

WARM OF KOUD ... HET MAAKT VOOR INVAR WEINIG VERSCHIL

DIT BUITENBEENTJE EFFENT HET PAD VOOR EEN RANGE AAN HEEL SPECIFIEKE TOEPASSINGEN

De ontdekking van het Invar-effect in 1896 heeft geleid tot de ontwikkeling van ijzer-nikkellegeringen waarvan de thermische uitzetting vastgelegd kan worden voor een bepaalde gebruikstemperatuur. De uitzetting varieert van praktisch nul tot die van staal. Door gebruik te maken van de juiste legering, kunnen er verbindingen met een ander metaal, keramiek of glas gemaakt worden, zonder dat er onderlinge spanningen optreden t.g.v. uitzetting en zonder dat er lekkage ontstaat door de speling tussen gekoppelde materialen. Deze hightech legeringen worden voornamelijk gebruikt bij de fabricage van complexe meettoestellen, het maken van bimetalen en ingewikkelde gietvormen voor de vliegtuigindustrie en de opslagtanks van LNG-schepen.

Door Ing. Tim Buyle, IWE



WAT IS INVAR?

Invar is een austenitische ijzer-nikkel legering met 64% Fe en 36% Ni. Na een warmtebehandeling op 950 °C en afkoeling aan de lucht verkrijgt het materiaal een extreem lage thermische uitzettingscoëfficiënt. Het effect van deze warmtebehandeling op de uitzetting hangt af van de afkoelsnelheid. Het afschrikken verlaagt de uitzetting, terwijl een langzame afkoeling de uitzetting vergroot. Het materiaal is redelijk sterk en taai, en heeft een goede corrosieweerstand.

Invar is magnetisch beneden de curietemperatuur en dus niet magnetisch erboven. In het gebied waarin Invar toegepast wordt om zijn bijzondere eigenschap, is het materiaal altijd magnetisch.

HET INVAR-EFFECT

Het Invar-effect werd ontdekt door de Zwitserse natuurkundige, Charles-Eduard Guillaume, in 1896. Hij gaf de naam Invar, afgeleid van invariable, aan een legering met 35,6% Ni, 0,1% Mn, 0,4% C en voor de rest Fe. Het

materiaal bezit een extreem lage uitzettingscoëfficiënt bij kamertemperatuur. Sindsdien wordt de naam Invar ook

gebruikt voor andere legeringen met een vergelijkbare samenstelling.

Achterliggende metallurgie

Guillaume ontdekte een verband tussen het ferromagnetische gedrag en de thermische uitzetting van bepaalde legeringen. De Fe- en Ni-atomen van een Invar-legering rangschikken zich in een geordend, kubisch, vlakgecentreerd kristalrooster dat twee magnetische toestanden kent, de ene ferromagnetisch en de andere anti-ferromagnetisch.

De ferromagnetische toestand heeft een iets groter volume dan de antiferromagnetische toestand. Beneden de curietemperatuur (277 °C bij Invar 36) treedt er in een traject van -100 °C tot 200 °C een bijzonder effect op. Het materiaal gaat dan over van een ferromagnetische naar een antiferromagnetische toestand. Daardoor zal het kristalrooster 'krimpen'. Dit heeft een compenserend (tegenwerkend) effect op de thermische uitzetting. Het materiaal wordt als het ware

'invariant' voor de temperatuurstijging.

Boven de curietemperatuur is het ferromagnetisme verdwenen, waardoor het Invar-effect verdwijnt.

Spelen met de samenstelling

Door het uitkiezen van de samenstelling van de legering – denk aan de toevoeging van elementen zoals Si, Cr, Mn, T en V – laat de thermische uitzettingscoëfficiënt zich aanpassen.

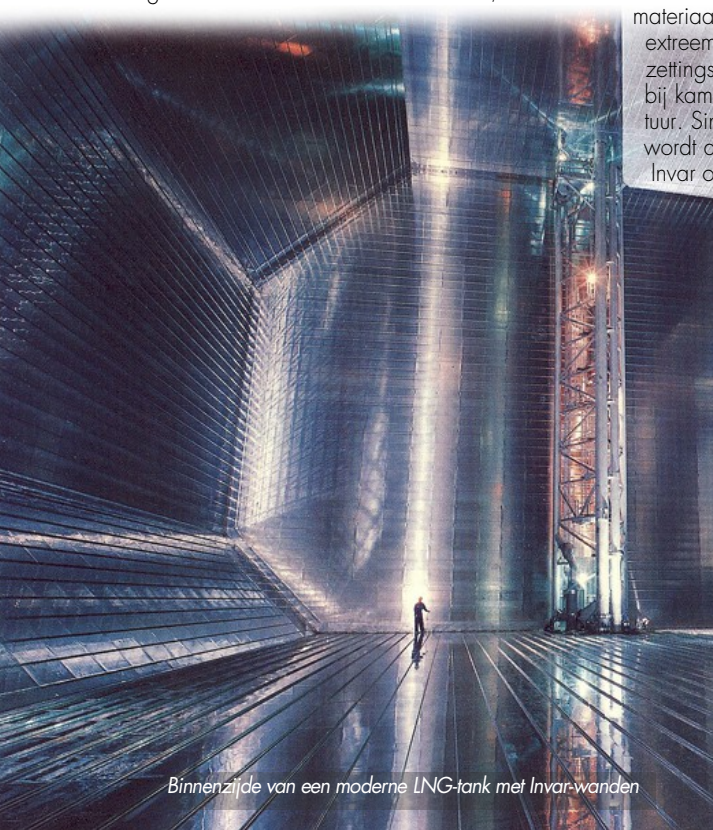
Voor temperaturen tussen 280 °C en 565 °C ligt de thermische uitzetting het laagst bij legeringen met 36 tot 50% nikkel. Ter illustratie, een stalen spoorstaaf met een lengte van 20 meter zet bij een temperatuurstijging van 20 °C ruim 5 mm uit.

Als deze spoorstaaf van Invar gemaakt was, zou dat maar een halve mm geweest zijn.

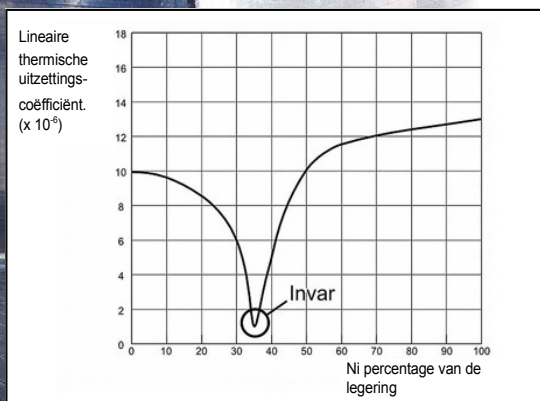
INVAR-LEGERINGEN

Na de ontdekking van Invar startte de ontwikkeling van een aantal legeringen met Invar-effect, waarvan de thermische uitzettingscoëfficiënt aangepast is aan een specifieke toepassing. Dit laatste wordt voornamelijk geregeld via het nikkelgehalte.

- Inovo (Fe-33Ni-4,5Co) heeft een extra lage uitzettingscoëfficiënt: $\alpha = 0,55 \times 10^{-6} \text{m}/^\circ\text{C}$.
- Invar 42 heeft de laagste α tussen 20 en 300 °C, en wordt toegepast voor metaalverbindingen met glas en keramiek, en gietvormen voor composieten.



Binnenzijde van een moderne LNG-tank met Invar-wanden



- Kovar is een FeNiCo-legering die dezelfde uitzetting heeft als glas en daarom gebruikt wordt voor optische doeleinden, waaronder satellieten. Tussen 20 °C en 500 °C heeft Kovar de laagste uitzettingscoëfficiënt van de Invar-legeringen.
- Penifer 36 MoW is een draad met 36% Ni, 0,3% C, 0,9% Cr, 2,5% Mo en 0,5 W. Dit materiaal krijgt de vereiste sterkte door nanocarbide-uitscheidingen én door versteviging tijdens het draadtrekken om tot de eindmaat van de draad te komen. Het blijkt mogelijk om een trekvastheid van 1.400 MPa of hoger te bereiken. Ga je met 100 m van deze draad vanuit kamertemperatuur naar een temperatuur van 150 °C, dan zie je een verlenging van minder dan 3 cm. Bij een temperatuur van 210 °C zal de verlenging bij die 100 m minder dan 5 cm zijn.

BEWERKEN VAN INVAR

Invar-legeringen zijn taai en zijn daardoor niet gemakkelijk te verspanen. De verspaanbaarheid is te vergelijken met austenitisch roestvast staal. Aangepaste snijgereedschappen van snelstaal en hardmetaal zijn nodig. Invar kan gesneden worden met plasma en laser. Alle andere machinale bewerkingen zoals ponsen en boren zijn mogelijk.

Warmtebehandeling

Wordt Invar koudgevormd of verspaand, dan kan een gloei-behandeling nodig zijn voor de stabilisatie van de magnetische eigenschappen die zorgen voor het Invar-effect. De warmtebehandeling

MECH. EIGENSCHAPPEN ZUIVER LASMETAAL NILO 36

MIG-LASSEN	Rm: 551 MPa	Re 0,2: 407 MPa	e: 22%	Kcv: 56 J (20 °C)
ONDER POEDERDEK	Rm: 493 MPa	Re 0,2: 343 MPa	e: 29%	Kcv: 98 J (20 °C)
BASIS-MATERIAAL	Rm: 490 MPa	Re 0,2: 241 MPa	e: 42%	Kcv: 191 J (20 °C)

(Bron: Special Metals)

zou als volgt kunnen verlopen: gedurende een uur verwarmen tussen 315 en 370 °C, en vervolgens aan de lucht afkoelen, daarna opnieuw verwarmen tot iets boven de gebruikstemperatuur, weer langzaam afkoelen tot iets beneden de laagste gebruikstemperatuur en opnieuw verwarmen tot iets boven de gebruikstemperatuur om het materiaal daarna tot slot langzaam af te koelen in de lucht. Harden kan niet, omdat er geen structuurtransformatie plaatsvindt.

Lassen van Invar

Het gebruik van Invar in gelaste toepassingen is een hele tijd niet mogelijk geweest door het gebrek aan geschikte lastoevoegmaterialen die een kwaliteitsvolle las opleveren met behoud van de lage thermische uitzettingscoëfficiënt.

Lastoevoegmaterialen met een gelijkaardige chemische samenstelling (matching) bleken al snel scheurgevoelig te zijn. De ontwikkeling van Nb-C- en Mn-Ti-gemodificeerde legeringen heeft het lassen mogelijk gemaakt voor het onderpoeder-, MIG- en TIG-lassen.

Een aandachtspunt bij het lassen is het verwijderen van oxides voor het lassen. Zo niet zal de lasnaad

gevoelig zijn voor undercut.

Ongelijksoortige verbindingen van Invar met rvs zijn eveneens perfect uitvoerbaar.

TOEPASSINGEN

Invar kan om verschillende redenen toegepast worden:

- om de afmetingen van een constructie precies te kunnen vastleggen, bijvoorbeeld in meetinstrumenten en bij de montage van microscooplenzen;
- de bouw van een frame van een coördinatenmeetsysteem, waardoor temperatuurschommelingen geen invloed meer hebben;
- als een van de strippen van een bimetaal om een maximaal verschil in uitzetting te krijgen;
- om ervoor te zorgen dat een stuk metaal goed kan hechten aan een ander materiaal. In dat geval moet de uitzettingscoëfficiënt niet nul zijn, maar precies afgestemd op die van het andere materiaal waar het mee verbonden is, bijvoorbeeld glas, keramiek of composiet;
- om extreme temperatuurverschillen te kunnen doorstaan zonder te bezwijken aan thermische spanningen, bijvoorbeeld bij tankers voor vloeibaar gemaakt

gas (LNG) als binnenwand om tegen de zeer lage temperatuur bestand te zijn. Bij het laden van de tanker ondergaan de tanks immers een grote temperatuurverandering, waardoor er grote thermische spanningen kunnen ontstaan;

- leidingen voor vloeibaar gas worden in Invar uitgevoerd, waardoor er minder expansielussen nodig zijn;
- Invar bij moderne bewerkingsmachines, waarbij de maatvoering van het product niet verstoord wordt door temperatuurschommelingen;
- Invar als metaal voor gietvormen en mallen voor het gieten van kunststof composieten in speciale, soms grote, ingewikkelde gietvormen (vliegtuigindustrie). Gietvorm en het product moeten dezelfde thermische uitzetting hebben om vervorming te voorkomen tijdens het harden van het product bij ongeveer 177 °C.

TOEKOMST VOOR INVAR

Invar-legeringen houden vrijwel constante afmetingen aan in een bereik van normale atmosferische temperaturen en hebben een lage expansiecoëfficiënt vanaf cryogene temperaturen tot ongeveer 260 °C. De verwerking is vergelijkbaar met die van roestvast staal. Naast de klassieke toepassingen zou het materiaal wel eens als vervanging van staal gebruikt kunnen worden in 380kV-hoogspanningsleidingen. Dat kan een manier zijn om door het bestaande hoogspanningsnet meer stroom te sturen bij hogere temperaturen. Voor Invar is dat een koud kunstje. □

MIG-LASPARAMETERS

BESCHERMGAS	100% inert (Ar of Ar/He)
DRAADDIAMETER	1,2 mm
INTERPASTEMP.	Max. 150 °C
SPRAY ARC	29 – 33 V 200 – 270 A
SHORT ARC	25 – 27 V 220 – 260 V

