

**Raex**<sup>®</sup> ABRASION  
RESISTANT STEEL

# LASSEN EN THERMISCH SNIJDEN



# SLIJTAGE KRIJGT GEEN KANS

Raex slijtvast staal is ontwikkeld voor stalen structuren die worden blootgesteld aan schurende slijtage. De slijtvastheid van Raex kan de levensduur van uw apparatuur beduidend langer maken, zodat u veel tijd en geld bespaart.

Raex verlengt de levensduur van stalen structuren door te besparen op hun gewicht, in vergelijking met zacht staal. Lichtere componenten verhogen de laadcapaciteit, waardoor er op brandstof wordt bespaard, terwijl meteen ook de uitstoot lager wordt omdat er minder vrachtwagens nodig zijn.

# INLEIDING

Raex is een slijtvast staalsoort met een opmerkelijke hardheid en goede werkplaatseigenschappen. Eigentijdse productietechnologie creëert betrouwbare kwaliteit en kosteneffectieve bescherming tegen uiteenlopende vormen van slijtage. Raex staalsoorten zijn verkrijgbaar als zware platen en op maat gesneden stroken in hardheden van 300 - 500 HB. Raex wordt bijzonder gewaardeerd in werkplaatsen dankzij de goede snij-, las- en buigingseigenschappen. Het helpt de levensduur van machines te verlengen en biedt nieuwe ontwerpmogelijkheden om lichtgewicht producten te maken die de energie-efficiëntie verbeteren.

## TOEPASSINGEN VOOR RAEX SLIJTVASTE STAALSOORTEN

- Brekers, graafbakken en lipschijven
- Platforms en basisstructuren
- Materiaal/ en afvalverwerkingsmachines, tanks en transportbanden
- Filters, trechters, zeven en mengers
- Speciale containers
- Dragende onderdelen en snijmesses

De slijtvastheid van Raex staal is gebaseerd op staallegingen en de geharde leveringsconditie. Het lassen en thermisch snijden van slijtvast staal is, vanwege de hoge legering, de hardheid en de sterkte, veeleisender dan de verwerking van gewoon constructiestaal. Bij het lassen van

slijtvast staal zijn twee zaken heel belangrijk. Ten eerste moeten koude scheuren van tevoren worden voorkomen. Dit telt extra zwaar bij het lassen van dikke platen. Ten tweede moeten de mechanische kenmerken van de gelaste verbinding optimaal zijn. Naast deze twee zaken met betrekking tot het basismetaal, dient men bij moeilijke laswerkzaamheden te voldoen aan werkspecifieke eisen, zoals het kwaliteitsniveau. Scheuren op het snijoppervlak en buitensporige verzachting van de snijzone moeten beslist worden voorkomen bij thermisch snijden.

In deze technische brochure vindt u praktische lasinstructies voor de Raex 400, Raex 450 en Raex 500 staalsoorten en worden hun bijzondere eigenschappen met het oog op thermisch snijden beschreven. Een correcte werktemperatuur en warmte-invoer, evenals een zorgvuldige voorbereiding, spelen bij het lassen een sleutelrol. De te lassen groefoppervlakken moeten droog en schoon zijn. Het in het lasmetaal opgeloste waterstofgehalte moet bijzonder laag worden gehouden, omdat het hier ultrasterkte staal betreft. U bereikt een laag waterstofgehalte met de juiste lasparameters en door goed lasmateriaal te gebruiken. In het datasheet vindt u aanbevelingen voor lasbenodigdheden voor gas-afgeschermd booglassen, handmatig booglassen en booglassen onder water. Voor de beste resultaten moeten alle fases van het lassen en thermisch snijden, vanaf het ontwerp tot en met de afwerking, zorgvuldig worden uitgevoerd.



## INHOUD

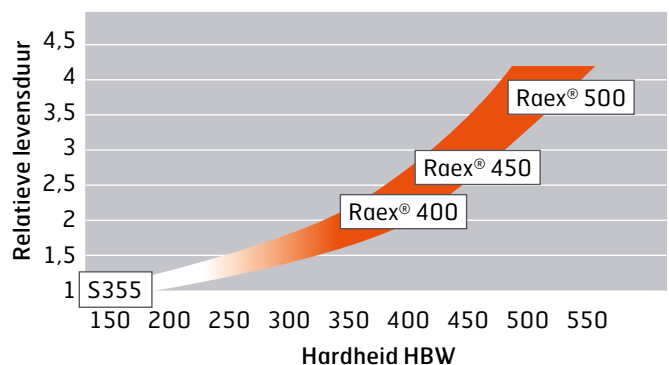
INLEIDING	3
1 SLIJTVASTE STAALSOORTEN	4
2 LASBAARHEID VAN SLIJTVAST STAAL	5
2.1 Gevoeligheid voor koudscheuren	5
2.1.1 Locatie van koudscheuren	5
2.1.2 Factoren die koudscheuren veroorzaken	5
2.1.2.1 Microstructuur van een gelaste verbinding	5
2.1.2.2 Kritisch waterstofgehalte in een gelaste verbinding	6
2.1.2.3 Sterkte en belastingsniveau van een gelaste verbinding	6
2.1.2.4 Gecombineerd effect van drie factoren	6
2.2 Optimale kenmerken van een gelaste verbinding	6
3 LASPARAMETERS EN HUN INVLOED OP DE KENMERKEN VAN EEN GELASTE VERBINDING	7
3.1 De belangrijkste lasparameters	7
3.2 De invloed van lasparameters op de kenmerken van een gelaste verbinding	7
4 LASBENODIGDHEDEN	8
4.1 Het ondermatchen d.w.z. lasbenodigdheden voor zacht ferritisch lassen	8
4.2 Austenitische roestvrije lasbenodigdheden	8
5 HET VOORKOMEN VAN KOUDSCHEUREN	10
5.1 Het onder controle houden van de verharding van de microstructuur van een gelaste verbinding	10
5.2 Het onder controle houden van het waterstofgehalte	10
5.3 Het wegnemen van restspanningen in een gelaste verbinding	10
5.4 Praktische lastips	10
5.5 Lassen onder de juiste werktemperatuur	10
6 HET BEREIKEN VAN EEN OPTIMALE COMBINATIE VAN KENMERKEN IN GELASTE VERBINDINGEN	12
6.1 Aanbevolen lasparameters	12
6.2 Zachte zone in gelaste verbindingen	12
7 WARMTEVERWERKING	13
8 HET GEDRAG VAN STAAL BIJ THERMISCH SNIJDEN	14
8.1 Procedure voor thermisch snijden	14
8.2 De hardheid van het oppervlak onder controle houden door verhoging van de werktemperatuur	14
8.3 Het voorkomen van ontharding bij thermisch snijden	14
8.4 Praktische tips voor thermisch snijden	14

# 1 SLIJTVASTE STAALSOORTEN

Raex slijtvast staal is ontwikkeld voor stalen structuren die blootgesteld worden aan schurende slijtage. De slijtvastheid van Raex kan de levensduur van uw apparatuur aanzienlijk verlengen, zodat u tijd en geld bespaart. De selectie omvat de staalsoorten Raex 300, Raex 400, Raex 450 en Raex 500. De gemiddelde hardheid van de staalsoorten is respectievelijk 300/400/450/500 HBW, zie figuur 1.

Hoe groter de hardheid van staal, des te beter de bestendigheid tegen algemene slijtage. Afbeelding 1 geeft de relatieve levensduur weer van Raex 400, Raex 450 en Raex 500 staalsoorten in een slijttest. Materiaalslijtage is echter altijd gevalgebonden en afhankelijk van verschillende factoren.

**AFBEELDING 1: RAEX 400, RAEX 450 EN RAEX 500. SLIJTTTEST**



De relatieve verlenging van de levensduur bij toename van de staalhardheid. De levensduur van normaal S355 constructiestaal is gewijzigd in de referentiewaarde van 1.

# 2 LASBAARHEID VAN SLIJTVAST STAAL

De hoge sterkte en hardheid van slijtvast staal wordt bereikt door legeren en snel afkoelen (blussen). Een juiste hardbaarheid wordt verkregen met passende legering. Vanwege de hoge mate van legeringen is het lassen van slijtvast staal aanzienlijk moeilijker dan dat van normaal constructiestaal. Bij het lassen van slijtvast staal moet speciale aandacht worden besteed aan twee punten:

- Het voorkomen van koudscheuren in gelaste verbindingen.
- Het realiseren van optimale kenmerken in gelaste verbindingen.

## 2.1 GEVOELIGHEID VOOR KOUDSCHEUREN

De meest voorkomende factor die een belemmering vormt voor de lasbaarheid van slijtvast staal is koudscheuren. Koude scheuren ontstaan doorgaans wanneer de las afkoelt tot ongeveer +150°C of lager, vandaar de term "koudscheur". Koudscheuren wordt ook wel waterstof- of vertraagd scheuren genoemd. De schadelijke invloed van waterstof kan pas enkele dagen na het lassen aan het licht komen in de vorm van scheuren. Bij het plannen van NDT-tests van gelaste constructies moet u daarom rekening houden met vertraging bij het ontstaan van koudscheuren.

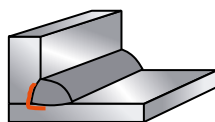
### 2.1.1 Locatie van koudscheuren

Afbeelding 2 toont de kritische gebieden waar koudscheuren verschijnen in het lasmetaal, de fusieliijn en de door hitte beïnvloede zone.

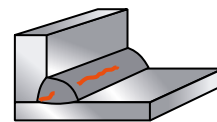
**AFBEELDING 2. KOUDSCHEUR-GEVOELIGE PLEKKEN IN GELASTE VERBINDINGEN VAN ULTRASTERK SLIJTVAST STAAL.**



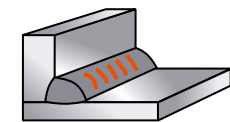
Plaatranden in het basismetaleel, dichtbij de las



Doorgangszijden, naast en onder, in basismetaleel



Lasmetaal, in de lengterichting



Lasmetaal, in de dwarsrichting

### 2.1.2 Factoren die koudscheuren veroorzaken

Koudscheuren is het schadelijke combi-effect van drie factoren die gelijktijdig optreden. Deze factoren zijn, zoals weergegeven in figuur 3, 1) de microstructuur van de gelaste verbinding, 2) het waterstofgehalte van de gelaste verbinding, en 3) het spanningsniveau in de gelaste verbinding.

#### 2.1.2.1 Microstructuur van een gelaste verbinding

Een goede slijtvastheid is gebaseerd op een martensitische microstructuur in zowel basis- en lasmetaal als in de door hitte beïnvloede zone van een lasverbinding. Koelt het verbindingpunt te snel af, dan kan de martensiet te hard worden, met te weinig sterkte. Zo'n microstructuur is vatbaar voor scheuren. De hardingscapaciteit van staal en lasmetaal wordt aangegeven aan de hand van koolstofequivalentformules, gebaseerd op legeren. De hier getoonde formules "CEV" en "CET" worden veel gebruikt voor slijtvaste staalsoorten. De afkorting "CE" wordt ook gebruikt voor CEV.

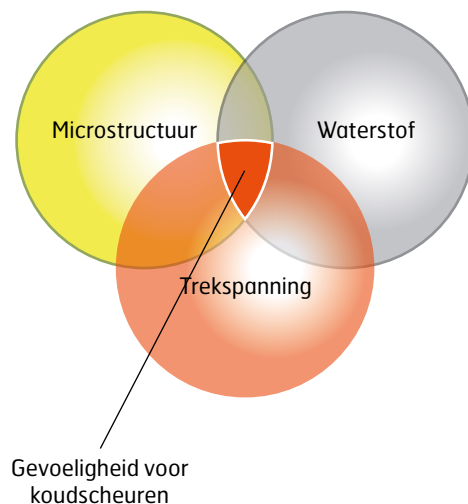
Koolstofequivalentformules, zoals gebruikt voor de weergave van de hardingscapaciteit van staal en lasmetaal.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo + Cr + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

$$CET = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr + Cu)}{20} + \frac{Ni}{40}$$

Een toename van koolstofequivalent, of verhardingsvermogen, leidt tot een hardere microstructuur.

**AFBEELDING 3. DE GEVOELIGHEID VOOR KOUDSCHEUREN VAN EEN GELASTE VERBINDING IS HET NADELIGE COMBI-EFFECT VAN DRIE FACTOREN.**



### 2.1.2.2 Kritisch waterstofgehalte in een gelaste verbinding

Waterstof is een zeer lichtgewicht gas dat in staal oplost als atomen en moleculen. Als een stalen plaat wordt gemaakt, bevat die al kleine hoeveelheden waterstof. Het fabricageproces van Raex-staalsoorten is zodanig dat het natuurlijke waterstofgehalte van de staalplaten ruim binnen veilige grenzen blijft. Bij het lassen probeert daarom de waterstof die staal vatbaar maakt voor koudscheuren, van buitenaf de verbinding binnen te dringen.

Het kritische waterstofgehalte is geen specifieke constante, maar de waarde ervan wordt vooral beïnvloed door de microstructuur van staal. Martensiet, ferriet en austeniet fasen zijn aanwezig in de microstructuur van slijtvast staal, afhankelijk van de temperatuur en de staat van behandeling. In tegenstelling tot een austenitische microstructuur die aanzienlijk meer kan bevatten, lossen hooguit zeer kleine hoeveelheden waterstof op in martensitische en ferritische microstructuren.

Tijdens het lassen wordt het meeste waterstofgas bij hoge temperaturen opgelost in staal, waarbij de microstructuur van staal austenitisch is. Wanneer de gelaste verbinding afkoelt, wordt de microstructuur van staal ferritisch of martensitisch. In deze microstructuren is slechts een kleine hoeveelheid waterstof opgelost en is de veilige ruimte, nodig voor de fysieke plaatsing van waterstofatomen, beperkt. Daarom kunnen waterstofatomen die vast komen te zitten in de microstructuur van de gelaste verbinding, plaatselijk inwendige spanning en scheurvorming veroorzaken: dat verschijnsel noemen we koudscheuren.

### 2.1.2.3 Sterkte en trekspanning van een gelaste verbinding

Lassen en andere plaatbewerking leggen spanning op de verbinding. Sterkte en restspanning van een gelaste verbinding worden vooral bepaald door de sterkte van het lasmetaal. Restspanning hangt af van de sterkte van het toevoegmetaal en van de stevigheid van de structuur en de dikte van de staalplaat. Op z'n hoogst is de spanning in de gelaste verbinding gelijk aan de rekgrens van het staal. Hoge spanning verhoogt de gevoeligheid voor koudscheuren.

### 2.1.2.4 Gecombineerd effect van drie factoren

De microstructuur, het waterstofgehalte en de trekspanning in een gelaste verbinding zijn onderling afhankelijk bij het optreden van koudscheuren. Neemt bijvoorbeeld met dezelfde lasprocedure de trekspanning van een verbinding toe, dan leidt zelfs een lager waterstofgehalte tot koudscheuren. Ook een hogere sterkte en een meer kwetsbare microstructuur zijn bij een lager waterstofgehalte vatbaar voor scheuren. In de strijd tegen koudscheuren moet de gecombineerde invloed van deze drie factoren van tevoren worden bepaald en moet het lassen dienovereenkomstig worden gepland.

## 2.2 OPTIMALE KENMERKEN VAN EEN LASVERBINDING

De vereiste kenmerken van slijtvast staal zijn niet zo uitvoerig als die van constructiestaal. Hetzelfde geldt voor gelaste verbindingen en constructies van slijtvaste staalsoorten. Desondanks moet bij de planning van het lassen van slijtvast staal de verbinding worden beoordeeld in relatie tot de kenmerken in tabel 1.

Bij het ontwerpen van slijtvaste constructies moeten lassen – voor zover mogelijk – worden gepositioneerd op plekken die niet worden blootgesteld aan de zwaarste belasting. Is extra goede slijtvastheid van een gelaste verbinding een vereiste, dan moeten lasbenodigdheden met hoge sterkte en geschikt legeringsmateriaal worden gebruikt. In structuren waarin van de gelaste verbindingen numerieke waarden van slagvastheid worden vereist, kunnen waarden die aansluiten bij die van het basismetaal, worden bereikt met sterke lasbenodigdheden en correcte lasparameters.

De kenmerken in tabel 1 zijn onderling afhankelijk. Een toename van hardheid en sterkte heeft bijvoorbeeld een verminderend effect op de slagvastheid. De juiste lasparameters en de aanbevolen werktemperatuur vormen een garantie voor optimale kenmerken in de laszone. Doorgaans worden er geen numerieke waarden gegeven voor de kenmerken van gelaste verbindingen van slijtvast staal, afgezien van de hardheid en mogelijk ook de sterkte. Geen van deze kenmerken wordt doorgaans getest.

**TABEL 1. OPTIMALE COMBINATIE VAN KENMERKEN IN GELASTE VERBINDINGEN VAN SLIJTVASTE STAALSOORTEN.**

Combinatie van kenmerken
Hardheid
Slijtweerstand
Sterkte
Impactsterkte

# 3 LASPARAMETERS EN HUN INVLOED OP DE KENMERKEN VAN EEN GELASTE VERBINDING

Tijdens het lassen ondergaat staal een sterk thermisch effect. De temperatuur van de verbinding stijgt snel van de werkt temperatuur naar de temperatuur van vloeibaar staal, boven +1500°C. De warmtetoever van het lassen en de afkoelsnelheid van de verbinding zijn de belangrijkste variabelen waarmee het lasproces wordt beheerst.

## 3.1 DE BELANGRIJKSTE LASPARAMETERS

De warmte-energie zoals die wordt gebruikt bij het lassen, wordt aangegeven met de begrippen warmtetoever (Q) en boogenergie (E). De relatie tussen warmtetoever en las-energie wordt weergegeven door de lasmethode-specifieke coëfficiënt van thermische efficiëntie "k".  $k = 1$  is het hoogste niveau; dan is het thermisch rendement 100 procent en wordt alle boogenergie gebruikt voor warmtetoever. Afbeelding 4 toont de belangrijkste lasparameters en variabelen. De typische thermische efficiëntie van de methoden, zoals die worden gebruikt bij het lassen van slijtvast staal, vindt u in tabel 2.

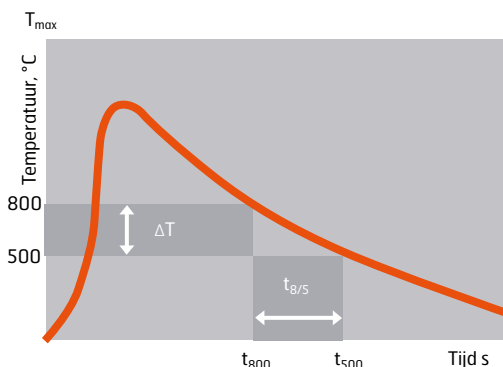
## 3.2 DE INVLOED VAN LASPARAMETERS OP DE KENMERKEN VAN EEN GELASTE VERBINDING

Warmtetoever en koelsnelheid van een verbinding staan direct met elkaar in verband. Bij een hoge warmtetoever koelt een verbinding langzaam af, bij een lage snel. Voor de microstructuur van de door hitte beïnvloede zone (HAZ) van een gelaste verbinding, is de afkoeltijd het meest cruciaal: van + 800°C tot + 500°C, d.w.z.  $t_{8/5}$ , figuur 5. De factoren die van invloed zijn op de koelsnelheid van een gelaste verbinding worden weergegeven in tabel 3.

De effecten van hogere en lagere warmtetoever op het lassen van slijtvast staal vindt u in figuur 6. Een hoge warmtetoever geeft een lange  $t_{8/5}$  tijd aan, terwijl een lagere een korte  $t_{8/5}$  tijd aangeeft.

Bij booglassen is de hogere warmtebehoefte gebaseerd op de verbetering van de las efficiëntie. Hogere warmtetoever bij het lassen van dunne slijtvaste platen wordt beperkt door het negatieve effect op de hardheid van staal.

**AFBEELDING 5: TEMPERAATUUR VAN EEN LAS PROCEDURE VERSUS TIJD ALS EEN DIAGRAM.**



$$\Delta T = 800^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$$

$$t_{8/5} = \text{koeltijd van } +800^{\circ}\text{C tot } +500^{\circ}\text{C}$$

**TABEL 2. TYPISCHE THERMISCHE EFFICIËNTIE VOOR UITEENLOPENDE LASMETHODEN.**

Lasmethode	Thermische efficiëntie, k
Gas afgeschermd lassen, MAG-methoden	0,8
Handmatig metaal booglassen	0,8
Booglassen onder water	1,0
Plasma booglassen en TIG lassen	0,6

**TABEL 3. FACTOREN DIE VAN INVLOED ZIJN OP DE AFKOELSNELHEID VAN EEN GELASTE VERBINDING.**

Las-energie
Plaatdikte / diktes
Verbindingsvorm
De wijze van voorbereiding van een verbinding
Werktemperatuur
Volgorde van lassen

**AFBEELDING 4. WARMTETOEVER BIJ HET LASSEN, LAS-ENERGIE EN ANDERE LASVARIABLEN.**

$$Q = \frac{k \times 60 \times U \times I}{1000 \times v}$$

$$E = \frac{60 \times U \times I}{1000 \times v}$$

$$Q = k \times E$$

Q = Warmtetoever, oftewel de hoeveelheid warmte die tijdens het lassen per lengte-eenheid (kJ/mm) op de las wordt overgebracht.

E = Boogenergie, oftewel energie die wordt overgedragen door het las proces per lengte-eenheid (kJ/mm)

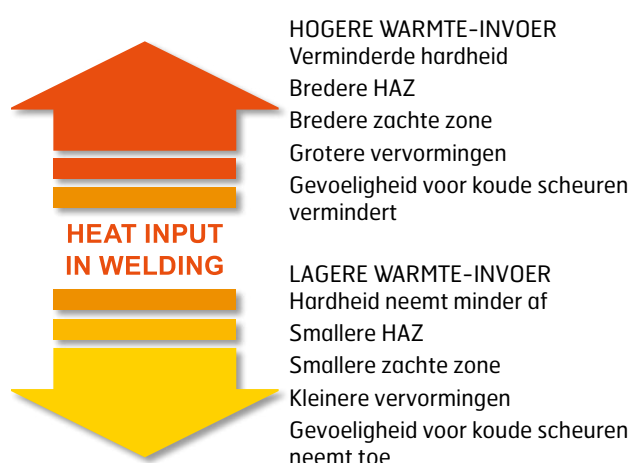
k = Thermische efficiëntie, oftewel de relatie tussen warmte toevoer (Q) en boogenergie (E)

U = Voltage (V)

I = Stroom (A)

v = Lassnelheid (mm/min)

**AFBEELDING 6. SCHUURBESTENDIGE STAALSOORTEN. DE GEVOLGEN VAN WARMTE-INVLOED OP DE LASBAARHEID.**



# 4 LASBENODIGDHEDEN

Bijpassende ferritische lastoevoegmiddelen worden gebruikt voor het lassen van normaal S355 structureel staal. Ze zijn veruit de meest gebruikte toevoegmiddelen voor slijtvaste staalsoorten en worden aanbevolen voor alle hardheidsklassen.

Bijpassende austenitische toevoegmiddelen zijn oorspronkelijk bedoeld voor het lassen van austenitisch roestvast staal. Ze zijn een veilige keuze, vooral als het gaat om de hardste slijtvaste staalsoorten en dikke platen en verder ook voor reparatielassen.

## 4.1 BIJPASSEND, OFTEWEL ZACHT FERRITISCHE LASTOEVOEGMIDDELEN

Bij het lassen van slijtvast staal heeft het waterstofgehalte van ferritische toevoegmiddelen een sterke invloed op de gevoeligheid voor koudscheuren. Daarom moeten ferritische toevoegmiddelen van een laag waterstofgehalte zijn, d.w.z. waterstofgehalte  $HD \leq 5 \text{ ml/100 g}$  (waterstofgehalte H5-klasse).

Een lastoevoegmiddel wordt gedefinieerd als bijpassend, als het zuivere lasmetaal dat erdoor wordt geproduceerd, wezenlijk minder hard is dan het staal. De treksterkte van zuiver lasmetaal, geproduceerd door bijpassend vulmetaal,

is ongeveer 500 MPa en de stevigheid is goed. Bijpassend vulmetaal met een laag waterstofgehalte wordt, vanwege de vele voordelen, aanbevolen voor het lassen van slijtvaste staalsoorten, tabel 4.

**TABEL 4. DE VOORDELEN VAN BIJPASSENDE LASBENODIGDHEDEN TEN OPZICHTE VAN ULTRA-STERKE HULPMIDDELEN.**

Voordelen
Goede laseigenschappen
Uitgebreide keuzemogelijkheden en goede beschikbaarheid
Kosteneffectief, zowel bij aankoop als tijdens gebruik
Lager spanningsniveau in de las
Een sterk en buigzaam lastoevoegmiddel verdraagt spanning goed
Een lager koolstofequivalent en respectievelijk ook een lagere hardbaarheid
Minder gevoelig voor koudscheuren
Verdraagt waterstof beter dan een sterker lastoevoegmiddel
Minder behoefte aan verhoging van de werktemperatuur dan met sterkere lastoevoegmiddelen

*De aanbevolen ferritische, bijpassende benodigdheden voor de gebruikelijke lasprocessen ziet u in de tabellen 5a en 5b.*

**TABEL 5a. RAEX 400/450/500. BIJPASSEND FERRITISCH LASMATERIAAL. EN-CLASSIFICATIE**

Overeenkomstige, of bijna overeenkomstige merken (Esab). Opbrengststerkte van zuiver lasmetaal, max. circa 500 MPa. De "X" in de standaard kan een of meer specificatiemarkeringen betekenen.

MAG massief draadlassen (lasmetaal)	MAG, poedergevuld lassen: Metaalgevulde draad	MAG, poedergevuld lassen: Rutile, poedergevulde draad	Booglassen onder water: Wire+ flux	Handmatig metaal booglassen
EN ISO 14341: G 46 X  OK Autrod 12.64 (G 46 3 M G4Si1, G 42 2 C G4Si1)) OK AristoRod 12.63 (G 46 4 M G4Si1, G 42 2 C G4Si1))	EN ISO 17632: T 46 X  PZ6102 (T 46 4 M M 2 H5)	EN ISO 17632: T 46 X  OK Tubrod 15.14 (T 46 2 P M 2 H5, T 46 2 P C 2 H5)	EN ISO 14171 S 46X  OK Autrod 12.32+ OK Flux 10.71 (S 46 4 AB S3Si)	EN ISO 2560: E 46 X  OK 55,00 (E 46 5 B 32 H5)
EN ISO 14341: G 42 X  OK Autrod 12.51 (G 42 3 M G3Si1, G 38 2 C G3Si1)	EN ISO 16834: T 42 X  OK Tubrod 14.12 (T 42 2 M M 1 H10, T 42 2 M C 1 H10)		EN 756 S 38 X  OK Autrod 12.22+ OK Flux 10.71 (S 38 4 AB S2Si)	EN ISO 2560: E 42 X  OK 48,00 (E 42 4 B 42 H5)

**TABEL 5b. RAEX 400/450/500. BIJPASSEND FERRITISCH LASMATERIAAL. AWS-CLASSIFICATIE**

Overeenkomstige, of bijna overeenkomstige merken (Esab). Opbrengststerkte van zuiver lasmetaal, max. circa 500 MPa. De "X" in de standaard kan een of meer specificatiemarkeringen betekenen.

MAG massief draadlassen	MAG, poedergevuld lassen: Metaalgevulde draad	MAG, poedergevuld lassen: Rutile, poedergevulde draad	Booglassen onder water: Wire+ flux	Handmatig metaal booglassen
AWS A5.18 ER70S-X  OK Autrod 12.51 (ER70S-6) OK AristoRod 12.63 (ER70S-6)	AWS A5.18 E70C-X  OK Tubrod 14.12 (E70C-6M, E70C-6C) PZ6102 (E70C-6M H4)	AWS A5.20 E71T-X  OK Tubrod 15.14 (E71T-1, E71T-1M)	AWS A5.17 F7X  OK Autrod 12.22+ OK Flux 10.71 (F7A5-EM12K)	AWS A5.1 E7018X  OK 48,00 (E7018) OK 55,00 (E7018-1)

*In deze brochure vindt u algemene suggesties. SSAB AB aanvaardt geen verantwoordelijkheid voor hun geschiktheid in afzonderlijke gevallen. De gebruiker is daarom verantwoordelijk om in elk afzonderlijk geval de nodige conditieaanpassingen aan te brengen.*



**TABEL 6. DE VOORDELEN EN KENMERKEN VAN AUSTENITISCHE GEBRUIKSARTIKELLEN BIJ HET LASSEN VAN SLIJTVASTE STAALSOORTEN.**

Goede las-eigenschappen
Prima selectie en beschikbaarheid
Hoge aankoopprijs
Het spanningsniveau van de las is laag
Zeer sterk en buigzaam lastoevoegmiddel
Een austenitische microstructuur lost waterstof op zonder gevoeligheid voor koude scheuren
Doorgaans minder behoefte aan verhoging van de werktemperatuur
Bestand tegen lasspanning

**TABEL 7a. RAEX 400/450/500. UNDERMATCHING AUSTENITISCHE LASBENODIGDHEDEN, VOORBEELDEN. EN-CLASSIFICATIE**

Overeenkomstige, of bijna overeenkomstige merken (Esab). Sterktegraad zuiver lasmetaal, max. circa 500 MPa. De "X" in de standaard kan een of meer specificatiemarkeringen betekenen.

MIG massief draadlassen	MIG, poedergevuld lassen: Metaalgevulde draad	MAG, poedergevuld lassen: Rutile, poedergevulde draad	Booglassen onder water: Wire+ flux	Handmatig metaal booglassen
EN 12072 G 18 8 Mn	EN 12073: T 18 8 Mn X	EN 12073: T 18 8 Mn X EN 14700: T Fe 10	EN 12072: S 18 8 Mn	EN 1600: E 18 8 MnX
OK Autrod 16,95 (G 18 8 Mn)	OK Tubrod 15,34 (T 18 8 Mn M M 2)	OK Tubrodur 14,71 (T Fe 10)	OK Autrod 16.97 (S18 8 Mn) + OK Flux 10,93	OK 67,45 (E 18 8 Mn B 4 2)

**TABEL 7b. RAEX 400/450/500. UNDERMATCHING AUSTENITISCHE LASBENODIGDHEDEN, VOORBEELDEN. AWS-CLASSIFICATIE**

Overeenkomstige, of bijna overeenkomstige merken (Esab). Sterktegraad zuiver lasmetaal, max. circa 500 MPa. De "X" in de standaard kan een of meer specificatiemarkeringen betekenen.

MIG massief draadlassen	MAG, poedergevuld lassen Metaalgevulde draad	MAG, poedergevuld lassen Rutile, poedergevulde draad	Booglassen onder water Wire+ flux	Handmatig metaal booglassen
AWS 5.9 ER307	AWS 5.9 EC307	AWS 5.22 EC307T-x	AWS 5.9 ER307	AWS 5.4 E307-X
OK Autrod 16,95 (ER307)	OK Tubrod 15,34	OK Tubrodur 14,71	OK Autrod 16,97+ OK Flux 10,93	OK 67,45

# 5 HET VOORKOMEN VAN KOUDSCHEUREN

Het is cruciaal, om koudscheuren te voorkomen, dat het niveau van waterstof dat in de lasnaad binnendringt laag blijft. Om onder het kritische waterstofgehalte te blijven dient u lasmethoden en toevoegmiddelen met een laag waterstofgehalte te gebruiken. Verder moeten uiteraard de lasvoorschriften van Raex worden opgevolgd. Een correcte werktemperatuur en warmtetoevoer, voor het realiseren van een passende afkoelsnelheid, spelen bij het lassen een sleutelrol. Bij meerlagige laswerkzaamheden dient u de overgangstemperatuur voldoende hoog te houden. De noodzaak om koudscheuren te voorkomen wordt groter naarmate de hardheid van het staal en de plaatdikte toenemen. Een koud opgeslagen plaat moet, vóór laswerkzaamheden of andere plaatverwerkingen, eerst grondig worden opgewarmd, minstens tot kamertemperatuur (+20°C).

## 5.1 HET ONDER CONTROLE HOUDEN VAN DE VERHARDING VAN DE MICROSTRUCTUUR VAN EEN GELASTE VERBINDING

Een martensitische microstructuur houdt in, dat de slijtvestheid goed is. Koelt de lasnaad na het lassen te snel af, dan kan martensiet in het lasmetaal en/of de door warmte beïnvloede zone van de las schadelijk hard en minder rekbaar worden. Koudscheuren wordt voorkomen door aan de hand van de juiste lasparameters de harding van de microstructuur te beperken. De hardbaarheid van staal en lastoevoegmiddelen komt naar voren in hun koolstofequivalentiewaarde.

## 5.2 HET ONDER CONTROLE HOUDEN VAN HET WATERSTOFGEHALTE

Het laag houden van het waterstofniveau in het toevoegmiddel en de door warmte beïnvloede zone is essentieel bij het tegengaan van koudscheuren. Het wordt aanbevolen om een lasmethode en toevoegmiddelen, beide met een laag waterstofgehalte, te gebruiken voor het realiseren van een waterstofgehalte van max. 5 ml/100 g. Een laag waterstofgehalte kan worden gerealiseerd met de juiste toevoegmiddelen, bijvoorbeeld gas afgeschermd booglassen (MAG) met massieve en flux-cored draad, booglassen onder water en handmatig metaal booglassen van basis gecoate staven. Bij keuze, gebruik en opslag van toevoegmiddelen moeten de voorschriften van de fabrikant in acht worden genomen.

Er dringt meer waterstof binnen in een gelaste verbinding als het oppervlak van de groef vochtig is, maar ook door vuil en verontreinigingen als vet of verf. Om koudscheuren tot een minimum te beperken, moet de bovenzijde van de groef voor en tijdens het lassen volledig droog en metaalschoon worden gehouden.

## 5.3 HET WEGNEMEN VAN RESTSPANNING IN EEN GELASTE VERBINDING

Koudscheuren kan doeltreffend worden voorkomen door restspanning zoveel mogelijk weg te nemen. De makkelijkste manier om de restspanning in gelaste verbindingen van Raex staal te verlagen, is het gebruik van bijpassende ferritische of austenitische toevoegmiddelen. Spanning kan ook verminderen via bepaalde lastechnieken. Vooral bij het lassen van dunne platen moet de grootte van de las worden geoptimaliseerd, en moeten onnodig grote lassen worden vermeden. De temperatuur moet in alle stadia van het lassen – én in de verschillende delen van de structuur – gelijk worden gehouden. Indien nodig moet de te lassen constructie worden ondersteund of vastgezet tijdens het lassen of hechtlassen.

## 5.4 PRAKTISCHE LASTIPS

In tabel 8 ziet u methoden om restspanning te verminderen en de sterkte van de lasconstructie te verbeteren

## 5.5 LASSEN ONDER DE JUISTE WERKTEMPERATUUR

De juiste hoge werktemperatuur en voldoende warmtetoevoer vertragen het afkoelen van een lasverbinding en brengen die naar de juiste snelheid. Dankzij deze maatregelen zal er geen sprake zijn van koudscheuren.

De juiste werktemperatuur wordt bepaald aan de hand van de volgende factoren:

- De staalsoort en haar koolstofequivalent.
- De gecombineerde plaatdikte.
- De warmtetoevoer
- Het waterstofgehalte van lastoevoegmiddelen
- De koolstof equivalentwaarde van lastoevoegmiddelen
- Het sterkteniveau van lastoevoegmiddelen
- De soort lastoevoegmiddelen (ferritisch/austenitisch).

De noodzaak om de werktemperatuur te verhogen neemt toe met het koolstofequivalent, de hardheid en de plaatdikte van de staalsoort. U vindt de typische koolstof equivalentwaarden van Raex staal voor elke plaatdikte in hun respectieve data sheets. Plaatspecifieke koolstof equivalentwaarden die bij het opstellen van een gedetailleerd lasplan kunnen worden gebruikt, zijn vermeld in materiaalcertificaten.

De aanbevolen werktemperaturen voor Raex 400, Raex 450 en Raex 500 worden weergegeven in figuur 7. De aanbevelingen zijn op basis van standaard EN 1011-2. De werktemperaturen gelden voor bijpassende ferritische toevoegmiddelen met een waterstofgehalte van 5 ml/100 g of minder.

De werktemperatuur wordt doorgaans verhoogd door voorverwarming. Bij meerdere lasgangen kan de energie, die tijdens een eerdere gang in de lasnaad is gebracht, voldoende zijn om de juiste bedrijfstemperatuur te handhaven voordat de volgende lasnaad aan de beurt is, zodat tijdens het lassen geen externe verwarming nodig is. Bij meerdere lasgangen gelden de werktemperatuur-aanbevelingen als de minimale overgangstemperatuur. De overgangstemperatuur mag niet lager zijn dan de werktemperatuur-aanbeveling en niet hoger dan +220°C. Hoe kleiner het waterstofgehalte dat door de las methode wordt gegenereerd, des te minder hoeft de werktemperatuur te worden verhoogd. Moeten er toevoegmiddelen HD>5 ml/100 g worden gebruikt, dan moet de werktemperatuur boven de waarden in de tabel worden getild. De noodzaak om de werktemperatuur te verhogen neemt af naarmate de warmtetoever wordt verhoogd.

Het verhogen van de werktemperatuur is vooral belangrijk bij hecht- en reparatielassen, omdat een kleine en plaatselijke las in een snel tempo afkoelt en uithardt. Het is beter om niet op de hoeken van een constructie met een lasgang te beginnen of te stoppen. Ervaring in het lassen van gehard staal leert dat voorverwarmen duidelijke voordelen heeft. Zelfs een matige voorverwarming, tot temperaturen onder +100°C, heeft een gunstige invloed op de lasbaarheid, ook als het gaat om plaatdiktes die volgens de instructies niet voorverwarmd hoeven te worden. Bij het lassen van grote en gecompliceerde constructies, evenals onder extra moeilijke omstandigheden, moet een werktemperatuur boven de tabelwaarden, maar onder +220°C worden gehanteerd. Hogere werk- of overgangstemperaturen mogen niet gehanteerd worden, vanwege hun negatieve invloed op de hardheid van de las.

**TABEL 8. PRAKTISCHE MANIEREN OM RESTSPANNING TE VERLICHTEN.**

Verlicht restspanning al tijdens de planningsfase.
Breng rigiditeitsverschillen in de afzonderlijke delen van de structuur terug naar een minimum.
Optimaliseer de grootte van de las.
Wees voorbereid op vervormingen en houd die onder controle.
Gebruik voorspanning bij het lassen van grote structuren.
Geef de voorkeur aan kleine openingen in de constructies die gelast moeten worden.
Maak bij het lassen van dikke platen slim gebruik van tweezijdige vol-penetratiegroeven.
Slijp randen en hoeken van een gelaste staalstructuur glad.
Voltooi het lassen van een moeheidskritische structuur door de verbindingen tussen lasnaden en basismetaal glad te slijpen.

**AFBEELDING 7. AANBEVOLEN WERKTEMPERATUREN (°C) VOOR HET LASSEN WANNEER DE WARMTETOEVOER IS GEKOZEN VOLGENS DE AANBEVELINGEN IN FIGUUR 8.**

Staaikwaliteit	Plaatdikte, mm							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Raex 400	+20	+75	+100	+125	+150	+175		
Raex 450	+20	+75	+100	+125	+150	+175		+200
Raex 500	+20	+100	+125	+150	+175		+200	

# 6 HET BEREIKEN VAN EEN OPTIMALE COMBINATIE VAN KENMERKEN IN GELASTE VERBINDINGEN

Sterkte, hardheid en slijtvastheid zijn vereist bij gelaste verbindingen van slijtvast staal. Afhankelijk van het gebruik en de gebruiksomstandigheden zijn onder meer slagvastheid en casusspecifieke kenmerken andere vereisten. Er zijn, ondanks de hardheid, geen andere algemene numerieke vereisten. De juiste lasparameters en de aanbevolen werktemperatuur vormen een garantie voor optimale kenmerken in de laszone.

## 6.1 AANBEVOLEN LASPARAMETERS

De aanbevolen lasparameters worden bepaald met de variabele  $t_{8/5}$ . Voor het realiseren van optimale kenmerken in een gelaste verbinding moet de geselecteerde warmtetoevoer overeenkomen met een afkoeltijd  $t_{8/5} = 10-20$  seconden. De koeltijd van 10 seconden komt bij doordacht lassen overeen met de minimale waarde van de warmtetoevoer en de koeltijd van 20 seconden met haar maximale waarde. Een te kleine  $t_{8/5}$  (snelle afkoeling) verhoogt de verharding van de HAZ en de gevoeligheid voor koudscheuren. Een te grote  $t_{8/5}$  (langzame afkoeling) vermindert hardheid, sterkte en slagvastheid van de verbinding.

Afbeelding 8 toont de aanbevolen minimum- en maximumwaarden voor warmtetoevoer voor Raex-staalsoorten. Bij de bepaling van de grenswaarden voor de warmtetoevoer is rekening gehouden met de werktemperaturen in figuur 7. De minimale warmtetoevoerwaarden in afbeelding 8 kunnen worden verlaagd door de werktemperatuur te verhogen. Dit kan bijvoorbeeld nodig zijn bij hechtlassen en het lassen van tegenlassen of grondlagen.

## 6.2 ZACHTE ZONE IN GELASTE VERBINDINGEN

Een hoge sterkte en hardheid van slijtvast staal wordt bereikt door legeren en uitharden. Bij smeltlassen gaat de temperatuur van de verbinding naar  $+1500^{\circ}\text{C}$  of hoger. Daar door ontstaan zachte zones in de verbinding bij het lassen van slijtvaste staalsoorten. Er is altijd sprake van ontharding in de HAZ. Bovendien blijft het lasmetaal doorgaans zachter dan het harde basismetaal. Een karakteristiek hardheidsprofiel van gelaste verbindingen in Raex-staal vindt u in figuur 9.

Opmerkingen over hardheidsprofiel:

- De hardheid van de HAZ in gelaste verbindingen van Raex-staal is in het algemeen lager dan die van het basismetaal.
- Het hardheidsprofiel van thermisch gesneden Raex staal van snijkant naar basismetaal volgt het hardheidsprofiel van de HAZ, twee uitzonderingen daargelaten: de maximale hardheid van de snijkant is iets groter en de zachte zone van de gesneden plaat smaller dan in een gelaste verbinding.
- De hardheid van de HAZ in normaal S355 staal is groter dan de hardheid van het basismetaal; hetzelfde geldt voor thermisch gesneden randen.

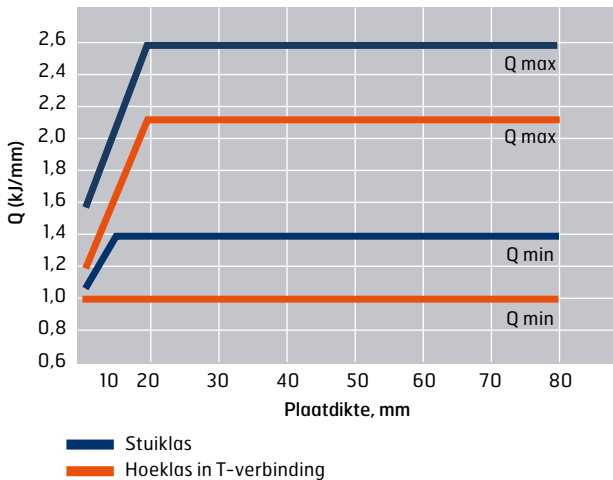
Het hardheidsprofiel van gelaste verbindingen in Raex-staalsoorten:

- De hardheid van het lasmetaal hangt af van de warmtetoevoer en de legering van de lastoevoegmiddelen.
- In de HAZ, dichtbij de fusieline, komt de hardheid overeen met die van het basismetaal.
- De verzachting van de HAZ wordt benadrukt als de warmtetoevoer wordt verhoogd, d.w.z. wanneer de afkoeltijd ( $t_{8/5}$ ) langer wordt.

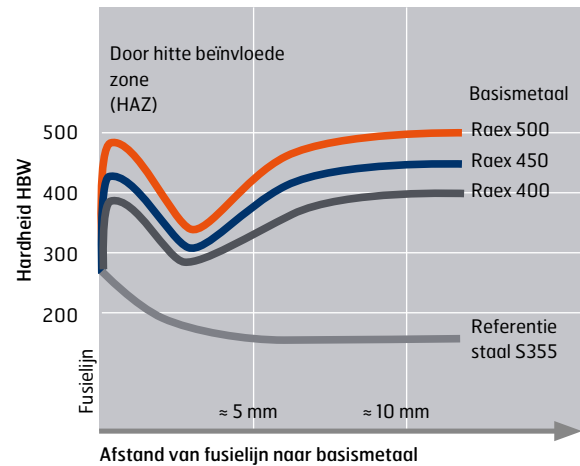
Er moet rekening worden gehouden met de door het lassen veroorzaakte verzachtende neiging, vooral als het gaat om hardere soorten en geringe diktes. Om verzachting te voorkomen moeten dunne platen worden gelast bij kamertemperatuur van  $+20^{\circ}\text{C}$  en is voorverwarming niet toegestaan. Verzachting wordt voorkomen door de warmtetoevoer te beperken en rekening te houden met de maximale werk-/overgangstemperatuur.

Bij toepassingen van slijtvast staal verkort een zachte zone doorgaans niet de levensduur van apparatuur of structuur. In toepassingen die structurele sterkte vereisen, moet bij het ontwerp echter rekening worden gehouden met de zachte zone. In dergelijke structuren mogen gelaste verbindingen niet geplaatst worden op de plekken met de meeste spanning.

**AFBEELDING 8. RAEX 400, RAEX 450 EN RAEX 500. WARMTETOEVOER (Q) AANBEVELING, BOOGLASSEN.**



**AFBEELDING 9. KENMERKEND HARDHEIDSPROFIEL VAN DE HAZ VAN EEN GELASTE VERBINDING ALS DE AANBEVOLEN T<sub>8/5</sub> AFKOELTIJDEN WORDEN GEHANTEERD.**



Vergelijking met een overeenkomend hardheidsprofiel van een standaard S355-constructiestaalsoort.

$$Q = \frac{k \times 60 \times U \times I}{1000 \times v}$$

Q = Warmtetoever (kJ/mm)  
 k = Thermische efficiëntie  
 k = 0,8 voor MAG, FCAW en MMA  
 k = 1,0 voor SAW  
 U = Spanning (V), I = Stroom (A)  
 v = Lassnelheid (mm/min)

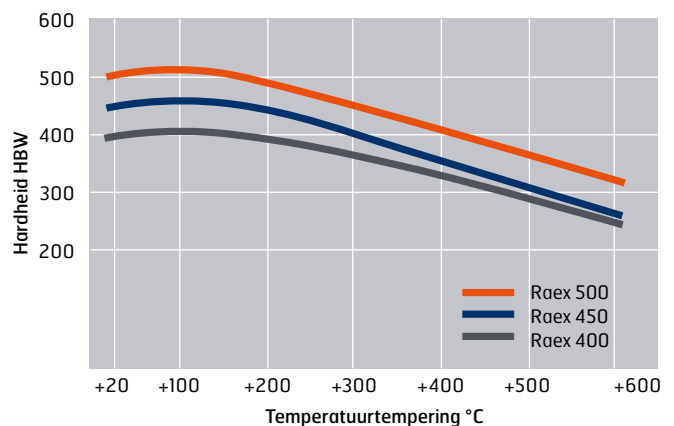
## 7 WARMTEVERWERKING

Slijtvaste staalsoorten zijn niet bedoeld om met warmte te worden behandeld. Warmtebehandeling bij verhoogde temperaturen verlaagt hun hardheids-, sterkte- en slijtvastheidskenmerken. Afbeelding 10 toont de verandering in de hardheid van Raex staal na tempering bij verschillende temperaturen. Zoals de afbeelding laat zien, is een deel van de hardheid, die door het hardingsproces is ontstaan, verdwenen bij het temperen.

Warmtebehandeling bij een temperatuur van meer dan ongeveer +250°C vermindert de hardheid. Raex staalsoorten kunnen dus niet spanningsvrij gemaakt worden zonder vermindering van hun hardheid. Warmtebehandeling na het lassen (PWHT) wordt respectievelijk niet aanbevolen.

In sommige toepassingen wordt, na het lassen of andere machinewerkzaamheden, gehard staal naar keuze getemperd of spanningsvrij gemaakt. In dit geval worden de mechanische kenmerken die een dergelijke warmtebehandeling met zich meebrengt aanvaard. De stevigheid van gehard staal kan door tempering worden verbeterd - dit kan de reden zijn voor de keuze van bewuste warmtebehandeling. Spanningsverlichting kan de spanning verminderen, die in een stalen plaat ontstaat tijdens de fabricage in de werkplaats.

**AFBEELDING 10. HET EFFECT VAN TEMPERATUURTEMPERING OP DE HARDHEID.**



De hardheidswaarden zijn gemeten bij kamertemperatuur na tempering bij verhoogde temperaturen. De wachttijd was 2 uur, waarna het staal in lucht afkoelde naar kamertemperatuur.

# 8 HET GEDRAG VAN STAAL BIJ THERMISCH SNIJDEN

Dikke platen en grote objecten worden over het algemeen volgens thermische methoden gesneden. Tijdens het thermisch snijden ondergaat het stalen oppervlak een plaatselijke warmtebehandeling tot op een diepte van enkele millimeters vanaf de snijkant, inclusief veranderingen in de microstructuur. Door deze veranderingen vormen zich op de snijrand zowel een harde als een zachte laag.

## 8.1 PROCEDURE VOOR THERMISCH SNIJDEN

Het oppervlak van thermisch gesneden staal ondergaat een korte opwarming, tot bijna het smeltpunt van staal. Na het snijden koelt de snede snel af, tenzij de afkoelsnelheid onder controle wordt gehouden. Bij thermisch snijden ondergaat staaloppervlak microstructurele veranderingen, soortgelijk aan de HAZ. Het buitenste oppervlak van de snede verhardt. Het geharde oppervlak is gevoelig voor koudscheuren. Onder het verharde oppervlak heeft zich een zachte zone gevormd, figuur 11. De zachte zone is gloeiend heet geweest. De breedte van beide zones hangt af van de snijmethode en de snijparameters.

## 8.2 DE HARDHEID VAN HET OPPERVLAK ONDER CONTROLE HOUDEN DOOR VERHOGING VAN DE WERKTEMPERATUUR

Bij thermisch snijden verdient het aanbeveling om de hardheid van het oppervlak dat de warmtebehandeling ondergaat in de gaten te houden, om er zeker van te zijn dat het onbeschadigd blijft. Een voldoende lage maximale hardheid voorkomt scheurvorming aan de snijkant. Voorverwarming wordt vaak gebruikt om het uitharden onder controle te houden. De aanbevolen werktemperaturen voor thermisch snijden worden weergegeven in figuur 12.

Voorverwarmen tot boven de kamertemperatuur kan worden vermeden als de snijsnelheid voldoende laag wordt ingesteld en snijkoppen en andere apparatuur dienovereenkomstig worden gekozen. Voor het kiezen van de beste snijmethode is het raadzaam contact op te nemen met onze Technische Klantenservice of met de fabrikant van de snijapparatuur.

## 8.3 HET VOORKOMEN VAN ONTHARDING BIJ THERMISCH SNIJDEN

De snijenergie van grote staalsecties wordt vrij overgebracht op de omringende plaat. Dat versnelt de koeling van het snijgebied en beperkt de breedte van de zachte zone. Bij het vlamsnijden van platen met een dikte van 30 mm of minder moet de afstand tussen de snijlijnen echter ten minste 200 mm bedragen om te voorkomen dat de hele plaat zacht wordt. De snijvolgorde kan probleemloos worden gebruikt om het ontharden te regelen. Verminderde sectiegrootte en plaatdikte verhogen de ontharding. Bij kleine secties hopen de (door het snijden opgewekte) thermische energie en de mogelijke voor-

verwarming zich op in de snede, waardoor het koelen wordt vertraagd. De minst verzachting veroorzakende van alle thermische snijmethoden zijn lasersnijden en plasmasnijden van de juiste diktes. De zachte zone van laser- of plasmagesneden staal is smaller dan die van vlamgesneden staal (figuur 13). Met ondergedompeld plasma- en vlamsnijden wordt de verzachting van het snijgedeelte efficiënt in de hand gehouden. Dat maakt die methodes geschikt voor het snijden van profielen van alle groottes. Om het ontharden onder controle te houden wordt aanbevolen koude snijmethoden te gebruiken, bijvoorbeeld niet-thermisch waterstraalsnijden of -schuren.

## 8.4 PRAKTISCHE TIPS VOOR THERMISCH SNIJDEN

In de werkplaats moet rekening worden gehouden met het effect van minus graden op de plaatverwerkingskenmerken. Platen die in een koude omgeving zijn opgeslagen, moeten ruim voor het vlamsnijden en lassen worden aangevoerd. Afbeelding 13 toont de tijd die nodig is voor het opwarmen, als een stalen plaat binnen wordt gebracht vanuit een temperatuur onder nul. De metingen werden uitgevoerd voor platen van drie verschillende diktes, in februari in Noord-Finland.

De test van figuur 13 gaf de volgende opwarmingsresultaten, van -20°C tot +17°C:

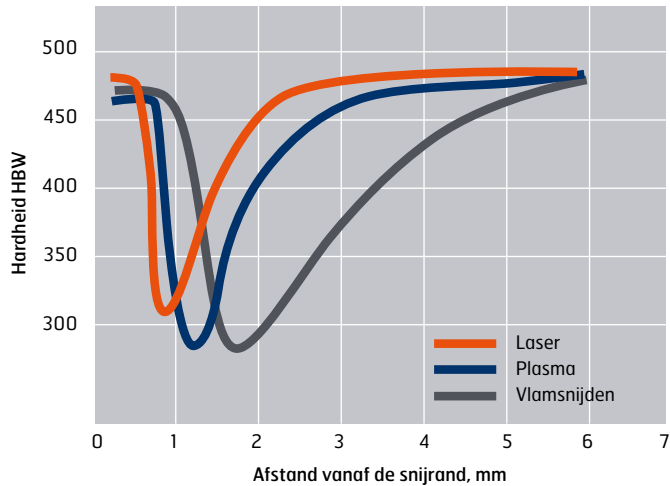
- ongeveer 8 uur voor een plaat van 12 mm
- ongeveer 12 uur voor een plaat van 21 mm
- ongeveer 17 uur voor een plaat van 40 mm

Het oppervlak en het binnenste van de plaat warmen gelijkmatig op. Grotere en dikkere platen, die op elkaar zijn gestapeld, warmen langzamer op. In de regel warmt een koude plaat (breedte 2 m, lengte 6 m) die buiten in een temperatuur onder nul is opgeslagen, in ongeveer 24 uur op tot kamertemperatuur.

Praktische tips:

- Vóór snijden moeten koude platen grondig naar kamertemperatuur (+20 °C) worden opgewarmd.
- Platen die vanuit een koude opslag komen, moeten daags van tevoren naar de machinewerkplaats worden gebracht.
- Koude platen moeten worden opgeslagen op houten dragers.
- Een koude 40 mm plaat (-20°C) warmt in ongeveer 24 uur op naar kamertemperatuur (+20°C).
- Bij het snijden van dikke platen moet een verhoogde werktemperatuur worden gebruikt, conform figuur 12.
- Voor metaalspanafvoer van een thermisch gesneden deel moeten het geharde oppervlak en de scherpe randen weg geslepen worden.

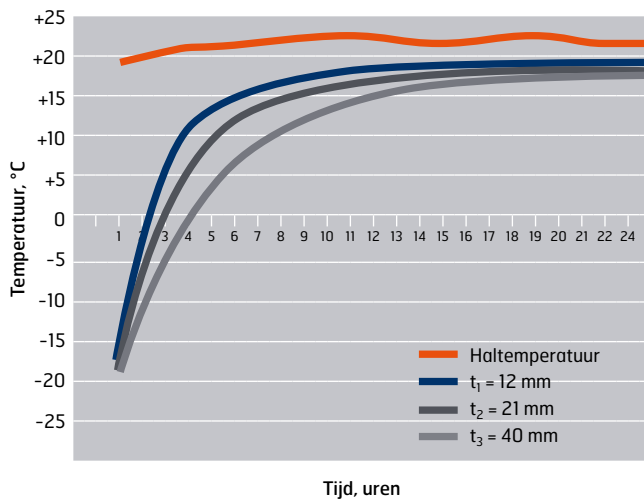
**AFBEELDING 11. SLIJTVASTE STAALPLAAT, 6 mm.  
TYPISCH HARDHEIDSPROFIEL VAN EEN THERMISCH  
GESLEPEN OPPERVLAK GETOOND VANUIT DE SNIJRAND  
NAAR HET BASISSTAAL.**



**AFBEELDING 12. AANBEVOLEN WERKTEMPERATUREN (°C) VOOR VLAMSNIJDEN.**

Staalkwaliteit	Plaatdikte, mm						
	10	20	30	40	50	60	70
Raex 400	+20	+75	+100	+125	+150	+175	
Raex 450	+20	+75	+100	+125	+150	+175	
Raex 500	+20	+100	+125	+150	+175		

**AFBEELDING 13. DE OPWARMTIJD VAN KOUDE (-20°C)  
STAALPLATEN IN EEN HAL MET EEN TEMPERATUUR  
TUSSEN +20°C EN +22°C.**



Plaatafmetingen 12 x 1000 x 2000, 21 x 1000 x 1600  
en 40 x 1000 x 2000 mm.

CONTACT