Dokument: SASAK-RAP-DE-AKS-FI-0003-01

Dimensionering af statisk belastede svejste samlinger efter EUROCODE No. 9

SASAK
Projekt 1 - Designregler

Lars Tofte Johansen

FORCE Instituttet, september 2001

Dimensionering af statisk belastede svejste samlinger i aluminium efter EUROCODE No. 9

Indholdsfortegnelse

Side

Indledning	3
Materialer	4
Laster	5
Beregningsmæssige krav for grundmateriale	7
Beregningsmæssige krav for den varmepåvirkede zone (HAZ)	8
Statisk dimensionering af svejste samlinger	9
Inspektion og prøvning	14
Appendix A	15

Dimensionering af statisk belastede svejste samlinger i aluminium

Indledning

Dette kompendium indeholder de krav, der skal opfyldes ved dimensionering af statisk belastede svejsninger efter ENV 1999-1-1: 1998, også kaldet Eurocode No. 9 (aluminiumkonstruktioner). Vi anvender fremover forkortelsen ENV9.

Til denne norm vil der *ikke* som forventet i starten af projekt SASAK blive udgivet et dansk anvendelsesdokument. I Danmark vil man i stedet skulle anvende DS 419 (ikrafttræden ultimo 2001).

I Danmark vil ENV9 til gengæld kunne komme på tale i forbindelse med design af konstruktioner, som skal eksporteres.

Den nummerering af tabeller m.v, som er anvendt i kompendiet, er identisk med nummereringen i ENV9. Det er gjort for at lette sporbarheden.

Materialer (ENV9 kapitel 3)

De materialer, som vi skal beskæftige os med, er angivet i uddrag fra tabel 3.2 a i ENV9.

Uddrag fra tabel 3.2 a Nominelle værdier af 0,2%-spænding $f_{0,2}$ og trækstyrke f_u for aluminiumlegeringer i overensstemmelse med DS/EN 485-2 .

Aluminium-legering	lev.-tilstand	tykkelse	$f_{0,2}$ (N/mm^2)	f_u (N/mm^2)
EN AW-3103	H14	0,2 - 25	120	140
EN AW-5754	O/H111	0,2 - 100	80	190
EN AW-5754	H24/H34	0,2 - 25	160	240
EN AW 6082	T4	0,4 - 12	110	205
EN AW 7020	T6	0,4 - 12,5	280	350

De nominelle værdier i tabel 3.2 kaldes karakteristiske værdier.

De må ikke opfattes som tilladelige spændinger i en konstruktion. For at finde de tilladelige spændinger, også kaldet de regningsmæssige spændinger, skal de karakteristiske værdier divideres med en partialkoefficient, γ_M.

Hvor man ved dimensionering skal anvende den regningsmæssige 0,2 %-spænding, $f_{0,2,d}$, i grundmaterialet benyttes partialkoefficienten $\gamma_M = \gamma_{M1}$

$$f_{0,2,d} = \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M1}}$$

Hvor man ved dimensionering skal anvende den regningsmæssige brudstyrke, $f_{w,d}$, i svejsemetallet benyttes partialkoefficienten $\gamma_M = \gamma_{MW}$

$$f_{w,d} = \frac{f_w}{\gamma_{MW}}$$

Hvor man ved dimensionering skal anvende den regningsmæssige brudstyrke $f_{a,HAZ,d}$ i den varmepåvirkede zone benyttes grundmaterialets brudstyrke f_u reduceret med faktoren ρ_{HAZ} og partialkoefficienten γ_{MW}

$$f_{a,HAZ,d} = \frac{\rho_{HAZ} \cdot f_u}{\gamma_{MW}}$$

Hvis man ganger de regningsmæssige spændinger med konstruktionens modstands-egenskab, som f.eks. tværsnitarealet, finder man den regningsmæssige bæreevne.

Samlingselementer

ENV indeholder også materialekrav til diverse samlingselementer som bolte, nitter og elektroder.

Laster, karakteristiske værdier

De belastninger, som konstruktionen udsættes for, opdeles i forskellige kategorier.

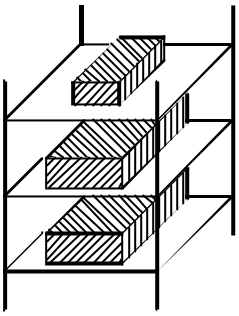
- permanente laster (F_p), f.eks. konstruktioners egenlast, udrustning, sekundære konstruktioner og fast udstyr

- variable laster (F_v), f.eks. nyttelast, vind- eller snelaster

- ulykkeslaster (A), f.eks. eksplosioner eller stød fra køretøjer.

Lasternes karakteristiske størrelse opgives i de relevante, nationale lastnormer.

Som eksempel på permanente og variable laster, kan man tage belastningen fra en lagerreol:



F_v = vægt af fyldning

F_p = egenvægt af reol

Total vægt = $F_p + F_v$

Som permanent last har man vægten af den tomme reol, mens den variable last udgøres af fyldningen.

Ligesom for materialeegenskaberne er der til lasterne også knyttet partialkoefficienter (sikkerhedsfaktorer), hvormed man ud fra de karakteristiske laster kan bestemme de regningsmæssige laster, som er de laster, der skal benyttes ved konstruktionsberegningen.

For de variable laster regnes med en partialkoefficient på 1,3 undtaget de variable naturlaster, hvor det må forventes, at der skal regnes med en partialkoefficient på 1,5.

For de permanente laster benytter man, afhængig af situationen, 1,0 eller 0,85 som partialkoefficient. Vi vil her kun benytte 1,0.

Ulykkeslaster vil vi ikke beskæftige os med.

For den belastede reol er den totale regningsmæssige last:

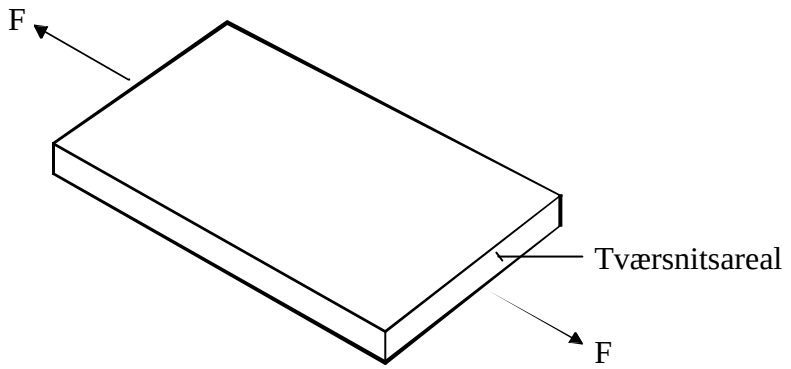
$$F_d = \gamma_{F,p} \cdot F_p + \gamma_{F,V} \cdot F_v = F_p + 1{,}3 \cdot F_v$$

hvor $\gamma_{F,P}$ og $\gamma_{F,V}$ er partialkoefficienterne for henholdsvis permanent- og variabel last.

Beregningsmæssige krav for grundmateriale

Når en konstruktion skal dimensioneres i henhold til ENV9 er kravet, at den regningsmæssige last ikke må overskride den regningsmæssige bæreevne.

Eksempel: Plade udsat for trækkraften F.



Krav:

$$F \leq A \cdot f_{0,2} / \gamma_{M1} = N_{t,Rd}$$

hvor $N_{t,Rd}$ er den regningsmæssige bæreevne.

Udtrykket kan omskrives til:

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq f_{0,2} / \gamma_{M1}$$

Dvs. den beregnede spænding σ skal være mindre end eller lig materialets 0,2 %-spænding divideret med partialkoefficienten γ_{M1}.

Husk, at hvis kraften F indeholder både en karakteristisk permanent del, F_p, og en karakteristisk variabel del, F_v, der ikke er en naturlast, da er kravet:

$$F = F_p + 1{,}3 \cdot F_v \leq A \cdot f_{0,2} / \gamma_{M1}$$

Beregningsmæssige krav for den varmepåvirkede zone, HAZ (ENV kapitel 5)

Ved svejsning i aluminiumslegeringer, der er styrkeøget ved valsning eller hærdning, forekommer der et styrketab i den varmepåvirkede zone.

I ENV9 tages der hensyn til dette ved at indføre en såkaldt "softening factor", ρ_{HAZ} .

Denne faktor ganges med udgangsmaterialets styrke for at finde den varmepåvikede zones karakteristiske styrke.

ρ_{HAZ} er angivet i uddrag fra tabel 5.2 i ENV9

Uddrag fra tabel 5.2: HAZ Softening factor (ρ_{HAZ})

Aluminium legering	lev.-tilstand	f_u (N/mm^2)	$\rho_{HAZ\ ,\ MIG}$	$\rho_{HAZ\ ,\ TIG}$
EN AW-3103	H14	140	0,6	0,6
EN AW-5754	O/H111	190	1,0	1,0
EN AW-5754	H24/H34	240	0,8	0,8
EN AW 6082	T4	205	1,0	--
EN AW 7020	T6	350	0,8 (1,0)	0,6 (0,8)

Statisk dimensionering af svejsesamlinger (ENV9 kapitel 6)

Bestemmelserne i ENV9 vedrørende svejsesamlinger gælder for:

- Svejselige aluminiumlegeringer, der opfylder de tidligere omtalte materialekrav.

- MIG (Metal Inert Gas)-svejsning i alle godstykkelser

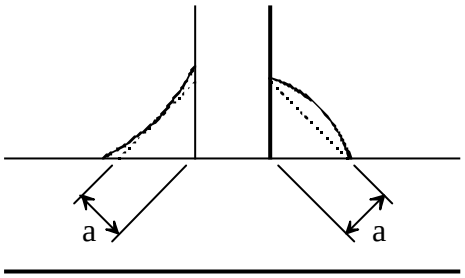
- TIG (Tungsten Inert Gas)-svejsning i indtil 6 mm godstykkelse.

Ved statisk dimensionering af svejsesamlinger indgår svejsetilsatsmaterialets karakteristiske styrke f_w, der er angivet i uddrag fra tabel 6.8 i ENV9

Uddrag fra tabel 6.8: svejsetilsatsmaterialets karakteristiske styrke f_w

Aluminium legering	lev.-tilstand	TILSATSMATERIALETS STYRKE f_w	
		5356	4043 A
EN AW-3103	H14	-	95
EN AW-5754	O/H111	220	-
EN AW-5754	H24/H34	220	-
EN AW 6082	T4	210	190
EN AW 7020	T6	260	(210)

Kantsømme



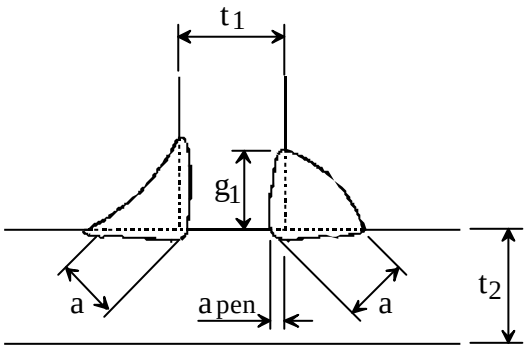
Figur : Sømtykkelse af kantsøm

Sømtykkelsen, eller a-målet, af en kantsøm defineres som højden af den største trekant, der kan indlægges inden for svejsefladerne og svejseoverfladen, målt vinkelret på yderside af denne trekant, se figur ovenfor.

For at en kantsøm regnes fuldt bærende over hele længden, må kantsømmens længde mindst være 8 gange a-målets størrelse.

Skal en koncentreret kraft overføres gennem en kantsøm, må kantsømmens længde ikke overstige 100 gange a-målet i beregningsmæssig sammenhæng.

Hvis der kan dokumenteres en sikker indtrængning i grundmaterialet, må denne medtages i a-målet, se figur 6.18



Figur 6.18 sømtykkelse af kantsøm med stor indtrængning.

For en kantsøm fremstillet ved en automatisk svejsning kan sømtykkelsen forøges med den mindste værdi af enten 20 % eller 2 mm uden forudgående prøvning.

Kantsømmes bæreevne

En kantsøms regningsmæssige kombinationsspænding σ_c må ikke overskride svejsemetallets regningsmæssige styrke:

$$\sigma_c \leq \frac{f_w}{\gamma_{MW}}$$

Hvor kombinationsspændingen σ_c er givet ved udtrykket

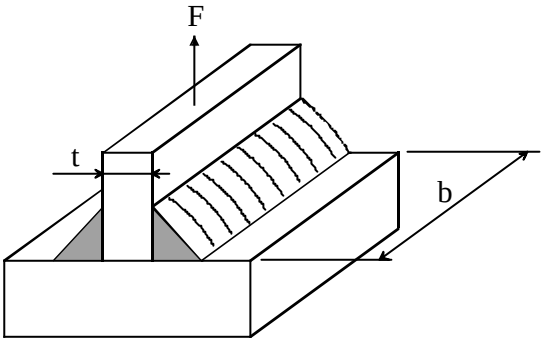
$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_\perp^{\ 2} + 3\left(\tau_\perp^{\ 2} + \tau_{II}^{\ 2}\right)}$$

f_w = karakteristisk styrke af svejsemetallet fra tabel 6.8
γ_{mw} = partialkoefficienten for brudstyrke
$\sigma_\perp$ = normalspænding i svejsemetallet
$\tau_\perp$ = forskydningsspænding i plan vinkelret på svejsemetallets længderetning
τ_{II} = forskydningsspænding i plan parallelt på svejsemetallets længderetning

For en dobbelt kantsømsvejsning belastet vinkelret på svejsningens længderetning fås følgende udtryk for a-målets størrelse:

$$a \geq 0{,}7 \cdot \frac{\sigma \cdot t}{f_w / \gamma_{mw}}$$

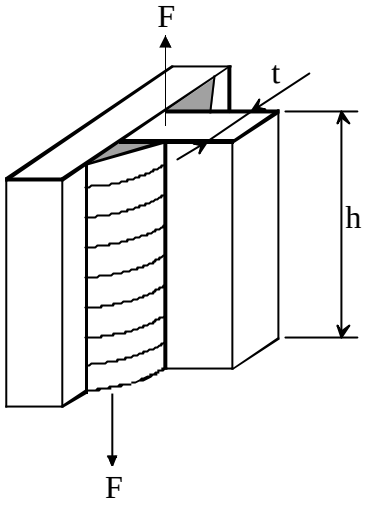
hvor $\sigma = \dfrac{F}{t \cdot b}$



For en dobbelt kantsømsvejsning belastet parallelt med svejsningens længderetning, “ren forskydning”, fås et tilsvarende udtryk for a-målets størrelse:

$$a \geq 0{,}85 \cdot \frac{\tau \cdot t}{f_w \,/\, \gamma_{mw}}$$

hvor $\tau = \dfrac{F}{t \cdot h}$



F = regningsmæssig kraft

t = pladetykkelsen af den træk-/forskydningspåvirkede plade

b = bredden af den trækpåvirkede plade

h = højden af den forskydningspåvirkede plade

Stumpsømme

En stumpsøm med fuld gennemsvejsning defineres som en stumpsøm, hvori der er fuld indtrængning og fuld sammensmeltning af svejse- og grundmaterialet i hele samlingens tykkelse.

En stumpsøm med delvis gennemsvejsning defineres som en stumpsøm med en samlet indtrængning, der er mindre end grundmaterialets fulde tykkelse.

Stumpsømmes bæreevne

Den regningsmæssige normalspænding $\sigma_{\perp}$ i svejsemetallet i en fuld gennemsvejst stumpsøm må ikke overskride svejsemetallets regningsmæssige brudstyrke:

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_w}{\gamma_{MW}}$$

Endvidere gælder, at den regningsmæssige forskydningsspænding τ i svejsemetallet i en fuld gennemsvejst stumpsøm ikke må overskride svejsemetallets regningsmæssige forskydningsstyrke:

$$\tau \leq 0{,}6 \cdot \frac{f_w}{\gamma_{MW}}$$

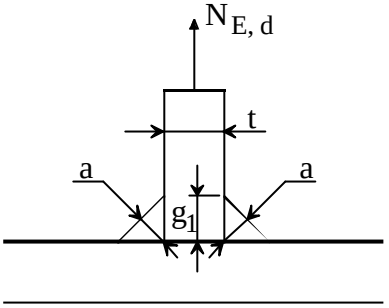
Inspektion og prøvning

I mangel af et nationalt anvendelsedokument er inspektion og prøvning angivet i ENV9.

Appendix A, side 1

Oversigt over formler til beregning af statisk belastede svejste samlinger i aluminium efter Eurocode No. 9

Dobbelte kantsømme



Svejsesøm:

$$N_{E,d} = 2 \cdot a \cdot l \cdot f_w \cdot \frac{0,7}{\gamma_{MW}}$$

Varmepåvirket zone i tværsnit i grundmaterialet:

$$N_{E,d} = t \cdot l \cdot \rho_{HAZ} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{MW}}$$

Varmepåvirket zone langs benlængden i kantsømmene:

$$N_{E,d} = 2 \cdot g_1 \cdot l \cdot \rho_{HAZ} \cdot f_u \cdot \frac{0,6}{\gamma_{MW}}$$

Grundmaterialet:

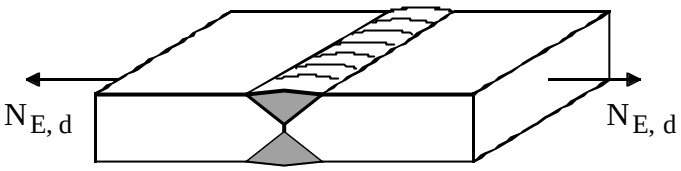
$$N_{E,d} = A \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M1}}$$

$N_{E,d}$ = regningsmæssig bæreevne
a = sømtykkelse
l = sømlængde pr. søm
f_w = svejsemetallets brudstyrke
t = pladetykkelse
ρ_{HAZ} = styrkereduktionsfaktor
f_u = grundmaterialets brudstyrke
g_1 = benlængde i kantsøm
A = grundmaterialets tværsnitsareal
$f_{0,2}$ = grundmaterialets 0,2 %-spænding
γ_{MW} = partialkoefficient for brudstyrke
γ_{M1} = partialkoefficient for elasticitetsgrænse

Appendix A, side 2

Oversigt over formler til beregning af statisk belastede svejste samlinger i aluminium efter Eurocode No. 9

Stumpsømme med fuld gennemsvejsning



Svejsesøm

For normalkræfter alene:

$$N_{E,d} = A \cdot \frac{f_w}{\gamma_{MW}}$$

Varmepåvirket zone i tværsnit i grundmaterialet:

$$N_{E,d} = t \cdot b \cdot \rho_{HAZ} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{MW}}$$

Grundmaterialets bæreevne:

$$N_{E,d} = A \cdot \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M1}}$$

$N_{E,d}$ = regningsmæssig bæreevne

A = grundmaterialets tværsnitsareal vinkelret på kraften

f_w = svejsemetallets brudstyrke

t = pladetykkelse

b = pladebredde

ρ_{HAZ} = styrkereduktionsfaktor

f_u = grundmaterialets brudstyrke

$f_{0,2}$ = det svageste grundmateriales 0,2 %-spænding

γ_{MW} = partialkoefficient for brudstyrke

γ_{M1} = partialkoefficient for elasticitetsgrænse