

1.2 Sveising og materialegenskaper

Et godt resultatet ved sveising av aluminium avhenger av type legering og dens leveringstilstand.

Et godt resultat er også avhengig av de fysiske egenskapene til aluminium som igjen er lite avhengig av type legering.

1.2.1 Fysiske egenskaper

1a Vekt

Egenvekten til aluminium er bare 1/3 av den til stål. Dette gjør aluminium til et interessant designmateriale. Ren aluminium har også tilsvarende dårlige fasthetsegenskaper, men det produseres i dag aluminiumlegeringer som er like sterke som de vanlige konstruksjonsstål. Det er da dessverre også slik at når fastheten går opp, så går sveiseegenskapene ned.

De sterkeste aluminiumlegeringene benyttes i konstruksjoner hvor konstruksjonens vekt er avgjørende. Alternative sammenføyningsmetoder til de vanskeligst sveisbare legeringene kan være nagling, bolting eller liming.

1b Smeltetemperatur

For ren aluminium er smeltetemperaturen ca. 660°C . For aluminiumlegeringer ligger den i området $580 - 660^{\circ}\text{C}$. Det er da lett å dra slutningen at aluminiumlegeringer er lettere å sveise enn stål som har smeltetemperatur rundt 1500°C . Dessverre er ikke dette tilfelle. Vi skal videre se på flere andre faktorer som har innflytelse på sveiseegenskapene.

1c Varmeledningsevne

Aluminium leder varme 4 ganger bedre enn stål. Ved sveising får dette negativ innflytelse. Sammenlignet med stål må det derfor tilføres varme mye hurtigere for å få smeltet grunnmaterialet ved sveising av aluminium. En del av den positive gevinst ved lavt smeltepunkt blir derfor redusert. Dette kan bøtes på ved å velge en sveisemetode som gir en mer konstant varmetilførsel, for eksempel TIG- eller MIG-sveising.

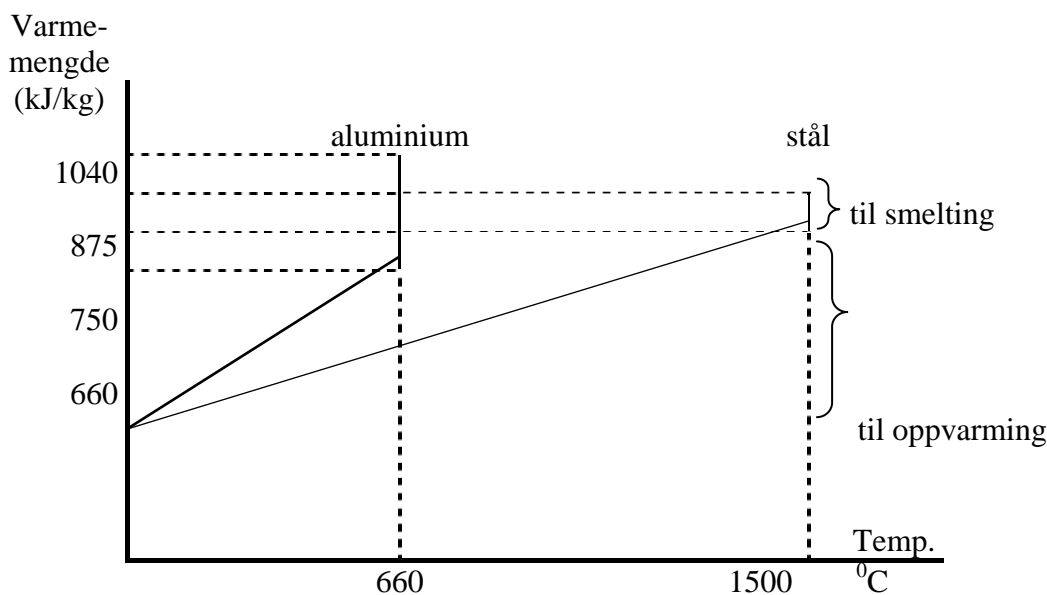
1d Varmekapasitet

Det trengs 2 ganger så stor varmemengde, varmekapasitet, for å varme opp en aluminiumslegering 1°C i forhold til i stål. Se Figur 1.2.1. Dette vil føre til ytterligere reduksjon av gevinsten ved den lave smeltetemperaturen.

1e Smeltevarme

Det trengs 3 ganger så stor varmemengde, smeltevarme, til for å smelte en aluminiumslegering i forhold til stål. Dette er enda en reduksjon av gevinsten ved den lave smeltetemperaturen.

Vi kan sette opp et energiregnskap for å se hvor mye varme som skal til for å smelte en aluminiumslegering i forhold til stål. Resultat blir da at det trengs mer varme for å smelte en aluminiumslegering pr. kg. Se Figur 1.2.1.



Figur 1.2.1
Energiregnskap mellom aluminiumslegering og stål.

Figur 1.2.1 gir ikke et sant bilde ved sveising. Varmemengden er angitt pr. kg materiale. Hvis vi tar hensyn til at aluminiumlegeringer veier 1/3 av stål med samme volum, vil aluminiumlegeringer bare trenge 1/3 av varmemengden i forhold til stål. Til gjengjeld ledes varmen 4 ganger forttere bort i aluminiumlegeringer. Dette fører til at vi må tilføre mye ekstra varme.

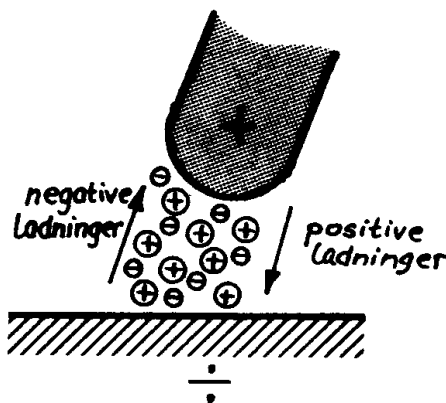
Det hevdes derfor at varmemengden som skal til for sveising av aluminiumlegeringer og stål er tilnærmet lik.

1f Smeltetemperatur til aluminiumoksid

Overflaten til aluminium blir naturlig dekket av et oksidbelegg. Dette belegget har smeltepunkt på ca. 2050°C, altså mye høyere enn aluminium. Dette skaper en del problemer ved sveising hvis vi ikke sørger for å fjerne dette belegget før og under sveising.

Ved gassveising benytter vi flussmiddel som løser oksidet. Flammen beskytter smeltebadet fra oksidering under sveising.

Ved sveising med dekkede elektroder, er det stoffer i elektrodedecket som løser opp oksidbelegget. Ved å gjøre elektroden positiv vil det føre til oppbryting av oksidbelegget. Ved sveising med TIG eller MIG benyttes edelgass, argon og argon- heliumblandinger, for å holde luftens oksygen borte. Ved å koble elektroden til pluss pol brytes oksidbelegget opp. Elektronene vil gå fra arbeidsstykket til elektroden, som da blir den varmeste polen, se Figur 1.2.2.



Figur 1.2.2
Elektrode koblet til pluss-pol. (10)

Dette er gunstig ved MIG-sveising da elektroden skal smelte og bli til tilsettmateriale. Ved TIG-sveising er det derimot mindre gunstig, da elektroden er av wolfram og bør derfor ikke smelte. Wolfram vil forurensne smeltebadet og forstyrre lysbuen. Derfor benyttes vekselstrøm ved TIG-sveising av aluminium. Vekselstrøm fører til at elektrodens polaritet skifter, dermed får oppbryting av oksidbelegget på arbeidsstykket samtidig som elektroden ikke blir for varm.

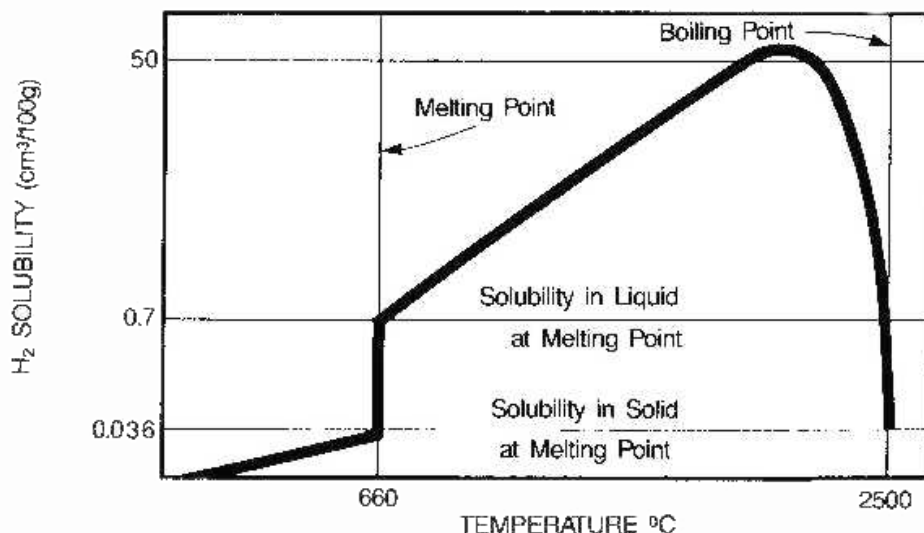
Uansett sveisemetode er det viktig at oksidbelegget fjernes mekanisk ved sliping og børsting med nylonbørster eller rustfri stålbørste like før sveising.

1g Utvidelseskoeffisienten

Aluminium utvider seg ca. dobbelt så mye som stål ved oppvarming samme oppvarming. Ved avkjøling krymper aluminium tilsvarende. Ved sveising vil det derfor lett kunne oppstå store krympekrefter som kan forårsake store deformasjoner og føre til sprekker. Vi kan forebygge dette ved å velge en sveisemetode med konsentrert varmetilførsel, og å sveise så hurtig og kaldt som mulig. Ved innspenning av arbeidsstykkene, vil vi kunne redusere deformasjonene. Vi hindrer da den frie krympingen, men dette betyr større spenninger og økt sprekkrisiko.

1h Hydrogenløslighet

Gass som hydrogen, H, oksygen, O, og nitrogen, N, i luft løses alle lett opp i smeltet metall, lettere jo høyere temperaturen er. Smeltet aluminium løser ca. 20 ganger mer H enn størknet aluminium. H som løses i smelten vil som regel ikke få tid til å slippe ut igjen ved avkjøling og størkning av sveiseforbindelsen. Resultatet blir gassblærer, porer, i sveisen. Jo mer H som slipper inn og ikke slipper ut, jo flere porer blir det i sveisen.



Figur 1.2.3
Hydrogenløslighet i ren aluminium. (6)

H kan tilføres smeltebadet ved sveising i form av for eksempel fuktighet, maling, olje, fett og støv. Det stilles derfor bl.a. store krav til renslighet ved sveising av aluminium. Hydrogenporer har ført til at mange bedrifter har tapt store summer.

1.2.2 Sveisbarhet av Aluminiumlegeringer

Aluminiumlegeringer er generelt godt sveisbare hvis følgende faktorer er oppfylt:

- I Sveising fører ikke til sprekker, porer eller bindefeil.
- II Grunnmaterialet blir ikke ødelagt i den varmepåvirkede sonen.
- III Sveiseavsettet har samme mekaniske egenskaper som grunnmaterialet (arbeidsstykket)
- IV Sveiseavsettet skal ha like gode korrosjonsegenskaper som grunnmaterialet.

Ved sveising av de forskjellige aluminiumlegeringene vil varmen som tilføres bre seg utover i grunnmaterialet ved siden av sveisen. Temperaturen i den varmepåvirkede sonen vil være avhengig av avstanden fra selve sveisen og utover i grunnmaterialet. De forskjellige legeringene vil reagere forskjellig på temperaturene utover i varmepåvirket sone. For de fleste vil resultatet bli redusert styrke i sveiseforbindelsen. Dette avhenger av legeringstype og hvilke tilstand legeringen er levert i. Vi skal nå se nærmere på dette:

2a Sveising av ikke utherbare legeringer

Disse legeringene lar seg ikke herde ved varmebehandling. Noen eksempler på vanlige legeringer av denne typen:

- AlMg (aluminium-magnesium)
- AlMn (aluminium-mangan)
- AlSi (aluminium-silisium)
- AlMgMn (aluminium-magnesium-mangan)
- (Al, ren aluminium)

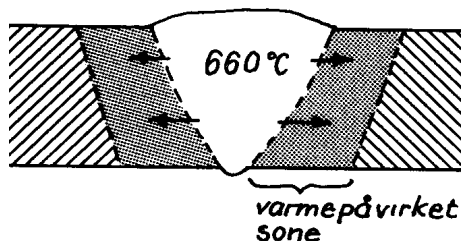
Disse legeringene levers i tilstandene:

- a-1 mykglødet
- a-2 kaldbearbeidet

2a-1 Grunnmateriale levert i mykglødet tilstand

Sveising på aluminiumlegeringer levert i denne tilstanden vil ikke ha noen innflytelse på egenskapene i varmpåvirket sone.

Grunnmaterialet er i sin bløteste tilstand og vil ikke herdes ved varmpåvirkningen.

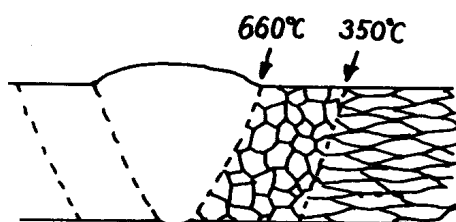


Figur 1.2.4

Varmpåvirket sone i mykglødet tilstand. (10)

2a-2 Grunnmateriale levert i kaldbearbeidet tilstand

I denne tilstanden har grunnmaterialet gjennomgått en formingsprosess i kald tilstand, for eksempel valsing. Denne prosessen har medført at kornstrukturen består av langstrakte korn i valseretningen. Dette har ført til en styrkeøkning, større fasthet og hardhet, i legeringen. Ved oppvarming til 350-450°C, vil de langstrakte deformerte kornene igjen bli "runde", og styrken igjen den samme som i mykglødet tilstand. Det har foregått en rekrystallasjon. Dette er tilfelle ved sveising av kalddeformerte aluminiumlegeringer.



Figur.1.2.5

Varmpåvirket sone i kaldbearbeidet tilstand. (10)

I kaldbearbeidet tilstand leveres aluminiumlegeringer i 1/4-hard-, 1/2-hard- 3/4 -hard- eller hard tilstand. Disse betegnelsene er avhengig av deformasjonsgraden, hvor hardt de er valset. Selv om styrken i varmpåvirket sone blir redusert, blir kaldvalset materiale sveist. Den tapte styrken kan kompenseres ved å:

- øke godstykkelsen i det svekkede området
- sørge for, hvis mulig, at sveisen plasseres på et sted hvor belastningen er mindre

Norsk standard (og andre lands standarder), spesifiserer materialfastheten i den varmpåvirkede sonen, σ_{BV} , til:

$$\sigma_{BV} = \beta \cdot \sigma_B$$

hvor σ_B er strekk- (brudd-) fastheten for ikke varmpåvirket materiale

β er en reduksjonsfaktor avhengig av type legering og legeringens leveringstilstand, verdier i området 0,5-0,9.

Legeringen AlMn1 har for eksempel $\beta=0,7$ i 1/2-hard tilstand og 0,5 i hard tilstand.

2b Sveising av utherdbare legeringer

Disse legeringene lar seg herde ved varmebehandling. Noen eksempler på vanlige legeringer av denne typen:

- AlCu (aluminium-kopper, også kalt "duraluminium")
- AlCuMg (aluminium-kopper-magnesium)
- AlMgSi (aluminium-magnesium-silisium)
- AlZnMgCu (aluminium-sink-magnesium-kopper)

Disse legeringene levers i tilstandene:

- b-1 mykglødet
- b-2 kaldutherdet
- b-3 varmutherdet
- b-4 - kaldutherdet og kaldbearbeidet
- varmutherdet og kaldbearbeidet

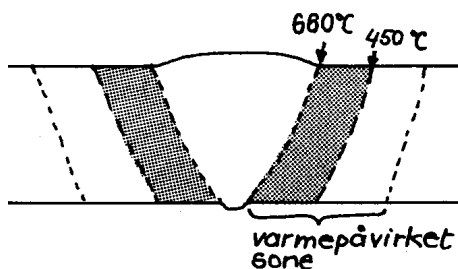
Fasthet og styrke øker nedover i rekken.

For disse legeringene gjelder at innherding skjer ved temperatur 450-530°C, avhengig av legering, og deretter rask avkjøling. Ved etterfølgende lagring ved romtemperatur, øker hardheten i løpet av noen dager til uker. Dette kalles kaldutherding.

Hvis det etter innherding foretas oppvarming av legeringen til en temperatur på 120-185°C (avhengig av legering), øker også hardheten. Dette kalles varmutherding. Ved varmutherding oppnås det høyere fasthet og hardhet. Prosessen foregår hurtigere, i løpet av noen timer.

2b-1 Grunnmateriale levert i mykglødet tilstand

Grunnmaterialet er nå i sin bløteste tilstand. Ved sveising er betingelsene for innherding til stede i området nærmest sveisen hvor temperaturen er kommet opp i 450-530°C. Ved etterfølgende lagring ved romtemperatur, vil det foregå en kaldutherding som fører til at hardheten øker i denne sonen. For legeringer som blir mye hardere i kaldutherdet tilstand enn i mykglødet tilstand, kan dette være uheldig for spenningstilstanden ved strekkbelastning.



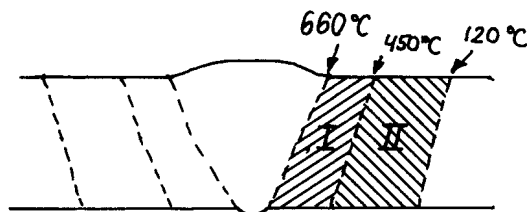
Figur 1.2.6

Varmepåvirket sone i mykglødet tilstand. (10)

2b-2 Grunnmateriale levert i kaldutherdet tilstand

Styrken/hardheten i denne tilstanden er oppnådd ved:

- innherding, oppvarming til 450-530°C og rask avkjøling.
- utherdning, lagring ved romtemperatur i dager eller uker.



Figur 1.2.7

Varmepåvirket sone i kaldttherdet tilstand. (10)

I Figur 1.2.7 er varmpåvirket sone delt opp i 2 soner.

- I sone I vil betingelsene for innherding være tilstede. Etter avkjøling vil materialet herdes i løpet av dager eller uker. Vi får en ny kaldttherding.
- I sone II vil ikke temperaturen være tilstrekkelig høy for innherding. Her vil det skje en overherding / mykgløding med tap av styrke og hardhet som følge. Styrken kan bare gjenvinnnes ved ny varmebehandling av hele arbeidsstykket.

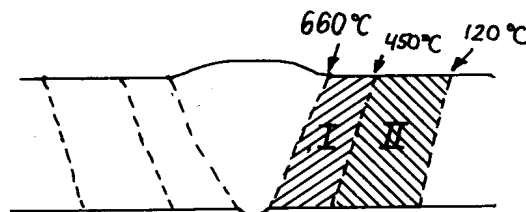
Hvis legeringen er av en type som har stor forskjell i styrke/hardhet i mykglødet og kaldttherdet tilstand, vil sveising gi stor svekkelse av materialstyrken i varmpåvirket sone. Den gruppen legeringer som egner seg best for sveising i kaldttherdet tilstand, er AlZnMg. Disse legeringene er "selvherdende", dvs. at både sone I og II har oppnådd ny kaldttherding etter ca. 4 uker.

Ved dimensjonering benyttes reduksjonsfaktor β (etter Norsk standard /andre lands standarder) for den enkelte legering. I varmtherdet tilstand vil materialstyrken ved sveising måtte reduseres med en faktor $\beta=0,7$ for legeringer av typen AlMgSi og AlZnMg, mens noen andre legeringer krever ny varmebehandling.

2b-3 Grunnmateriale levert i varmtherdet tilstand

Styrken/hardheten i denne tilstanden er oppnådd ved:

- innherding, oppvarming til 450-530°C og rask avkjøling.
- varmtherding, lagring ved 120-185°C i timer.



Figur.1.2.8

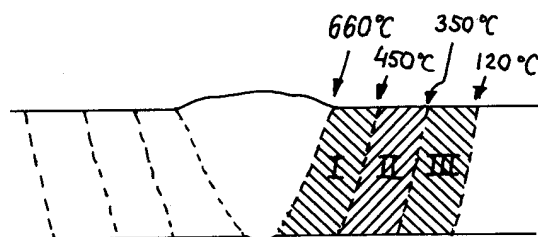
Varmepåvirket sone i varmtherdet tilstand. (10)

I Figur 1.2.8 er varmpåvirket sone delt opp i 2 soner.

- I sone I vil betingelsene for innherding være tilstede. Etter avkjøling vil materialet kaldttherdes. Styrken / hardheten som oppnås vil ikke være like stor som grunnmaterialelets, som er i varmtherdet tilstand.
- I sone II vil vi få overherding/mykgløding med svekket styrke som følge. Forskjellen i styrke mellom mykglødet og varmtherdet tilstand vil for disse legeringene være stor. Sveising av disse legeringene frarådes.

2b-4 Grunnmateriale levert i kombinert utherdet og kaldbearbeidet tilstand

I denne tilstanden vil legeringen ha fått den største styrke/hardhet som kan oppnås. Dette skjer gjennom innherding, kaldforming og utherdning (kald eller varm).



Figur.1.2.9

Varmepåvirket sone i kaldutherdet / varmutherdet og kaldbearbeidet tilstand. (10)

For kaldutherdet og kaldbearbeidet materiale:

- I sone I og II vil styrken/hardheten oppnådd ved kaldbearbeiding gå tapt
- I sone II og III vil styrken/hardheten oppnådd ved kaldutherdning gå tapt

For varmutherdet og kaldbearbeidet materiale:

- I sone I og II vil styrken/hardheten oppnådd ved kaldbearbeiding gå tapt
- I sone I, II og III vil styrken/hardheten oppnådd ved varmutherdning gå tapt

1.2.3 Sveisemetodenes innvirkning på sveisbarheten

I hvor stor grad strukturen i den varmepåvirkede sonen blir ødelagt ved sveising, avhenger av:

- bredden av varmepåvirket sone
- tiden temperaturen blir holdt i varmepåvirket sone

Det er et ønske å holde begge disse faktorene, bredde og tid, minst mulig ved sveising av aluminium. Vi sier at aluminium bør sveises så kaldt som mulig. Dette har direkte sammenheng med den varmemengden som tilføres ved sveising. For å redusere uønsket varmepåvirkning, bør vi tilføre minst mulig varme på minst mulig areal.

3a Gassveising og buesveising med dekkede elektroder

Disse sveisemetodene anbefales kun brukt for reparasjonsveising. Begge metodene har liten effekteffektkonsentrasjon og gir bred varmepåvirket sone. Som uttrykk for effekteffektkonsentrasjonen kan vi studere data for anbefalt forvarming. For gassveising er det foreslått en forvarmingstemperatur på 300-400°C for godstykkelse over 3,5mm.

Sveisemetodene er derfor veldig uheldig for sveising av kaldbearbeidede og utherdete legeringer pga. svekkelse av styrke/hardhet.

Gassveising er den sveisemetode som tilfører mest varme. Det fører til den største varmeutvidelsen og til største krymping. Dette medfører igjen store deformasjoner og spenninger. Den største ulempen ved gassveising er at vi må benytte flussmiddel for å løse opp oksidbelegget. Hvis noe flussmiddel blir igjen på overflaten, kan dette forårsake kraftig korrosjonsangrep.

Sveising med dekkede elektroder har den ulempen at det lett kan oppstå porøsitet i sveiseavsettet. Dekket på elektroden tar lett opp fuktighet som overføres til smeltebadet i form av hydrogen- og oksygen-gass. Resultatet kan bli porer og såkalt "hydrogensprøhet". Det stilles derfor ofte krav til at elektroden tørkes og oppbevares på forskriftsmessig måte. Det er

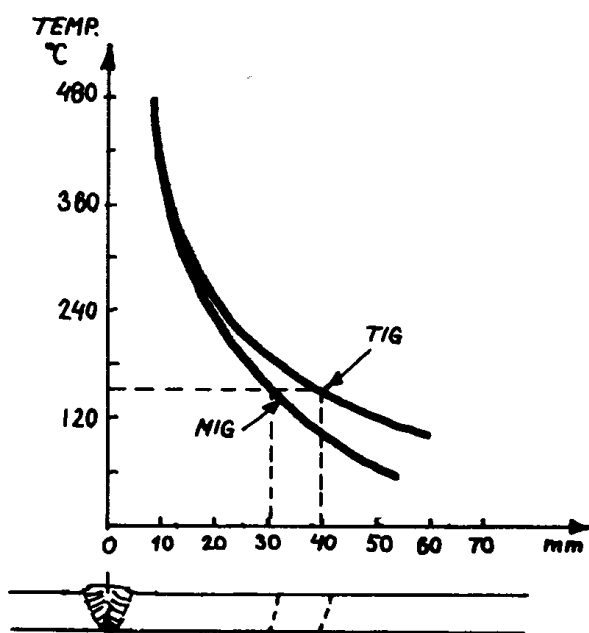
også viktig med slaggrensing da slaggen virker etsende og derfor vil medføre korrosjonsangrep.

3b MIG- og TIG-sveising

MIG og TIG er de anbefalte sveisemetodene ved sveising av aluminium. Begge metodene gir konsentrert effekt og god oppbryting av oksidbelegget, slik at varmpåvirkningen blir minst mulig. Når velge TIG- eller MIG-metoden, avhenger blant annet av godstykkelsen.

MIG-metoden er bedre enn TIG-metoden når det gjelder bredden av varmpåvirket sone og tiden temperaturen blir holdt i varmpåvirket sone.

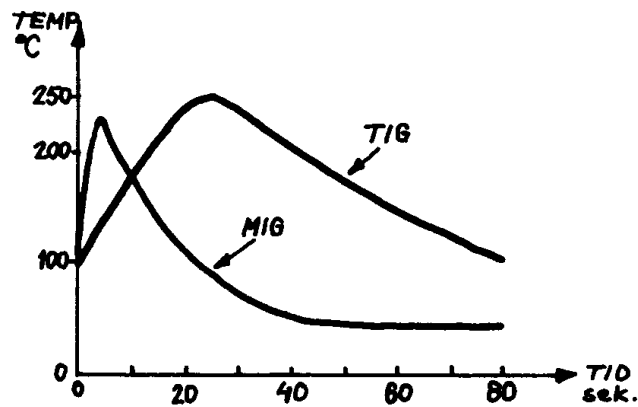
Figur 1.2.10 viser hvordan bredden av varmpåvirket sone er avhengig av sveisemetodene MIG og TIG. Prøvene er foretatt på plater med godstykkelse 6-10mm. Fra kurvene ser vi at temperaturen er 150°C i et punkt i en avstand ca. 30mm fra midt i sveisen ved sveising med MIG-metoden. Tilsvarende avstand ved TIG-metoden er ca. 40mm.



Figur 1.2.10

Bredden av varmpåvirket sone avhengig av sveisemetodene MIG og TIG. (10)

Figur 1.2.11 viser hvor lang tid varmen holder seg i materialet ved sveising med MIG- og TIG-metoden. Temperatursyklusen gjelder i en avstand på 20mm fra midten av sveisen i en 6mm tykk plate. Jo smalere varmpåvirket sone og kortere tid på temperaturen, jo mindre negativ virkning på sveiseforbindelsens styrke/hardhet.



Figur 1.2.11

Tiden varmen holder seg i materialet avhengig av metodene MIG og TIG. (10)

Som uttrykk for effektkonsentrasjonen kan vi studere data for forvarming for MIG- og TIG-metoden. For MIG-metoden er det foreslått forvarming på 150-200⁰C for tykkelser over 10mm. For TIG-metoden bør tykkelser på 15mm og over forvarmes.

Husk at ved bruk av forvarming kan hardbearbeidet og herdet materiale miste sin hardhet ved temperatur over 120-185⁰C.