Dokument: SASAK-RAP-DE-AKS-KEH-0004-02

Aluminium contra stål

SASAK
Projekt 1 - Designregler

Jesper Kanstrup
Knud E. Hansen A/S, sep. 2001

Aluminium contra stål - oversigt:

Ved anvendelse af aluminium i stedet for stål er der en række vigtige forskelle mellem de to materialer, designeren skal være opmærksom på. En ”stålkonstruktion” bygget i aluminium vil som oftest være uhensigtsmæssig, uoptimal og give en række problemer.
I det følgende ridses de vigtigste forskelle og de deraf følgende konstruktionsmæssige konsekvenser op.

Valg af materiale

Stål til konstruktionsformål vælges efter relativt simple kriterier:

- Styrke, dvs. flyde- og brudspænding
- Slagsejhed (kærvstyrke)
- Hårdhed
- Modstandsdygtighed overfor rust
- Plastisk deformerbarhed

Ved valg af aluminium er tingene langt mere komplicerede, idet der findes et ”utal” af legeringer med vidt forskellige egenskaber.

Aluminium inddeles i to hovedgrupper:

1. Valselegeringer, dvs. legeringer som efter udstøbning valses, trækkes, ekstruderes, presses, smedes eller på anden måde undergår plastisk deformation.
2. Støbelegeringer, der bruges til emner, der får deres endelige form ved selve udstøbningen.

I begge grupper findes både hærdbare og ikke-hærdbare legeringer.
Hærdbare legeringer er legeringer, hvor styrken kan øges ved en speciel hærdnings proces f.eks. kolddeformation eller modning (varme/kulde/varme behandling).

I hver af de to hovedgrupper klassificeres aluminiumslegeringerne i 9 hovedgrupper efter deres legeringselementer.

Nedenstående skema viser opdelingen for valselegeringerne. X’erne står for grænser for urenheder og identifikation af de enkelte legeringer.

(Skemaet for støbelegeringer er nogenlunde tilsvarende.)

Serie	Legeringselementer	Anvendelsesområder
1XXX	<1% (teknisk ren)	El- og varmeledere, cladding
2XXX	Kobber	Højstyrke applikationer, flydele
3XXX	Mangan	Dækplader, lette konstruktioner
4XXX	Silicium	Dækplader, El-ledere
5XXX	Magnesium	**Konstruktioner**, El-leder, dækplader
6XXX	Magnesium, silicium	**Konstruktioner**, El-ledere, dækplader
7XXX	Zink	Højstyrke applikationer, flydele
8XXX	Andre elementer	
9XXX	Ubrugt serie	

Aluminium leveres i forskellige tilstande, der beskriver den behandling (kolddeformation eller varmebehandling), som produktet har fået inden leveringen:

F	Som emnet er produceret. Kolddeform. eller varmebehand. ikke kontrolleret
O	Blødglødet til lavest mulig styrke
H	Deformationshærdet
W	Opløsningsglødet og bratkølet
T	Varmebehandlet – stabil tilstand opnået.

Disse tilstande kan yderligere specificeres med et nummer, der angiver graden af kolddeformation eller en nærmere angivelse af den forudgående varmebehandling.

Et aluminiumsprodukt kan således f.eks. hedde: ”5083 H111”, hvilket er en legering i 5-serien (Al Mg4,5Mn0,7) leveret lettere koldvalset f.eks. strækrettet.

Da aluminiums materialeegenskaber så som styrke, svejsbarhed, korrosionsbestandighed etc. afhænger stærkt af både legeringselementerne og leveringstilstanden er moralen, at valg af legering til et specifikt formål skal foretages efter et nøje studium.

Aluminium er ikke bare aluminium !!!

Vægt

Når der overhovedet tænkes på at skifte fra stål til aluminium er et af hovedformålene som oftest vægtbesparelse.

Aluminiums massefylde er 2.700 kg/m3 hvilket er ca. 1/3 af ståls på 7.850 kg/m^3.
Det betyder dog ikke, at en aluminiumskonstruktion kun vejer 1/3 af den tilsvarende stålkonstruktion, idet der skal kompenseres for aluminiums lavere stivhed og styrke. Selv om selve forholdet mellem vægt og styrke er væsentlig bedre end for stål ender man med i praksis med, at en godt designet aluminiumskonstruktion vejer ca. det halve af en tilsvarende konstruktion i normalt stål og ca. 2/3 af en konstruktion i højstyrke stål ”HTS” – High Tensile Steel.

Undtagelsen for denne regel er, når en plade i stål erstattes af en aluminiumsplade i samme tykkelse. Det ses i de tilfælde, hvor stålpladetykkelsen ikke direkte er dikteret af et styrkekrav, men skyldes enten et krav til en minimums tykkelse (et ”dog-aldrig-mindre-end” krav) eller et krav fra produktionen om, at tyndere plade ikke kan håndteres i praksis uden at få for store omkostninger til buleretning.

Styrke / stivheds forholdet

Elasticitetsmodulet for aluminium er ca. 7 x 10^4 N/mm^2 hvilket kun er 1/3 af ståls på 2,1 x 10^5 N/mm^2.
Styrken af aluminium (flyde- og brudspænding) er også generelt ringere end stål, men svinger meget afhængig af legering og leveringstilstand.
Deformations- eller modningshærdede legeringer har ofte en styrke på næsten samme niveau som stål, mens ikke-hærdede legeringer har mindre end den halve styrke.
Nedenstående skema Tabel 1 viser som eksempel flydespændingen og brudstyrken for normalt stål sammenlignet med en 6082 legering i to forskellige leveringstilstande.

	Normalstyrke stål	Alu. 6082 T4	Alu. 6082 T6
Flydespænding	235 N/mm^2	110 N/mm^2	260 N/mm^2
Brudspænding	400 - 520 N/mm^2	205 N/mm^2	310 N/mm^2

Tabel 1 - Sammenligning mellem normal stål og aluminium

Tabel 2 viser højstyrke stål til konstruktionsformål sammenlignet med de stærkeste aluminiumslegeringer.

	Medium/højstyrke stål	Højstyrke stål	Alu. 7075 T651
Flydespænding	360 N/mm^2	490 N/mm^2	470 N/mm^2
Brudspænding	490 - 620 N/mm	640 – 790 N/mm^2	540 N/mm^2

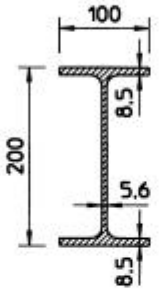
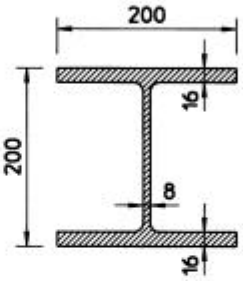
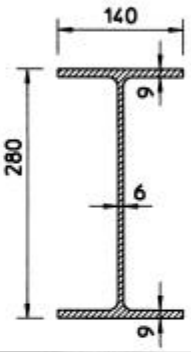
Tabel 2 - Sammenligning mellem højstyrke stål og højstyrke aluminium

Disse forskelle i materialeegenskaber i forhold til stål giver en principiel forskel i filosofien ved dimensionering af stål og aluminiumskonstruktioner.
En stålkonstruktion dimensioneres som regel efter et tilladeligt spændingsniveau hvorefter udbøjning og stabilitet som oftest ikke vil være det store problem.
Det omvendte er tilfældet ved mange aluminiumskonstruktioner.

Udbøjningen af en bøjningsbelastet konstruktion er som bekendt omvendt proportional med elasticitetsmodulet ”E” og inertimomentet ”I”, og da elasticitetsmodulet er lavt for aluminium, må der tit dimensioneres efter en tilladelig udbøjning og et check af stabiliteten, hvorefter spændingniveauet så til gengæld vil vise sig at være relativt lavt.

Aluminiums elementer med bøjningsbelastning skal generelt udføres med større konstruktionsdybde end tilsvarende elementer i stål for at udbøjningen ikke skal blive uacceptabel stor. I praksis bør der regnes med en øgning af dybden med 20-40%. Jo større øgning, jo lavere vægt.

Figur 1 viser 3 bøjnings belastede bjælker med samme E*I og dermed samme udbøjning – én i stål (IPE 200) og to i aluminium.
Bemærk vægten pr. meter. Eksemplet viser, at hvis en aluminiumsbjælke skal udføres med samme konstruktionsdybde som en tilsvarende stålbjælke og ikke må have større udbøjning, er der ingen nævneværdig vægtbesparelse ved skift fra stål til aluminium !

Profiler		Last: q = 700 kg/m + egenvægt Længde: 6 m		
		Stål IPE 200	Aluminium profiler	
				
A	mm2	2848	7830	4178
E	N/mm2	2,1 E5	7,0 E4	7,0 E4
I	mm4	1,94 E7	5,80 E7	5,67 E7
W	mm3	1,94 E5	5,80 E5	4,05 E5
E*I	N*mm2	4,07 E12	4,06 E12	3,97 E12
Vægt pr. m	kg/m	22,4	21,1	11,3
Bøjnings spænding	N/mm2	164	55	78
Nedbøjning	mm	29	29	29
1. ordens egenfrekv.	Hz	3,3	5,7	5,6

Figur 1 - 3 bjælker med samme udbøjning

Ved trykpåvirkede elementer f.eks. søjler er stabiliteten (bulestivheden) proportional med elasticitetsmodulet af materialet.
Pga. aluminiums ringe elasticitetsmodul (1/3 af stålsmodul) må specielt slanke søjler have et væsentlig højere inertimoment end tilsvarende søjler i stål for at opnå tilstrækkelig stabilitet. Dermed ender vægten ofte med at blive ca. ¾ af vægten af en tilsvarende søjle i stål.
Tilsvarende må profiler, der er svejst til en plade og har trykspændinger i flangen, have en bredere flange og dermed højere inertimoment i tværretningen end det ville være nødvendigt for stålprofiler for at undgå torsionsudbøjning. L-profiler eller T-profiler vil i mange tilfælde være gode erstatninger for de bulbprofiler, der typisk anvendes i stålkonstruktioner i skibe. (I den forbindelse skal man tænke på, at det ofte ikke er nødvendigt at male profilerne hvilket ellers er vanskeligt på undersiden af flanger.)

Det ringe forhold mellem elasticitetsmodulet og styrken har afgørende betydning for større konstruktioner f.eks. hurtiggående skibe (katamaraner). Op til en vis længde (ca. 80 m) er udbøjningen (fjedringen af skrogbjælkerne som helhed) ikke det store problem, men ved

større længder er det svært at gøre skrogene tilstrækkelig stive uden at vægten øges for meget. Over ca. 120 m vil højstyrke stål derfor ofte være en bedre løsning end aluminium.

Sammenlignet med en konstruktion i almindeligt stål betyder kombinationen af aluminiums lave elasticitetsmodul og den lavere tilladelige spænding, at der ved afstivede pladepaneler må regnes med en stiverafstand, der kun skal være mellem halvdelen og 2/3.

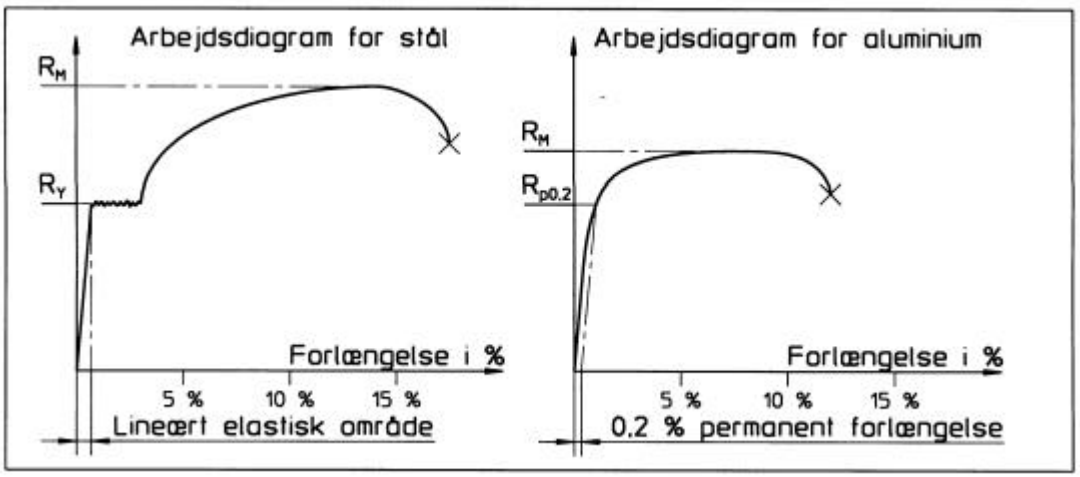
I forhold til en vægtoptimeret konstruktion i HTS vil aluminiumskonstruktionen skulle have en stiverafstand på mellem 2/3 og ¾. Generelt må der altså regnes med flere stivere og dermed svejsemeter.

Brudgrænse / flydegrænse forholdet

Arbejdsdiagrammerne for stål og aluminium er meget forskellige.
Stål har et lineært elastisk område indenfor hvilket en konstruktion altid vil vende tilbage til sin oprindelige facon ved aflastning. Efter det lineære område er der et område hvor stålet "flyder" dvs. deformeres under konstant spænding – det der kaldes flydespændingen "R_y".

Aluminium har ikke denne udprægede flydning idet det, der kaldes flydegrænsen for aluminium ($R_{P0,2}$), i virkeligheden bare svarer til det punkt på en jævn kurve, hvor der efter aflastning vil være en varig deformation på 0,2 %.

Figur 2 viser arbejdsdiagrammerne for stål og aluminium.



Figur 2 - Arbejdsdiagrammer for stål og aluminium

For mange aluminiumslegeringer til konstruktionsformål gælder, at forholdet mellem brudgrænsen (R_m) og flydegrænsen ($R_{P0,2}$) er relativt lavt sammenlignet med stål.
For aluminium kan forholdet (afhængig af legering) være så lavt som: $R_m/R_{P0,2}$ = 1,2, mens det for normalstål er ca. 1,7. (Se Tabel 1 & Tabel 2).
En aluminiumskonstruktion, der er belastet til flydegrænsen er altså tættere på brud end en stålkonstruktion, der tilsvarende er belastet til flydning.

En stålkonstruktion vil flyde i de hårdest belastede områder, når den belastes ud over flydegrænsen. Herved udjævnes spændingerne så større dele af konstruktionen efter flydning har et ensartet spændingsniveau. Normalt medfører det ikke brud, fordi der efter ophør af flydningen stadig er relativt langt til brudgrænsen.

Aluminium ikke har denne spændingsudjævnende flydning. Da brudforlængelsen desuden er lavere end for stål, må man ved dimensionering af konstruktioner i de aluminiumslegeringer, hvor brudgrænsen kun ligger lidt over flydegrænsen, være meget påpasselig med at få defineret de maximalt optrædende påvirkninger, og der må ved specielt kritiske konstruktioner indlægges en større sikkerhedsmargin end hvis der var tale om stål. I modsat fald vil man ved aluminiumskonstruktioner kunne opleve pludselige og uventede totale sammenbrud uden forudgående varsel. Dette forøger naturligvis vægten og gør fordelen ved skift fra HTS til aluminium mindre.

Tab af styrke ved varmepåvirkning fra svejsning:

De deformations- og modningshærdede aluminiumslegeringer er generelt kendetegnede ved høje 0,2-flydespændinger, men taber i modsætning til stål en væsentlig del af deres styrke i den varmepåvirkede zone – ("HAZ"=Heat Affected Zone) - omkring svejsninger. Efter svejsning kan materialestyrken - afhængig af legeringen - være reduceret til under 60 % af den oprindelige styrke.

Årsagen til denne forringelse er, at de hærdede legeringer har fået deres styrke ved en hærdningsproces (kolddeformation eller modning ved en varme/køle/varme proces) hvorved krystalgitteret i legeringen har fået en struktur, der giver den øgede styrke.
Denne struktur nedbrydes ved kraftig opvarmning, hvorved de gode egenskaber, der blev opnået ved hærdningen, forsvinder igen.

De ikke-hærdede legeringer har væsentlig lavere 0,2-flydespændinger end de hærdede, men til gengæld forringes flydespændingen ikke ved svejsning.

Tabel 3 viser som eksempel styrken af forskellige legeringer i svejst og ikke-svejst tilstand. Bemærk at 5083 legeringen i den hærdede leveringstilstand (H116/H321) vender tilbage til samme styrke som den ikke hærdede (udglødede og kun lettere koldvalsede O/H111) efter svejsning.

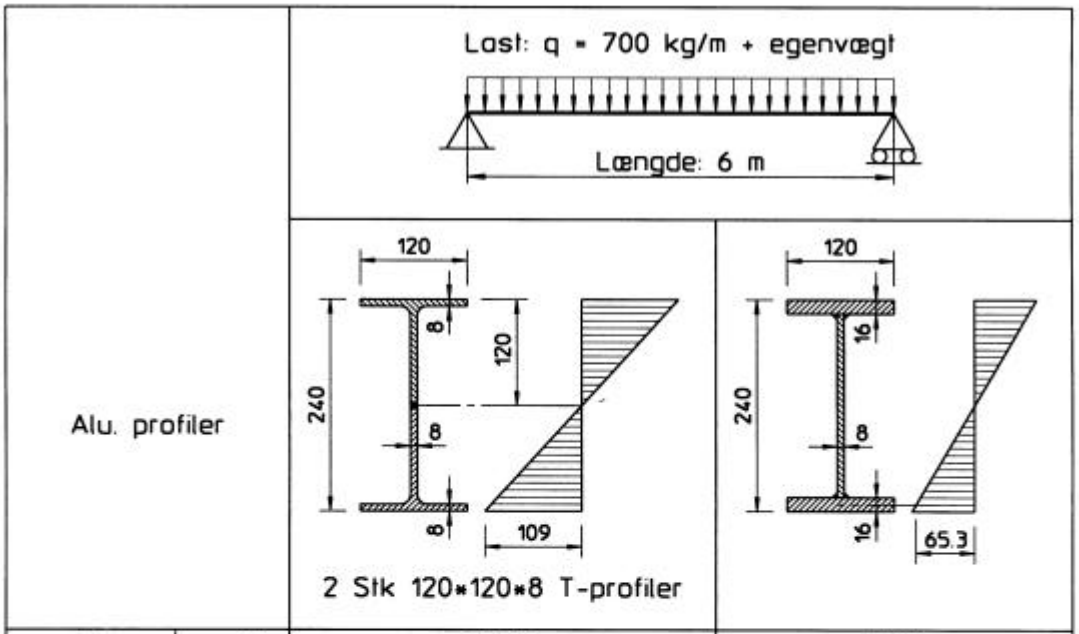
Legering	Leverings tilstand	0,2 flydespænding $R_{p0,2}$, N/mm^2		Brudstyrke R_m , N/mm^2	
		Ikke svejst	Svejst	Ikke svejst	Svejst
5083	O/H111	125	125	275	275
5083	H116/H321	215	125	305	275
6061	T5/T6	240	125	290	160

Tabel 3 - Styrke af forskellige legeringer i svejst og ikke-svejst tilstand

Det betyder, at der skal tages særlige forholdsregler ved anvendelse af hærdede legeringer, så svejsninger placeres på steder i konstruktionen, hvor spændingsniveauet er lavt. I modsat fald må der dimensioneres efter styrkeegenskaberne efter svejsning, og så går noget af fordelen tabt. Fremstilling af et I-profil ved sammensvejsning af to T-profiler vil f.eks. være bedre end sammensvejsning af to flanger og en kropplade.

Figur 3 viser et eksempel med to aluminiumsbjælker, der er udsat for den samme bøjningsbelastning som bjælkerne i Figur 1 og dimensioneret efter den tilladelige spænding. Begge er fremstillet i en 6061-T6 legering.

Forskellen er, at svejsningen i den første bjælke er placeret rigtigt i neutralaksen, hvor bøjningsspændingerne er lave og forringelsen af materialeegenskaberne i HAZ derfor er uden betydning. Den anden bjælke har svejsningerne placeret uoptimalt og er dermed dimensioneret efter den fulde effekt af HAZ. Bemærk forskellen i dimensionering og vægt.



A	mm2	3760	5504
E	N/mm2	7,0 E4	7,0 E4
I	mm4	3,44 E7	5,43 E7
W	mm3	2,86 E5	4,52 E5
E*I	N*mm2	2,41 E12	3,80 E12
Vægt pr. m	kg/m	10,2	14,9
Bøjnings spænding	N/mm2	109 (yderste fiber)	65 (1/2 flangetykkelse)
Nedbøjning	mm	49	31
1. ordens egenfrekv.	Hz	4,4	5,5

Figur 3 - Rigtig og uoptimal placering af svejsninger under hensyntagen til HAZ

For elementer f.eks. søjler, der er udsat for tryk, må der som en tommelfingerregel regnes med en bæreevneforringelse på 10%, fordi den reducerede flydespænding betyder en reduktion af stabiliteten.

Elementer i træk med svejsninger på tværs af trækretningen vil skulle dimensioneres efter den fulde effekt af HAZ.

Temperaturbestandighed & brandkrav

Brudstyrken, flydespændingen og elasticitetsmodulet for aluminium er højest ved det absolutte 0-punkt (0° K) og aftager gradvist efterhånden som temperaturen stiger op mod smeltepunktet på ca. 650 °C.

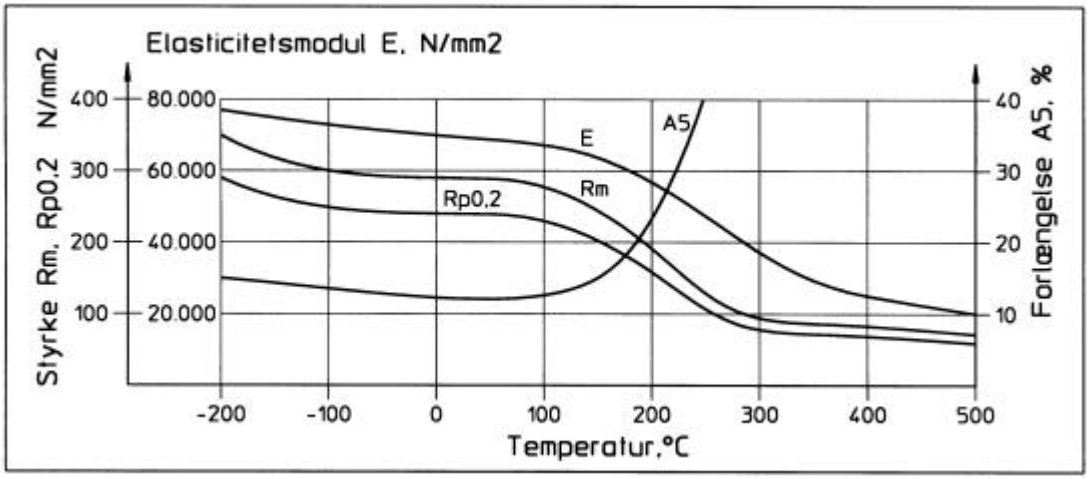
(Til sammenligning ligger stål smeltepunkt på ca. 1.500 °C)

Omvendt øges brudforlængelsen (A_5) ved stigende temperatur.

Aluminium udviser i modsætning til mange ståltyper ingen tendens til sprødhed ved lave temperaturer.

Aluminiums gode styrkeegenskaber (trækstyrke og flydespænding) aftager relativt brat ved temperaturer over ca. 150 °C hvilket dog under normale driftbetingelser kun er et problem i områder omkring varme maskinkomponenter. Dog sker der ved vedvarende høj statisk belastning en mærkbar krybning allerede ved væsentlig lavere temperaturer.
Ved temperaturer over 250 - 300 °C er styrken i praksis reduceret så voldsomt, at en bærende aluminiumskonstruktion, der er dimensioneret til at anvendes ved "stuetemperatur", må forventes at bryde sammen.
Dette forhold stiller meget større krav til brandisoleringen af bærende elementer end ved stålkonstruktioner, hvilket øger produktionsomkostningerne og vægten.
På trods af de korrosionsmæssige problemer med at kombinere stål og aluminium vil det derfor ofte være en fordel at indbygge vitale bærende elementer f.eks. søjler i stål.

Figur 4 viser elasticitetsmodulet, brudstyrken, flydespændingen og brudforlængelsen (A_5) som funktion af temperaturen. Kurverne varierer en del fra legering til legering og skal derfor kun ses som et eksempel på det typiske forløb.



Figur 4 - Materialeegenskaber som funktion af temperaturen

Varmeledningsevne

Varmeledningsevnen for aluminiumslegeringer ligger mellem 120 W/m*K (visse magnesiumlegerede legeringer) og 230 W/m*K (ren aluminium).
Til sammenligning er varmeledningsevnen for stål i størrelsesordenen 50 W/m*K.

Det betyder, at der ved svejsning skal tilføres ret store varmemængder, fordi en del af varmen forsvinder ud i den omkringliggende struktur.
Ved manuel MIG-svejsning med lave svejseparametre (200 – 300 mm/min, 120 – 160 A) og ren argon som beskyttelsesgas, vil den tilførte varmemængde være så lille, at det være

vanskeligt at opnå en tilstrækkelig god indtrængning, fordi svejsezonen ikke rigtigt bliver varm nok.
Automatsvejsning med højere svejseparametre og dermed mere intensiv varmetilførsel og/eller tilsætning af helium til beskyttelsesgassen løser problemet.

Den høje varmeledningsevne har også indflydelse på brandisolering og isolering mod kondens.
Bredden af randisoleringen på plader, der står vinkelret på brand- eller kuldepåvirkede plader skal således være væsentlig større, end hvis der var tale om stål.

Kærvfølsomhed, udmattelse & pålidelighed

Aluminiums udmattelsesegenskaber er ikke så gode som stål og man kan sige, at aluminium generelt har en relativt lav udmattelsesstyrke set i forhold til trækstyrken.
Derfor stilles der i forhold til stål højere krav til detaljeudformningerne og arbejdsudførelsen. ”Billige” detaljeløsninger med ”hårde” punkter, der under visse driftbetingelser er acceptable i stål, kan være uanvendelige under de samme betingelser i aluminium. I den forbindelse skal man også tænke på, at der udover en spændingskoncentration som følge af geometriske forhold ofte også vil være tale om en materialeforringelse som følge af svejsning.

Udmattelsesstyrken forringes ved stigende temperatur og allerede ved 150 °C kan der være tale om en forringelse på 15 %. Det kan være et problem f.eks. ved motorfundamenter hvor udmattelsesbelastningen i forvejen er høj.

Udmattelsesstyrken falder desuden under korrosive forhold, idet den beskyttende oxydhinde kan brydes under hver belastning.

Længdeudvidelseskoefficient

Længdeudvidelseskoefficienten for aluminium er ca. 23,5 x 10^{-6}/°C hvilket er ca. det dobbelte af stål.
Det har betydning ved lange spænd, hvor der må beregnes dobbelt så stor plads til længdeudvidelse. Desuden vil der, når stål og aluminium forbindes f.eks. vha. sprængplaterede overgangsprofiler, optræde store indre spændinger ved f.eks. solopvarmning.

Hårdhed

Aluminium er blødt sammenlignet med stål hvilket betyder risiko for overfladeskader ved håndtering og montage. Skibe i aluminium er som følge af den bløde overflade uegnede til sejlads i is.

Svingninger, vibrationer og dæmpningsfaktor

Egenfrekvenserne af konstruktionselementer er proportional med elasticitetsmodulet ”E” og inertimomentet ”I”, men omvendt proportional med den medsvingende masse.
Aluminiums lave elasticitetsmodul modsvares altså af den lave vægt.
En aluminiumskonstruktion, der er designet efter et deformationskriterium, vil som hovedregel have et højt inertimoment og dermed en egenfrekvens, der er højere end for den tilsvarende stålkonstruktion - se eksemplet i Figur 1.

Designes der derimod ud fra et spændingskriterium, vil egenfrekvensen pga. det lavere inertimoment generelt være mere på niveau med den tilsvarende stålkonstruktion - se eksemplet i Figur 3.

Aluminium har en lav dæmpningsfaktor hvilket betyder, at vibrationer forplanter sig langt i en aluminiumskonstruktion, og er længe om at dø ud. Derfor er det meget vigtigt, at egenfrekvenserne holdes udenfor (og helst over) et frekvensbånd på ±20% fra ekscitationsfrekvenserne (hvilket i øvrigt også gælder for stål).

Korrosion

Pga. aluminiums store oxygen affinitet (tendens til at danne bindinger med ilt) vil aluminiumslegeringer hurtigt af sig selv blive dækket af en tynd, men kompakt og uigennemtrængelig beskyttende hinde af aluminiumsoxyder - AL_2O_3, der forhindrer yderligere oxidering. Hinden er uopløselig i vand, resistent overfor mange kemikalier og forbliver stabil ved pH-værdier mellem 4 og 9. Hvis oxidlaget beskadiges, vil det hurtigt blive gendannet, hvis blot der er ilt til stede i omgivelserne.
Derfor er aluminium generelt langt mere modstandsdygtigt mod korrosion i f.eks. saltvandsmiljø end stål - specielt for aluminium i 5000 serien. Ekstruderede profiler af 6000 serien er dog lidt mere følsomme end 5000 serien, men anvendes ikke så ofte i områder med direkte kontakt til saltvand.

De mest almindelige former for korrosion i aluminium er:

- Galvanisk korrosion
- Pitting (grubetæring)
- Spaltekorrosion
- Spændingskorrosion

Galvanisk korrosion: Aluminium er et meget ”uædelt” metal dvs. har et stort elektronegativt potentiale. Faktisk er kun zink mere uædelt. Derfor vil kontakt med mere elektropositive - ”ædle” - materialer f.eks. kobber og stål give anledning til galvanisk korrosion, hvis der samtidigt er fugtighed til stede. Derfor skal der, når f.eks. stål og aluminium forbindes, altid sørges for enten fuldstændig elektrisk adskillelse f.eks. v.h.a. neopren pakninger eller en samling så tæt, at der ikke er plads til en elektrolytvæske imellem fladerne. Det sidste udnyttes i de såkaldte sprængplaterede overgangsprofiler (også kaldet bi-metals profiler).

I forbindelse med saltvand vil tilstedeværelsen af selv små mængder rustfrit stål eller endnu værre kobber (kabler, rør, rørfittings, udrustning etc.) kunne få voldsomme konsekvenser i form af meget hurtig korrosion. Ofte vil det ikke være tilstrækkeligt blot at montere offeranoder af zink, og der må direkte påtrykkes en elektrisk spænding for at undgå korrosion.

Ved rørsystemer med strømmende væske må aluminiumsrør <u>aldrig</u> anvendes efter (set i strømningsretningen) rør i mere elektropositive materialer f.eks. kobber.
Det omvendte giver ikke korrosion forudsat, at væsken strømmer og ikke står stille.

Pitting (grubetæring)**:** Pitting er en hyppig form for korrosion, der opstår under indflydelse af en elektrolyt. Lokale angreb af kloridioner skaber små huller i den beskyttende oxidhinde, hvorved korrosionen kan få fat i den underliggende ubeskyttede aluminium. Derved dannes

små tragtformede huller (eller gruber), der trænger lidt ind i materialet, men som ikke nedsætter styrken væsentligt.
Katodisk beskyttelse og effektive dræn, så der ikke står vand, kan modvirke pitting.

Spantekorrosion: Hvor to aluminiumsoverflader ligger tæt sammen, kan der i forbindelse med fugtighed, der trænger ind imellem fladerne, dannes såkaldt spaltekorrosion som følge af forskellen i iltkoncentration i overfladerne og i fugtigheden i spalten.
Korrosionsformen kan forhindres ved at tætne revner med en fugemasse.

Spændingskorrosion: Spændingskorrosion er en meget speciel form for korrosion, hvor samspillet mellem længere tids trækspændinger, miljøet og metallurgiske forhold kan danne revner, der kan forringe styrken af en konstruktionsdel. Visse aluminiumslegeringer er mere følsomme end andre. Det gælder f.eks. de hårde modningshærdelige højstyrkelegeringer i kloridholdigt miljø.

Strengpresning (ekstrudering)

Aluminium har den egenskab, at det kan strengpresses. Processen går ud på, at aluminium opvarmes til 450-500 °C og i blød, men ikke-smeltet form presses gennem en stålmatrice, der giver emnet sin ydre form.
Efter afkøling strækkes emnet.
Hule profiler (rør) kan fremstilles ved hjælp af en indre matrice, der er forbundet til den ydre via smalle ”broer”, som den bløde aluminium flyder rundt om under presningen.
Det giver nogle enestående muligheder for at designe profiler, der er skræddersyede til de enkelte formål. De største profiltværsnit, der kan fremstilles, ligger omkring 400 x 150 mm.

Skæring og bearbejdning af aluminium

Aluminium kan ikke skærebrændes (oxygen/acetylen skæring) som stål, fordi man ikke opnår aluminiums høje forbrændingstemperatur.
Derfor må aluminium skæres på anden måde f.eks. med plasmaskæring, med skæreskiver eller saves. I den forbindelse betyder det elektronegative potentiale, at skæreværktøjet ikke må indeholde kobber eller kobberlegeringer.
Vandstråleskæring og laserskæring kan anvendes i fabriksmiljø.

Overfladebehandling

Til indendørs anvendelse overfladebehandles næsten udelukkende af æstetiske årsager eller for at gøre overfladen mere slidstærk. Udendørs vil det på trods af aluminiums basalt set gode korrosionsbestandighed ofte være nødvendigt med en yderligere korrosionsforebyggelse i form af maling, chromatering eller anodisering (eloxering). Visse højstyrkelegeringer af 7000 serien er så følsomme for korrosion, at de som hovedregel altid skal males.
Maling er ikke så uproblematisk som ved stål, og der ses tilfælde, hvor malingen falder af i store flager. Forbehandlingen er ekstremt vigtig. En grundig rensning efterfulgt af en kemisk eller elektrokemisk forbehandling er nødvendig for et varigt resultat udendørs. Hvis det er nødvendigt med almindelig håndværksmæssig maling, kan det gøres ved først at affedte overfladen og påføre en speciel primer (ætsegrunding), herefter grundmaling og til sidst dækmaling.

Materiale- og produktionsomkostninger

Aluminiumsplade koster pr. vægtenhed ca. 6 gange så meget som stål. Valsede profiler 7-8 gange så meget og ekstruderede profiler ca. 10 gange så meget. Det betyder, at materialeomkostningerne for en aluminiumskonstruktion, der vejer 2/3 af en konstruktion i HTS vil være minimum 4-5 gange så høje.
I forhold til vægten vil forbruget af mandetimer erfaringsmæssigt være mindst dobbelt så højt som for HTS hvilket bl.a. skyldes den meget tættere stiverafstand.
Kombinationen af de meget højere materialeomkostninger og det dobbelte forbrug af mandetimer pr. kg betyder, at en vægtbesparelse på ca. 30% skal holdes op imod rundt regnet den dobbelte totale produktionspris !

Disse tal kan dog forbedres ved kreativ anvendelse af ekstruderede profiler.

Store helt plane pladepaneler (inkl. langsgående stivere) på f.eks. 12 x 3 m bygget op af ekstruderede profiler, der er sammensvejste vha. Friction-Stir-Welding (friktionssvejsning), kan købes færdige og vil i mange tilfælde kunne reducere produktionstiden meget væsentligt.

Reparation

Reparation kræver kvalificeret personale.

Ved reparationer af revner, der er opstået pga. udmattelse, vil det generelt **ikke** være tilstrækkeligt blot at opsvejse revnen. Det skyldes, at det omkringliggende materiale også vil være udmattelsespåvirket, og dermed svækket. Derfor vil der være stor sandsynlighed for, at der kort tid efter reparationen vil opstå nye revner lige udenfor reparationssvejsningen. Reparation af udmattelsesrevner kræver derfor omtanke, og det vil ofte være nødvendigt enten at erstatte en del af det udmattelsessvækkede materiale omkring revnen og/eller at forstærke konstruktionen, så spændingsniveauet nedsættes.

Hvis der i konstruktionen er anvendt extruderede profiler, kan disse være meget vanskelige måske endda umulige og i bedste fald dyre at skaffe senere.

•