



Legeringselementen in staal

Austenietvormers

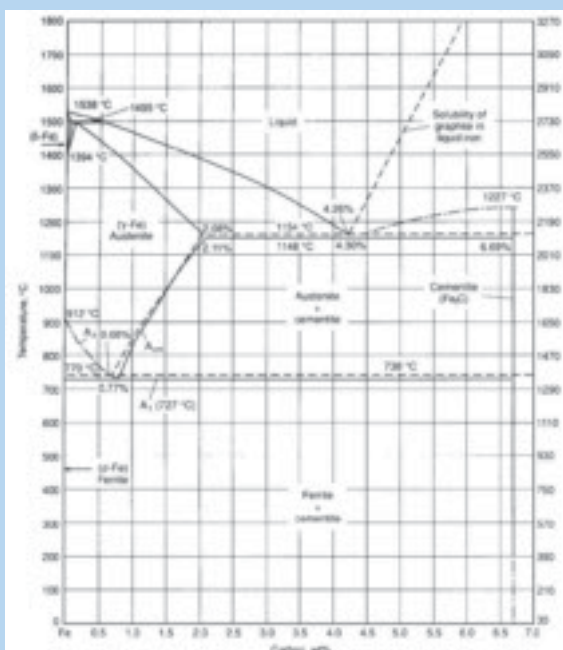
Voordat er kan worden gelast, zal er enige voorkennis moeten zijn van het te lassen basis-materiaal en hoe dit tot stand is gekomen. In de vorige aflevering is beschreven hoe staal wordt gesmeed of gewalst in een bruikbare vorm om het verder te kunnen verwerken. Nu kunnen we de materiaaleigenschappen beïnvloeden door het toevoegen van andere stoffen aan het staal (legeren). De invloed van legeringselementen op staal kan erg verschillen. Hierin zijn twee grote groepen aan te geven: de austenietvormende elementen en de ferrietvormende elementen. In deze aflevering worden de austenietvormende elementen belicht.

We starten met de invloed op het Fe-Fe₃C diagram als referentie, weergegeven in figuur 1. Het element koolstof (C) is een austenietvormer. Dit is in het diagram zichtbaar door het groter worden van het austenietgebied na toevoeging van het element. Koolstof is de sterkste austenietvormer van de groep elementen. De andere austenietvormende elementen

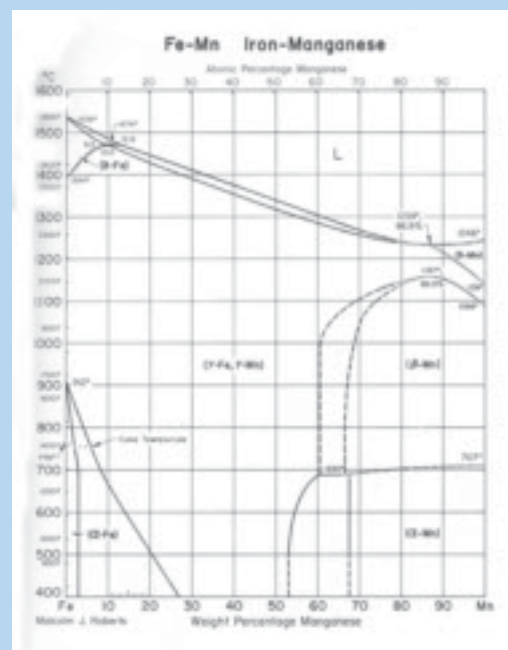
zijn stikstof (N), nikkel (Ni), mangaan (Mn), Cobalt (Co) en koper (Cu).

Door toevoegingen van legeringselementen ontstaan er veranderingen in het Fe-Fe₃C diagram. Het diagram is bruikbaar tot ongeveer 5% legeringselementen in staal, de laaggelegeerde stalen. De austenietvormende elementen hebben de algemene eigen-

Figuur 1 (links) - Het Fe-Fe₃C diagram



Figuur 2 (rechts) - Voorbeeld van een volledig oplosbaar element mangaan (Mn), met het verruimen van het austenietgebied



Element	Structuur opbouw	Soortelijk gewicht in kg/dm ³	Smeltemperatuur in °C	Atoomstraal in picometer, 10 ⁹ meter	Oplosbaarheid in austeniet %wt
Fe	KRG	7.8	1538	126	-
Ni	KVG	8.5	1455	124	100
Mn	KVG	7.3	1244	127	100
Co	KVG	8.9	1495	125	100
C	Amorf	2.1	3725	77	2.1
N	Gas/vloeistof	0.8 (vloeistof)	-209	70	2.8
Cu	KVG	8.9	1084	128	13

Tabel 1 - Overzicht van elementaire eigenschappen van de austenietvormende elementen

schap de A1-temperatuur te verlagen. Als bijkomend effect zorgen deze elementen voor een vertraging in de vorming van martensiet bij snelle afkoeling. Een lagere omslagtemperatuur naar een hardingsstructuur is meestal ongunstiger voor het lassen (martensiet starttemperatuur), maar is afhankelijk van het koolstofgehalte van de legering. Een lagere omslagtemperatuur geeft een grotere drang om de overgang naar de hardingsstructuur te maken. Er is hierdoor een onstabiele situatie in het rooster. De roosteromslag vindt samen plaats met een volumeverandering in het rooster. Dit is alleen schadelijk bij een hoog koolstofgehalte, omdat dit de weerstand van de roosteromslag verhoogt en de hardheid van de martensiet bepaalt. Hoe hoger het koolstofgehalte en lagere martensiet starttemperaturen, hoe groter de kans op schade bij het lassen.

Met meer koolstof in de legering, naast andere austenietvormende legeringselementen, is er dus een mogelijke reden om te voorwarmen bij het lassen. In de literatuur zijn verschillende interpretaties te vinden die de verandering van de martensiet starttemperatuur (Ms) beschrijft onder invloed van de materiaalsamenstelling. Een van deze benaderingsformules is:

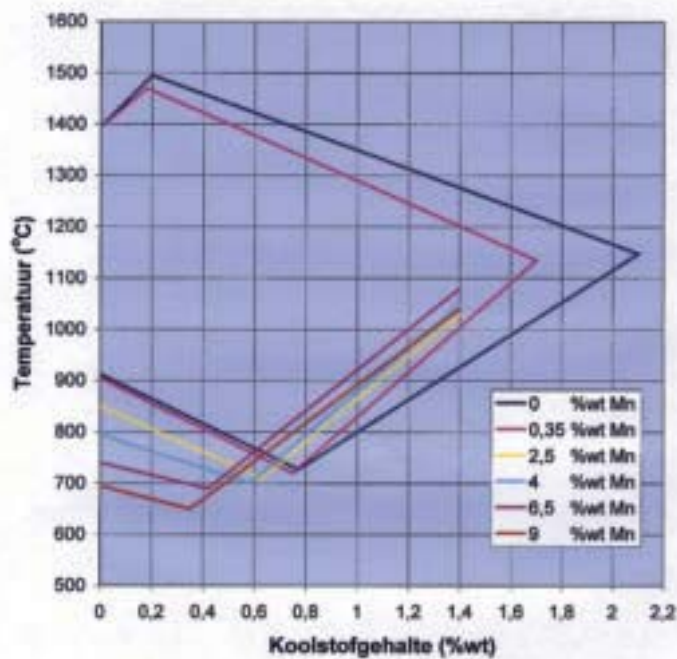
$$Ms (^{\circ}C) = 550 - 350^{\circ}C - 40^{\circ}C \cdot Mn - 35^{\circ}C \cdot V - 20^{\circ}C \cdot Cr - 17^{\circ}C \cdot Ni - 10^{\circ}C \cdot Cu - 10^{\circ}C \cdot Mo - 5^{\circ}C \cdot W + 15^{\circ}C \cdot Co + 30^{\circ}C \cdot Al$$

Volledig of niet volledig oplosbaar

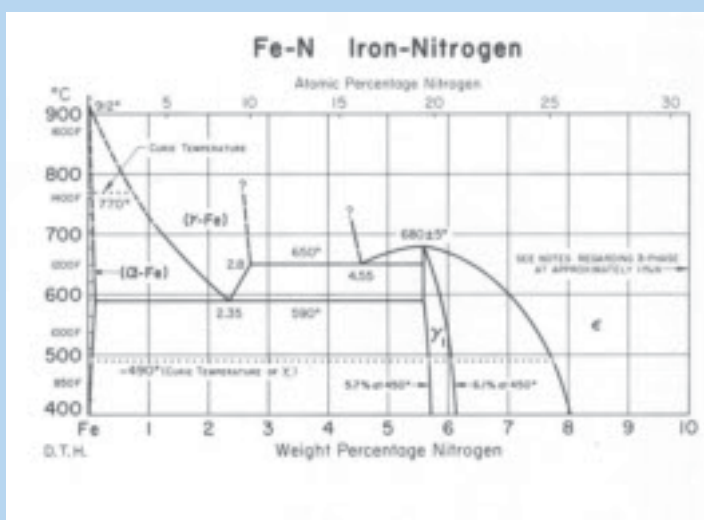
Er bestaan verschillende austenietvormende elementen die zich op twee manieren onderscheiden: volledig in elkaar oplosbaar en beperkt in elkaar oplosbaar. Volledige oplosbaarheid in elkaar betekent dat alle ijzeratomen zijn uit te wisselen door het andere atoom van het legeringselement, zonder dat de kristalstructuur significant verandert. Dat wil zeggen: zonder dat er andere structuurdelen (uitscheidingen) worden gevormd. Bij beperkte oplosbaarheid zijn de atomen van een legeringselement niet volle-

dig uitwisselbaar en zal er bij afkoeling vaak een uitscheiding van een verbinding worden gevormd.

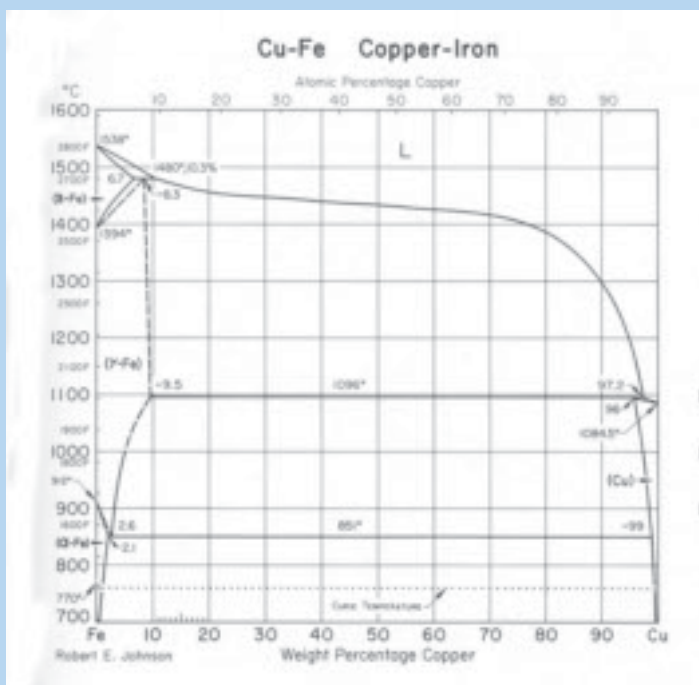
De elementen Ni, Mn en Co zijn volledig in elkaar oplosbaar en maken het austenietgebied geheel open. Deze elementen hebben vergelijkbare atoomdiameters met ijzer. Hierdoor bevinden de legeringselementen zich als substitutionele atomen in het kubische ijzerrooster. Deze elementen stimuleren de austenietstructuur door de voorkeursopbouw van het eigen rooster (kubisch vlakken gecentreerd). Door de verschillen in atoomdiameter in vergelijking met ijzer (zie tabel 1), zullen er door de aanwezigheid van vreemde atomen spanningen ontstaan in het rooster en er meer roosterfouten worden geïntroduceerd. Mangaan geeft van deze elementen het grootst meetbare oploshardingeffect. Dit is verklaarbaar doordat mangaan als enige van deze drie elementen een grotere atoomstraal heeft ten opzichte van ijzer. De atoomstraal van nikkel en cobalt zijn kleiner, waardoor er veel minder spanningen in het



Figuur 3 - Het effect van toevoeging van mangaan op het austenietgebied van het Fe-Fe₃C diagram



Figuur 4 - De beperkte oplosbaarheid van het element stikstof (N), met een afsnoering van het austenietgebied



Figuur 5 - De beperkte oplosbaarheid van het element koper (Cu), met een afsnoering van het austenietgebied

rooster ontstaan. Figuur 2 geeft de volledige oplosbaarheid van ijzer en mangaan weer in een fase-diagram. Figuur 3 laat zien wat de invloed van mangaan is op het austenietgebied van het Fe-Fe₃C diagram.

De elementen C, N en Cu zijn niet volledig oplosbaar in het kubisch vlakken gecentreerde rooster van ijzer. Het C en N kenmerken zich als interstitiele atomen die zich in de ruimte tussen de atomen nestelen. De atoomstraal van C en N is herkenbaar kleiner dan die van de substitutionele atomen, zie tabel 1. Ook hier worden spanningen in het rooster geïntroduceerd door het niet goed passen van de atomen in de beschikbare ruimte tussen de ijzerato-

men. De beperkte oplosbaarheid van stikstof in ijzer is weergegeven in figuur 4. Stikstof laat qua vorm een vergelijkbaar fase-diagram zien ten opzichte van koolstof. Het element Cu is wel een substitutie-atoom in het ijzerrooster, maar is niet volledig oplosbaar. Dit komt wellicht ook door een significant grotere atoomstraal van het koperatoom ten opzichte van ijzer. De elementen C, N en Cu kenmerken zich in het Fe-Fe₃C diagram door een afsnoering van het austenietgebied. De beperkte oplosbaarheid van koper in ijzer is weergegeven in figuur 5.

Austenietvormers en hun effect

De legeringselementen zijn een bewuste toevoeging aan het staal. De invloed van de elementen in staal - met een relatie naar het lassen - kunnen als volgt worden weergegeven:

Koolstof (C):

- Verhoging van de sterkte;
- Verhoging van de hardbaarheid;
- Verhoging van de taaiheid;
- Verhoging van de lasbaarheid;
- Verhoging van de smeedbaarheid;
- Verhoging van de verspaanbaarheid;
- Verhoging van de corrosieweerstand in water.

Mangaan (Mn):

- Vangt de schadelijke zuurstofverontreiniging af door vorming van MnO, ook in het lasbad/de slak (desoxidator);
- Vangt de schadelijke zwavelverontreiniging af door vorming van MnS, ook in het lasbad/de slak. Dit geeft minder kans op 'roodbrosheid' door vorming van laagsmeltende zwavelverbindingen op de korrelgrenzen;
- Verhoging van de hardbaarheid;
- Verhoging van de lasbaarheid;
- Verhoging van de treksterkte en vloeigrens (rekgrens);
- Versterkt de werking van nikkel.

Nikkel (Ni):

- Verhoging van de taaiheid bij lage temperaturen;
- Geen vorming van carbiden;
- Verbetering van de doorhardingseigenschappen.

Stikstof (N):

- Verhoging van de taaiheid;
- Verhoging van de sterkte;
- Geeft kans op veroudering, door vorming van Fe₂N uitscheidingen.

Koper (Cu):

- Verhoging van de sterkte;
- Verhoging van de kans op roodbrosheid door de vorming van het laagsmeltende Cu₂S;
- Verhoging van de corrosieweerstand tegen 'weersinvloeden', bijvoorbeeld Cortenstaal met 0.5% Cu;
- Verlaging van de kerftaaiheid;
- Verlaging van de lasbaarheid.

Cobalt (Co):

- Verhoging van de sterkte op hoge temperaturen;
- Verhoging van de slijtvastheid;
- Verhoging van de oxidatieweerstand op hoge temperaturen;
- Verlaging van de lasbaarheid.

In de volgende aflevering zullen de ferrietvormende elementen in staal worden belicht. Daarna komen de

toepassing en lasbaarheid van verschillende groepen materialen aan bod, naar indeling van de CEN-ISO/TR 15608. ■

Literatuur

- Lesmateriaal NIL-cursus LPI-IWE.
- Bron grafieken: Metals Handbook, Vol. 8, Metallography, Structures and Phase Diagrams, 1973, ASM Handbook Committee.

Ing. Geert van den Handel is werkzaam bij Shell Raffinaderij Nederland BV in Pernis. Daar werkt hij als materials, corrosion & welding engineer op de afdeling Refinery Engineering & Integrity.