af aluminiumspladen.

Løsning

Spændingshistorien opdeles i antal for hver spændingsvidde efter reservoir-metoden som angivet på side 8:



Ialt:

$1 \cdot 10^6$ påvirkninger af 13 N/mm²

$3 \cdot 10^6$ påvirkninger af 11 N/mm²

$2 \cdot 10^6$ påvirkninger af 9 N/mm²

Vurderingen foretages ud fra udmattelseskurve 22 jvf. tabellen på side 12 og der aflæses udmattelsestal ud fra kurven på side 13

$\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma = 1{,}0 \cdot 1{,}43 \cdot 13$ N/mm² = 19 N/mm² => $N_1 = 3 \cdot 10^6$

$\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma = 1{,}0 \cdot 1{,}43 \cdot 11$ N/mm² = 16 N/mm² => $N_1 = 6 \cdot 10^6$

$\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma = 1{,}0 \cdot 1{,}43 \cdot 9$ N/mm² = 13 N/mm² => $N_1 = 15 \cdot 10^6$

Herefter udregnes Miners summation (jvf. side 18), hvor hældningerne 3,2 og 5,2 for udmattelseskurven indgår:

$\Sigma (n_i / N_i) = 1 \cdot 10^6 / 3 \cdot 10^6 + 3 \cdot 10^6 / 6 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10^6 / 15 \cdot 10^6 \leq 1$

$0{,}97 \leq 1$ Betingelsen er opfyldt