

Voorverwarmen bij ferritische staalsoorten (koolstofstaal) volgens de norm EN 1011-2 , wanneer en hoe hoog?

Legeringselementen, waarom?

Voor het bereiken van een bepaalde sterkte moet men bij het smelten van een staal bepaalde legeringselementen toevoegen. Men legeert het staal. Staal bezit van huis uit een bepaald gehalte aan koolstof (C), silicium (Si), en mangaan (Mn), alsook verontreinigingen, zoals fosfor (P) en zwavel (S). Daarbij kan de staalproducent ook nog andere elementen toevoegen om bepaalde eigenschappen te bereiken. Het bekendste voorbeeld daarvan is chroom (Cr), waarmee men staal vanaf 12% roestvast kan maken (hooggelegeerd staal).

Bij de laaggelegeerde staalsoorten liggen deze gehalten wezenlijk lager dan 12% namelijk op maximaal 5% en er kunnen bovendien nog andere legeringselementen toegevoegd worden zoals molybdeen (Mo), nikkel (Ni), koper (Cu), alsook vanadium (V), om slechts de belangrijkste te noemen.

Waarom voorverwarmen?

Vooral koolstof maar ook andere elementen zorgen ervoor dat een staal bij het lassen in de warmtebeïnvloede zone (WBZ = zone direct naast de lasnaad) ook wel heat affected zone (HAZ) genoemd zeer harde structuren kent.

Deze "opharding" in de WBZ wordt hoger naarmate het gebied direct naast de lasnaad sneller afkoelt. Het warme lasgebied naast het koude plaatbereik wordt afgeschrikt omdat het koude plaatbereik warmte onttrekt uit de warmtebeïnvloede zone. Om dit afkoeleffect te vertragen moet het bereik naast de lasnaad gelijkmatig op een bepaalde temperatuur (voorwarmtemperatuur) voor het lassen voorverwarmd worden. Des te hoger er voorverwarmd wordt, des te langzamer koelt het materiaal in de warmtebeïnvloede zone af. Hierdoor wordt de vorming van opgeharde, brose en scheurgevoelige zones voorkomen.

Wanneer voorverwarmen?

De voor het desbetreffende materiaal juiste voorwarmtemperatuur is afhankelijk van:

- Andere legeringselementen en de plaatdikte
- Lasmethode (warmte inbreng/heat input)
- Type structuur, warmtebehandelingstoestand
- Type lastoevoegmateriaal (basisch, rutiel / waterstof gehalte)
- Spanningstoestand van de constructie
- Temperatuur van het onderdeel voor het lassen

Hoe hoog voorverwarmen?

In de norm EN 1011-2 vindt men voor ferritische staalsoorten een methode om de voorwarmtemperatuur vast te stellen. Al naar gelang het koolstofequivalent, de warmte inbreng, de gecombineerde dikte van de plaatdelen en het type lastoevoegmateriaal (waterstofgehalte) is in een grafiek uit te lezen welke voorwarmtemperatuur gehanteerd dient te worden.

- 1.) Omdat verschillende legeringselementen in staal allemaal een verschillende uitwerking op de te verwachten hardheid in de WBZ hebben, wordt hun werking in een zogenaamd koolstofequivalent "CE" samengevat. Met behulp van onderstaande formule kan het koolstofequivalent berekend worden.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \text{ in \%}$$

Let op: Deze formule is alleen geschikt voor staalsoorten met een koolstofpercentage van 0,05% - 0,25%. Indien van de elementen in deze formule alleen koolstof en mangaan op het certificaat van koolstof en koolstof-mangaanstaalsoorten vermeld staan dan behoort bij de berekende waarde 0,03 te worden opgeteld voor de resterende elementen. Indien staalsoorten met een verschillend koolstofequivalent aan elkaar worden gelast, behoort de hoogste waarde voor het koolstofequivalent te worden gebruikt. Deze formule voor het koolstofequivalent kan ongeschikt zijn voor staalsoorten die boor bevatten.

- 2.) De warmte inbreng (Q) wordt berekend volgens onderstaande formule waarbij de letter "U" staat voor de spanning in Volt, de letter "I" staat voor de stroomsterkte in Ampère en de letter "v" staat voor de voortloopsnelheid en is de lassnelheid mm/sec. De letter "k" staat voor het rendement van het lasproces en is dus afhankelijk van het toegepast lasproces. Het elektrodelassen en het MIG/MAG lassen heeft een procesrendement van 0,8 en het TIG lassen een procesrendement van 0,6.

$$Q = k \times \frac{U \times I}{v \times 1000} \text{ in kJ/mm}$$

- 3.) De gecombineerde plaatdikte wordt bepaald uit de som van de toegepaste plaatdiktes. Bij stompe naden worden beide plaatdikte bij elkaar opgeteld en bij hoeklassen telt men de horizontale plaat dubbel en de verticale plaat enkel bij elkaar op. Hieruit volgt logischer wijs dat bij een hoeklas de warmte sneller wordt afgevoerd en het risico op opharding groter is.
- 4.) Het waterstofgehalte van het lastoevoegmateriaal wordt uitgedrukt in ml/100gram. Deze is gekoppeld aan een letteraanduiding "H" welke op het lastoevoegmateriaal vermeldt staat. Zo staat de aanduiding "H5" voor een waterstofgehalte van 5ml/100g (d.w.z. 5 milliliter waterstof per 100 gram neersgesmolten lasmetaal). Vervolgens kan met dit gehalte het lastoevoegmateriaal ingedeeld worden in 1 van de 5 waterstofwaarden binnen de EN 1011-2. Namelijk waterstofwaarde A, B, C, D of E zie onderstaande tabel 1.

Tabel 1:

Gehalte aan diffundeerbaar waterstof ml/100g neergesmolten lasmetaal	Waterstofwaarde
> 15	A
10 ≥ 15	B
5 ≤ 10	C
3 ≤ 5	D
≤ 3	E

Let op: Massieve draden voor booglassen onder gasbescherming en voor TIG-lassen kunnen worden gebruikt met waarde D tenzij wordt aangetoond dat waarde E haalbaar is.

- 5.) Nu alle parameters bekend zijn kan de voorverwarmtemperatuur worden bepaald door een grafiek (figuur C.2.a t/m m) uit de norm EN 1011-2 te kiezen waarbij de waterstofwaarde en het berekende koolstofequivalent onder elkaar staan in de tabel. Vervolgens wordt een (denkbeeldige) lijn getrokken vanuit de horizontale as (waarde voor de warmte inbreng) en de verticale as (waarde van de gecombineerde plaatdikte). Vanuit het gebied waarin de lijnen kruisen is af te lezen welke voorverwarmtemperatuur gehanteerd dient te worden.

Voorbeeld:

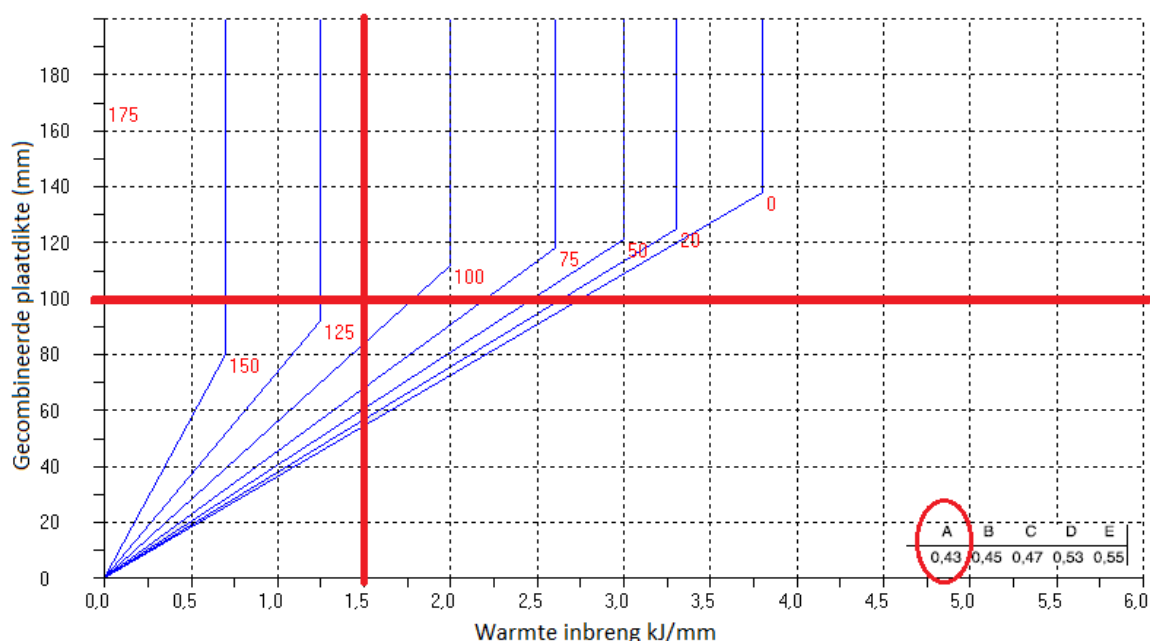
CE = 0,43

Warmte inbreng = 1,5 kJ/mm

Gecombineerde plaatdikte = 100mm

Waterstofwaarde lastoevoegmateriaal = A

Uitkomst = 125°C Voorverwarmen



Overigens, indien voorverwarmd moet worden, dan geldt dat ook voor het hechten van het onderdeel. Indien men vaststelt dat een voorverwarming vereist is, dan is het aan te bevelen een basisch lastoevoegmateriaal te gebruiken, zoals Alwell Elektrode E 7018, of een ander passend lastoevoegmateriaal. In bijzondere gevallen kunnen ook overgelegeerde lastoevoegmaterialen noodzakelijk zijn, b.v.: Alwell Elektrode E 307 (4370) of Alwell Elektrode NiCrMo 625 (Inconel 625). Belangrijk: het voorwarmen van een onderdeel veroorzaakt extra kosten. Kosten die de productie duurder maken.

Echter: het uitslijpen van scheuren en het opnieuw lassen veroorzaken kosten die een veelvoud hoger zijn dan de kosten voor een vereiste voorverwarming.

Tabel 2:

Omvat veel gebruikte on- en laaggelegeerde staalsoorten, waarvan het koolstofequivalent (CE), volgens voornoemde formule, met een gemiddeld percentage aan legeringselementen zijn berekend.

Staal	W-Nr.	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	P	CE (%)
St 52-3 / S355J2GR	1.0570	0,17	1,2	0,4					0,03	0,40
19 Mn 6 / P355GH	1.0473	0,20	1,4	0,5	0,02	0,2	0,07		0,025	0,46
GS-C25 / GP240GH	1.0619	0,21	0,7	0,55	0,25				0,025	0,38
StE 355 / P(S)355N	1.0562	0,17	1,3	0,35	0,1	0,2		0,05	0,03	0,43
StE 460 / P460N	1.8905	0,18	1,5	0,45	0,2	0,5		0,1	0,03	0,52
16MnCr5	1.7131	0,17	1,2	0,3	1,0				0,03	0,57
20MnCr5	1.7147	0,20	1,3	0,3	1,2				0,03	0,66
21NiCrMo2	1.6523	0,21	0,85	0,3	0,6	0,6	0,2		0,03	0,55