

Dokument: SASAK-RAP-VA-AKS-FI-0006-02

Krympninger og deformationer ved svejsning i aluminium.

Formelsamling

SASAK

Projekt 2 - Varmepåvirkning

Carsten Jørn Rasmussen

og

Steen Ussing

FORCE Instituttet, maj 2001

Forord

I forbindelse med SASAK-projektet er der opstillet en formelsamling til bestemmelse af deformationer ved MIG-svejning i aluminium. Da tilgængelig litteratur om svejsedeformationer i aluminium har været meget sparsomt, er formelsamlingen baseret på forsøgsarbejde udført på FORCE Institutet.

I produktionssituationer er svejsedeformationernes størrelse naturligvis afhængig af den svejste konstruktions stivhed og indspændingsgrad, svejserækkefølgen samt af en kompleks sammenhæng mellem en række andre forhold. Formelsamlingens anslåede svejsedeformationer kan derfor i nogle tilfælde i større eller mindre grad afvige fra de faktiske deformationer ved svejseopgaver under konkrete produktionsforhold.

Formelsamlingen kan i mange tilfælde anvendes til at opnå en orientering om størrelsen af de deformationer, man kan forvente ved svejsning af forskellige svejseopgaver. Dermed kan det vurderes om deformationernes forventede størrelse har betydning for en konkrete konstruktion.

Formelsamlingen kan derudover benyttes til at forstå de mekanismer, der påvirker størrelsen af krympninger og deformationer, og dermed give en ide om hvordan man kan minimere dem.

Indhold

1	Introduktion.....	4
2	Vinkelknæk	6
2.1	Stumpsøm.....	6
2.2	Kantsøm - vinkelknæk	7
3	Tværkrympning.....	8
3.1	Stumpsømme	8
3.2	Kantsømme - tværkrympning.....	9
4	Længdekrympning	10
5	Overlængder.....	11

1 Introduktion

Ved smeltesvejsning i såvel aluminium som i stål vil der altid i en eller anden grad forekomme deformationer og spændinger omkring svejse sømmen, grundet den voldsomme varmepåvirkning materialet oplever i og omkring svejsestedet. Først opvarmes materialet i og omkring smeltebadet kraftigt, og kort efter forekommer der en tilnærmelsesvis bratkøling. Disse temperaturpåvirkninger resulterer i rumfangsændringer, og da materialet ikke kan arbejde frit pga. af de omkringliggende koldere dele, opstår der spændinger i materialet. Hvis spændingerne overskrider en vis grænse (flydespændingen), begynder materialet at deformere omkring svejsningen.

Svejsedeformationerne kan direkte ses eller måles ved at sammenligne fugesamlingen før og efter svejsning. Det kan vise sig ved, at de ophæftede profiler ikke er rette efter svejsning, eller som udbulinger i tyndere materialer.

Svejsespændinger kan ikke umiddelbart ses, men de kan have en betydelig indflydelse på anvendeligheden af de svejste konstruktioner emner. Med tilstedeværelse af store svejsespændinger øges risikoen for spændingskorrosion, udmattelsesbrud og sprødbud. Desuden påvirker svejsespændinger tendensen til varmerevner. Man bør derfor så vidt mulig undgå store svejsespændinger.

Omkring svejsemetallet (det opsmeltede materiale) opstår der sædvanligvis trækspændinger, pga. den sammentrækning af materialet der har fundet sted efter afkøling. Hvor store trækspændingerne bliver afhænger i høj grad af hvor hårdt indspændt konstruktionen har været under svejsning. I en meget stiv konstruktion opstår der store spændinger, der i værste fald resulterer i revner. Er konstruktionen mere frit bevægelig bliver spændingerne som regel mindre, og deformationerne bliver tilgængelig større.

Størrelsen af spændinger og deformationer omkring en svejsning afhænger af en kompleks sammenhæng af bl.a. forhold som:

- Svejseteknik
- Sømform (stumpsøm, kantsøm m.fl.)
- Fugegeometri (fugevinkel, spalte m.m.)
- A-mål
- Varmetilførsel
- Svejserækkefølge
- Konstruktionens stivhed (godstykkelse, indspænding, hæftning mm.)
- Materialesammensætning

Man har gennem tiderne forsøgt at opstille teoretiske modeller til forudsigelse af deformationer [3], hvilket dog er temmelig kompliceret, pga. de mange faktorer der spiller ind. Derudover findes der kun yderst sparsomt med litteratur vedrørende deformationer ved svejsning i aluminium.

Der er derfor under SASAK-projektet på FORCE Institutet gennemført et større forsøgsarbejde med måling af krympninger og deformationer ved svejsning i aluminium. Svejsforsøgene er blevet udført på mindre forsøgsemner, der ikke har været fastspændt af ydre værktøjer. Forsøgsemnerne har således frit kunnet deformere sig under svejsning, kun begrænset af det enkelte forsøgsemnes egen stivhed. De anvendte materialer har primært været legeringerne 5083 (AlMg4,5Mn) og 5754 (AlMg3).

I produktionssituationer er svejsedeformationernes størrelse afhængig af den svejste konstruktions stivhed, i hvilken grad konstruktionen er fastspændt, om der anvendes forvarme samt de andre ovennævnte forhold. Formelsamlingens værdier skal derfor vurderes med "et gran salt", når deformationer i store konstruktioner skal anslås. Typisk vil man ofte få en lille smule mindre deformationer i praksis.

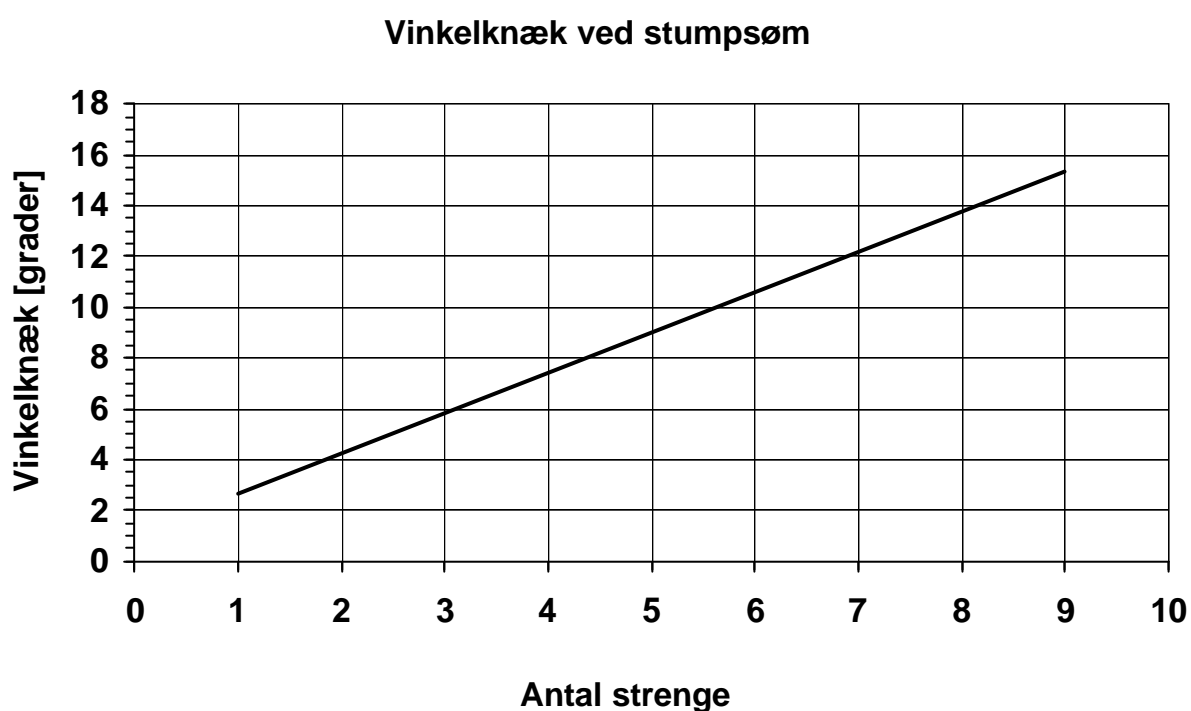
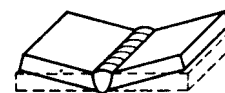
Formelsamlingen giver en indsigt i de forhold, der er afgørende for svejsedeformationernes størrelse, og dermed hvordan man evt. kan minimere dem. Ligeledes giver formelsamlingen en fornemmelse af hvor store deformationer man kan forvente, ved svejsning af lignende svejseopgaver.

2 Vinkelknæk

Gennem forsøgsarbejde er der opstillet grafer for vinkelknæk for stumpsømme og kantsømme.

2.1 Stumpsøm

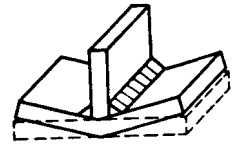
På figur 2.1 er vinkelknækket ved svejsning af stumpsømme vist som funktion af antal strenge.



Figur 2.1: Vinkelknæk ved svejsning af stumpsømme som funktion af antal strenge.

2.2 Kantsøm - vinkelknæk

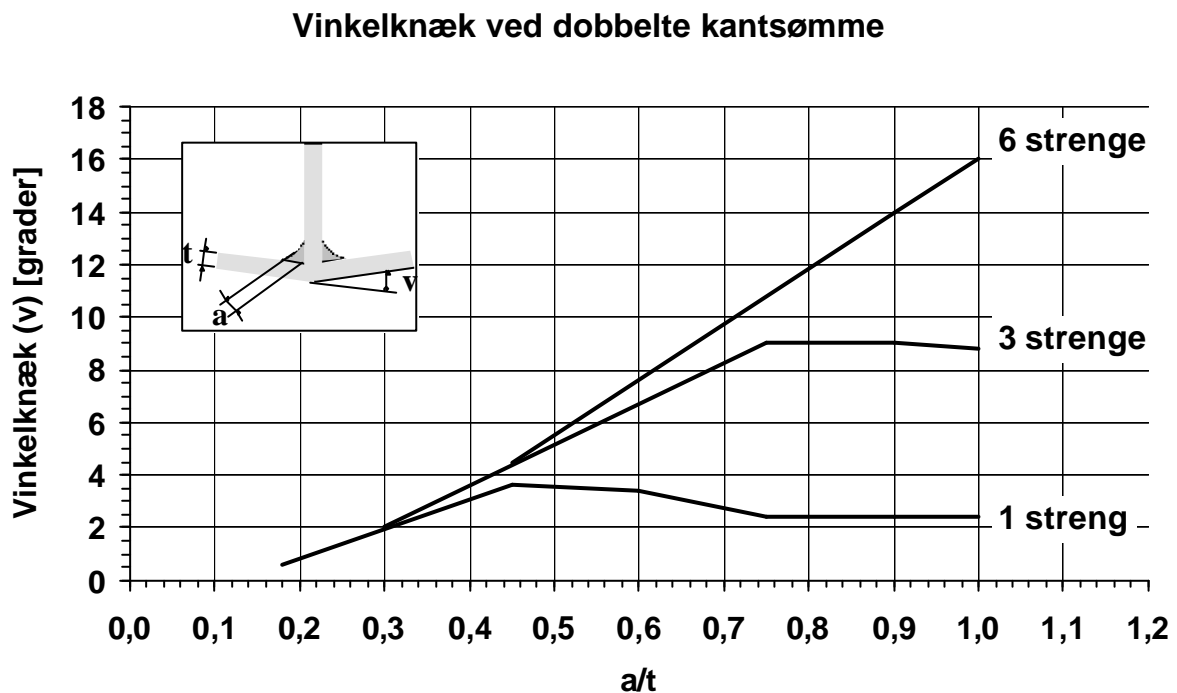
Ved svejsning af dobbelte kantsømme i aluminium har det gennem forsøg vist sig, at vinkelknækket (v) i høj grad er afhængig af følgende tre parametre:



- Godstykkelse (t)
- A-mål (a)
- Antal strenge

På figur 2.2 kan vinkelknækket aflæses afhængig af a -mål divideret med godstykkelsen (a/t).

De tre viste kurver gælder for svejsning af dobbelt kantsømme med hhv. 1, 3 og 6 strenge på hver side af kropspladen.



Figur 2.2: Vinkelknæk (v) ved dobbelt kantsøm afhængigt af a -mål divideret med pladetykkelse (a/t).

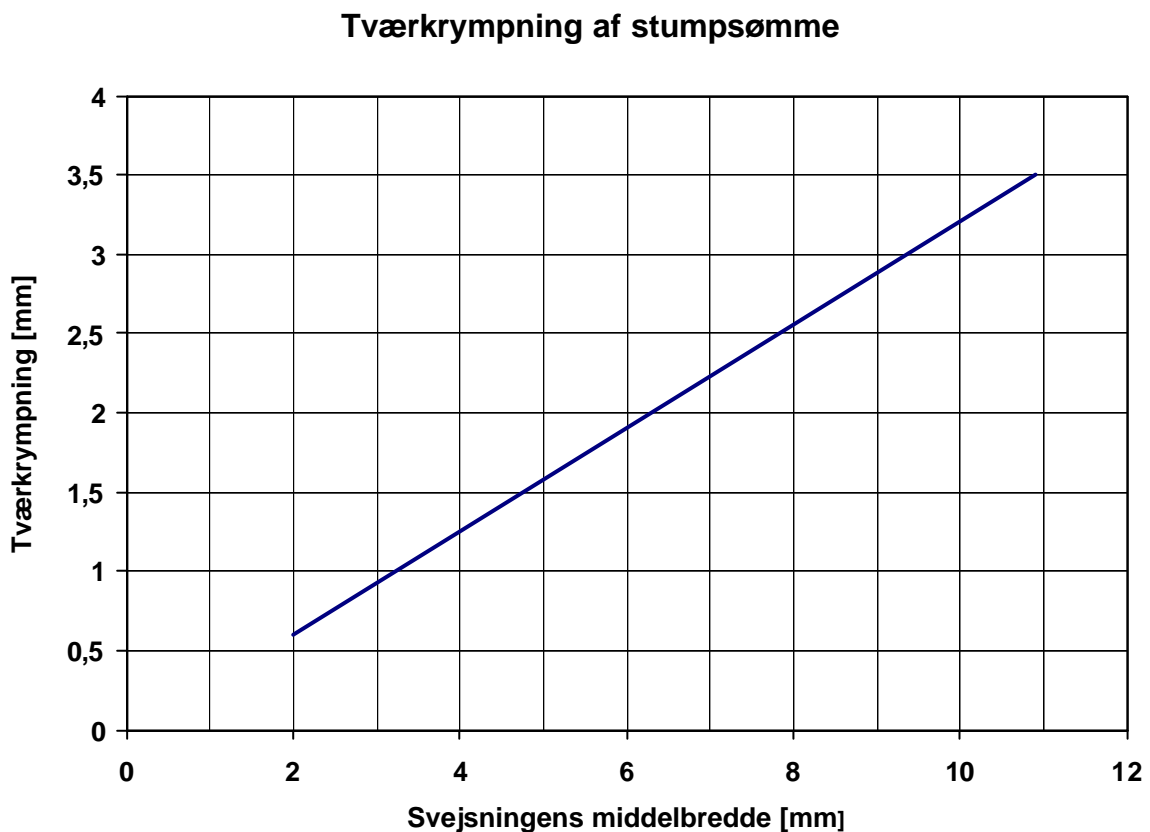
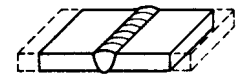
3 Tværkrympning

Tværkrympningen (d) er den længde, som de sammensvejsede plader har trukket sig sammen på tværs af svejseretningen.

Tidligere undersøgelser af tværkrympning ved svejsning har vist, at kun ca. 10% af tværkrympningen kommer fra sammentrækninger i smeltebadet [3]. Resten af sammenkrympningen kommer fra opvarmning og nedkøling af det omgivende materiale.

3.1 Stumpsømme

Målinger af tværkrympning ved MIG-svejsning af stumpsømme er vist på figur 3.1.

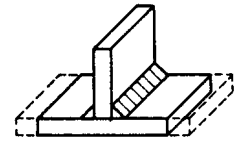


Figur 3.1: Tværkrympning ved MIG-svejsning af stumpsømme som funktion af svejsningens middelbredde.

Svejsningens middelbredde kan betragtes som forholdet mellem svejseømmens tværsnitsareal divideret med godstykkelsen. I praksis kan man gå ud fra svejsefugens middelbredde, tillagt ca. 2 mm.

3.2 Kantsømme - tværkrympning

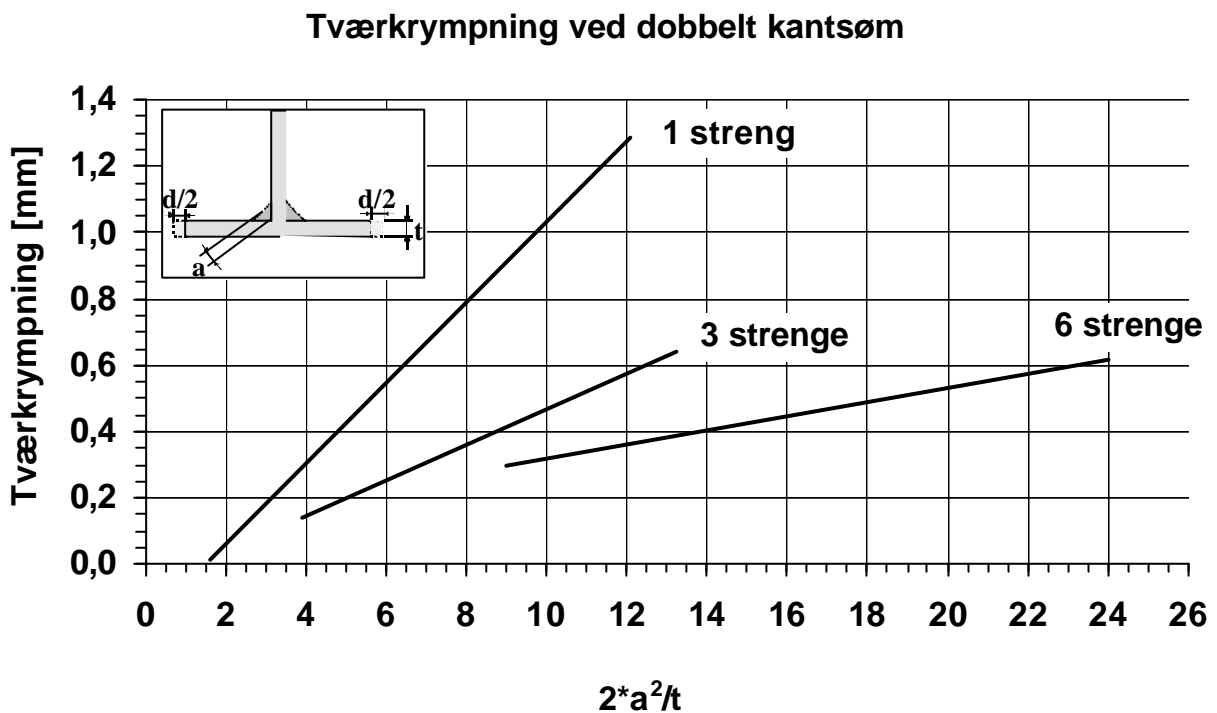
Tværkrympningen ved svejsning af dobbelte kantsømme i aluminium er i høj grad afhængig af forholdet mellem tværsnitsarealet af tilført materiale og godstykkelse.



Arealet af tilført materiale (A_w) i en dobbelt kantsøm kan beregnes af følgende udtryk:

$$A_w = 2 \cdot (amål)^2$$

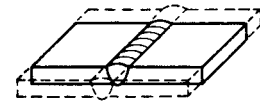
På figur 3.2 kan vinkelknækket aflæses afhængig af forholdet mellem tværsnitsarealet af tilført materiale og godstykkelsen (A_w/t). Figuren er baseret på et større forsøgsarbejde. Målingerne af tværkrympninger er blevet korrigeret mht. de vinkelknæk, der forekom på de enkelte forsøgsemner.



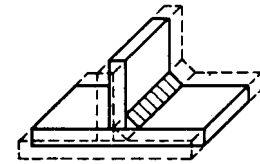
Figur 3.2: Tværkrympning (d) ved dobbelt kantsøm afhængig af forholdet mellem tværsnitsarealet af tilført materiale og godstykkelsen.

4 Længdekrympning

Gennem målinger eller beregninger af spændingsniveauer omkring en svejsning er det muligt at forudsige længdekrympningerne i en svejsning.



Til bestemmelse af længdekrympningen ved svejsning af profiler, kan der opstilles en forholdsvis simpel ligning:



$$d = \frac{P \cdot L}{E \cdot A_p} \quad (3.1)$$

d:	Længdekrympning	[mm]	
P:	Krympekraft	[N/mm ²]	
E:	Elasticitetsmodul	[N/mm ²]	(For aluminium: E = 70.000 N/mm ²)
A _p :	Tværsnitsareal af profil	[mm ²]	
L:	Længde	[mm]	

Krympekraften kan beregnes af følgende udtryk:

$$P = C \cdot A_w \quad (3.2)$$

C:	Konstant afhængig af svejseteknik	[N/mm ²]	
A _w :	Areal af nedsmeltede svejsemetal	[mm ²]	(NB.: Ikke opsmeltede areal)

Ved MIG-svejsning i aluminium er konstanten C bestemt til 2100 N/mm². Dette er gjort gennem både en teoretisk og en praktisk bestemmelse af krympekrafter ved svejsning i aluminium under SASAK-projektet.

Af ligning 3.1 og 3.2 kan den simple ligning 3.3 udledes til beregning af længdekrympningen (d) ved MIG-svejsning af et aluminiumsprofil.

$$d = 0,03 \cdot \frac{A_w}{A_p} \cdot L \quad (3.3)$$

Længdekrympningen er således afhængig af tværsnitsarealet af det nedsmeltede materiale samt af tværsnitsarealet af det profil (A_p), der svejses på. Endelig ses det af ligning 3.3, at længdekrympningen er ligefrem proportional med længden (L) af profilet.

5 Overlængder

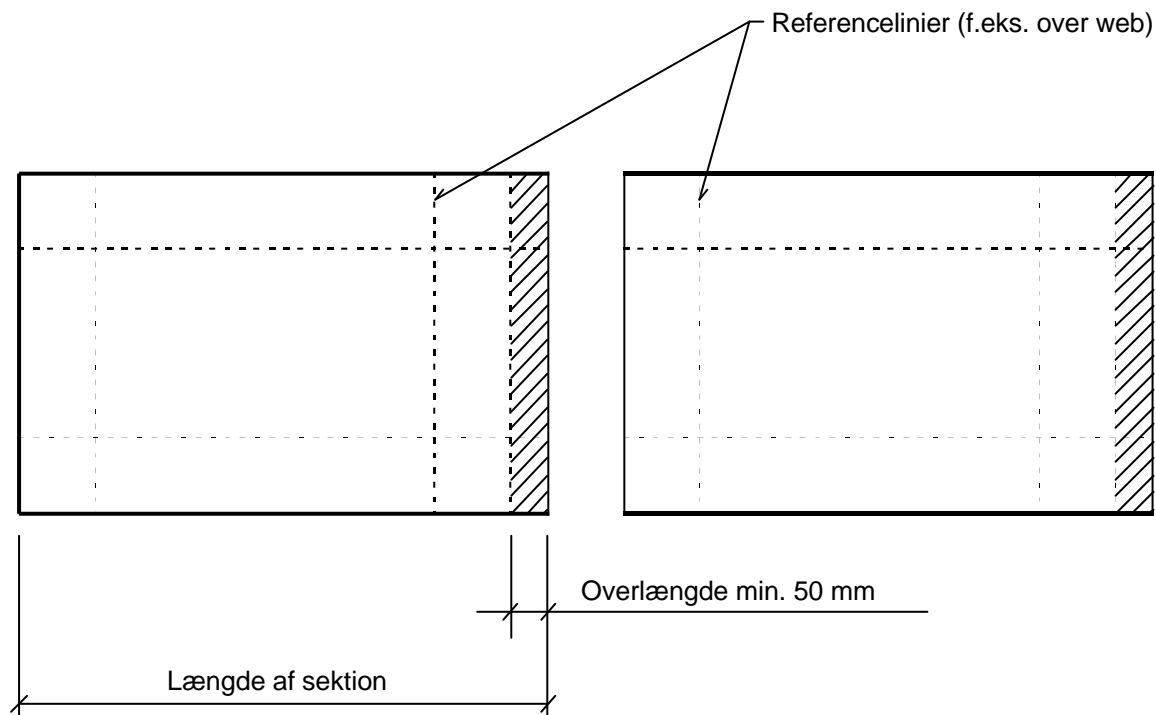
Formelsamlingen kan anvendes i de tilfælde, hvor man er tvunget til – eller ønsker at forudsige deformationer så nøjagtigt som muligt.

For at komme uden om problemet med at forudsige deformationer eksakt, bruges ofte overlængder, hvor det er muligt. Man undlader ganske enkelt at skære paneler, sektioner o.l. af på mål indtil de ikke alene er færdigsvejst, men også opstillet til (montage) svejsning, eksempelvis i dok.

Overlængderne er typisk på 50-100 mm. Ved at måle fra referencepunkter i de 2 sektioner, som skal svejdes sammen, kan det eksakte mål der skal skæres af direkte afsættes.

Man skal i den forbindelse huske at kompensere for hhv. spalte i svejsesøm og tværkrympning.

Overlængder placeres typisk for hver pladelængde – se eksempel på figur 5.1



Figur 5.1 – Eksempel på placering af overlængder

Litteraturliste:

- [1] Hansen, B
”Svejsespændinger og svejsedeformationer, Formelsamling”
Publikation K 72001/15 2. udgave, Svejsesentralen, 1973

- [2] Hansen, B
”Svejsedeformationer og svejsespændinger”
Publikation 68.02, Svejsesentralen, 1968

- [3] Verhaeghe, G
”Predictive formulare for weld distortion – a critical review”
TWI, 1999

- [4] Schotti, P. R.
”Bestemmelse af krympekræfter i aluminium”
Afgangsprojekt på Københavns Teknikum, 1999