

KORSZERŰ ANYAGOK HEGESZTHETŐSÉGE ANKÉT

MISKOLC

GÁZTURBINA ALKATRÉSZEK HEGESZTÉSE GE HUNGARY KFT-NÉL



HODREA Vasile
EWE/IWE/NDT L3
2025.03.20

GE VERNOVA - GAS POWER VERESEGYHÁZ



Több célú létesítmény



**Nagy teljesítményű
gázturbina komponensek
gyártása**

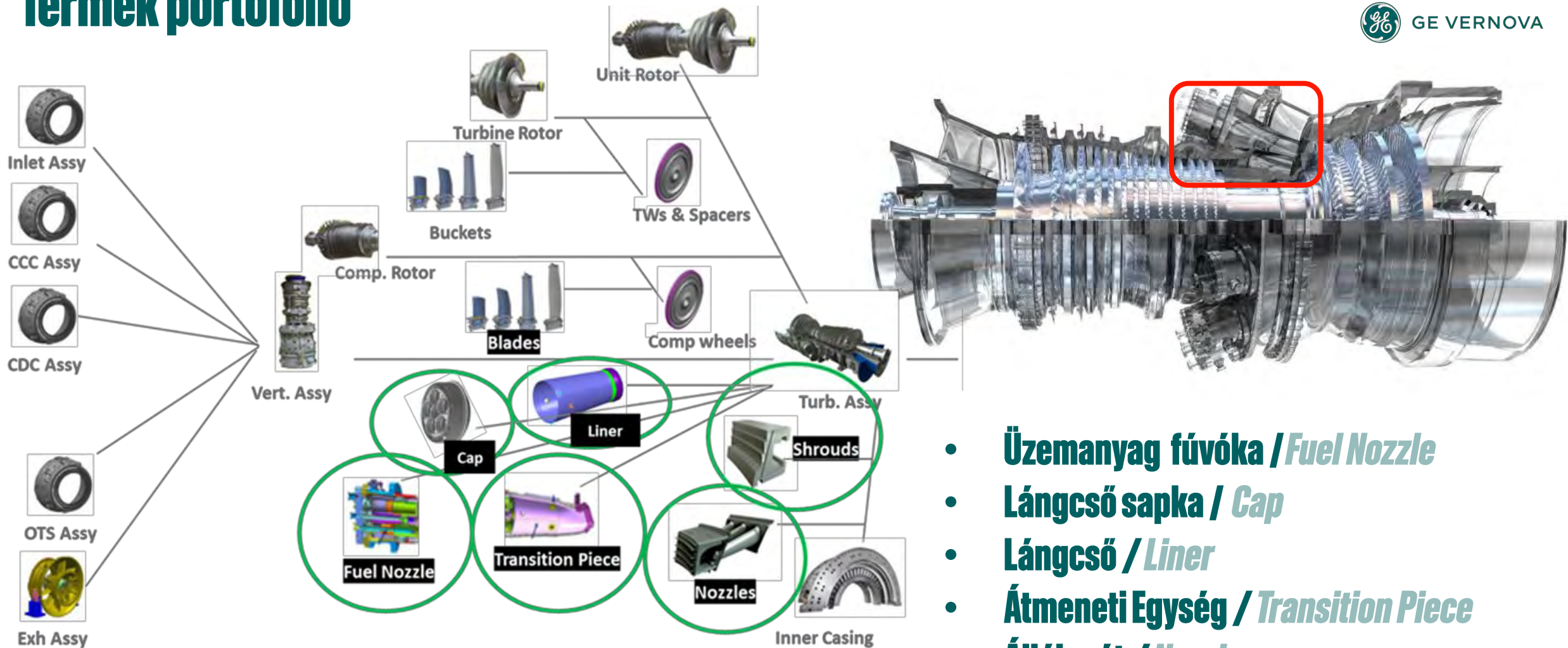


**Nagy teljesítményű gázturbina
komponensek javítása**



**Moduláris erőművek
összeszerelése
LM6000; LM2500 , TM2500**

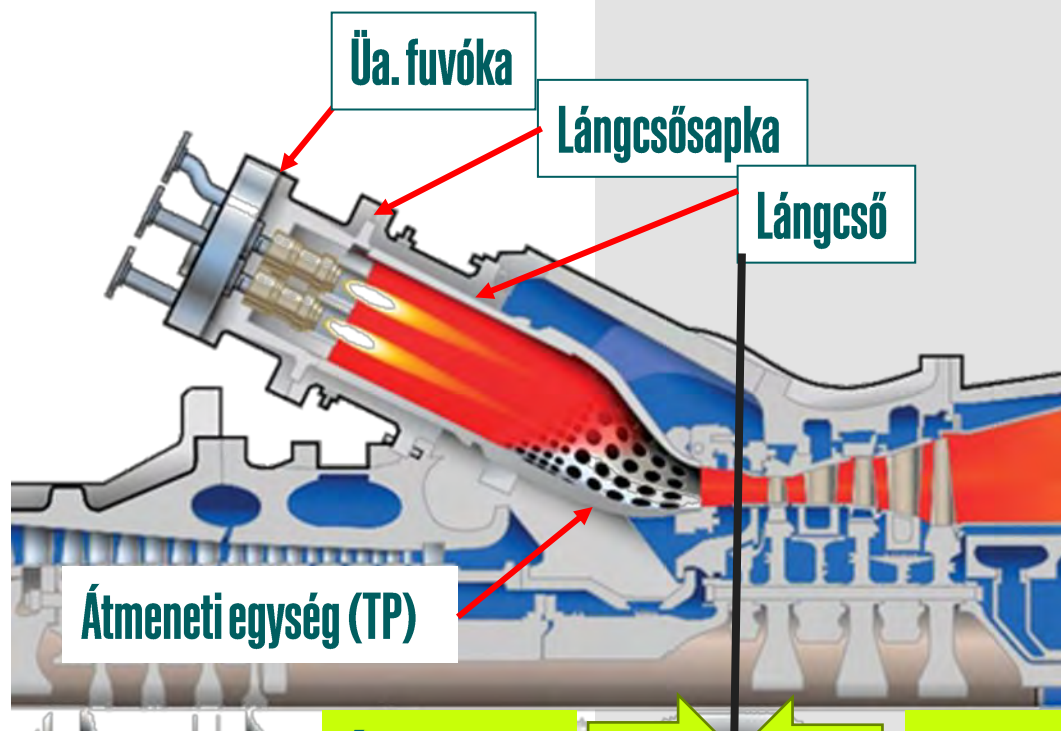
Termék portofólió



- Üzemanyag fúvóka / *Fuel Nozzle*
- Lángcső sapka / *Cap*
- Lángcső / *Liner*
- Átmeneti Egység / *Transition Piece*
- Állólapát / *Nozzle*
- Diafragma / *Diahragm*
- Tömítőelem / *Shroud*

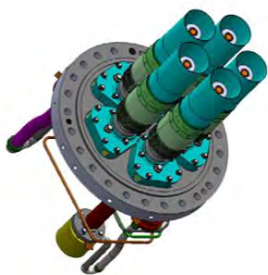
Gázturbina komponensei

Égésitér (Combustion)



Égésitér

Gázturbina



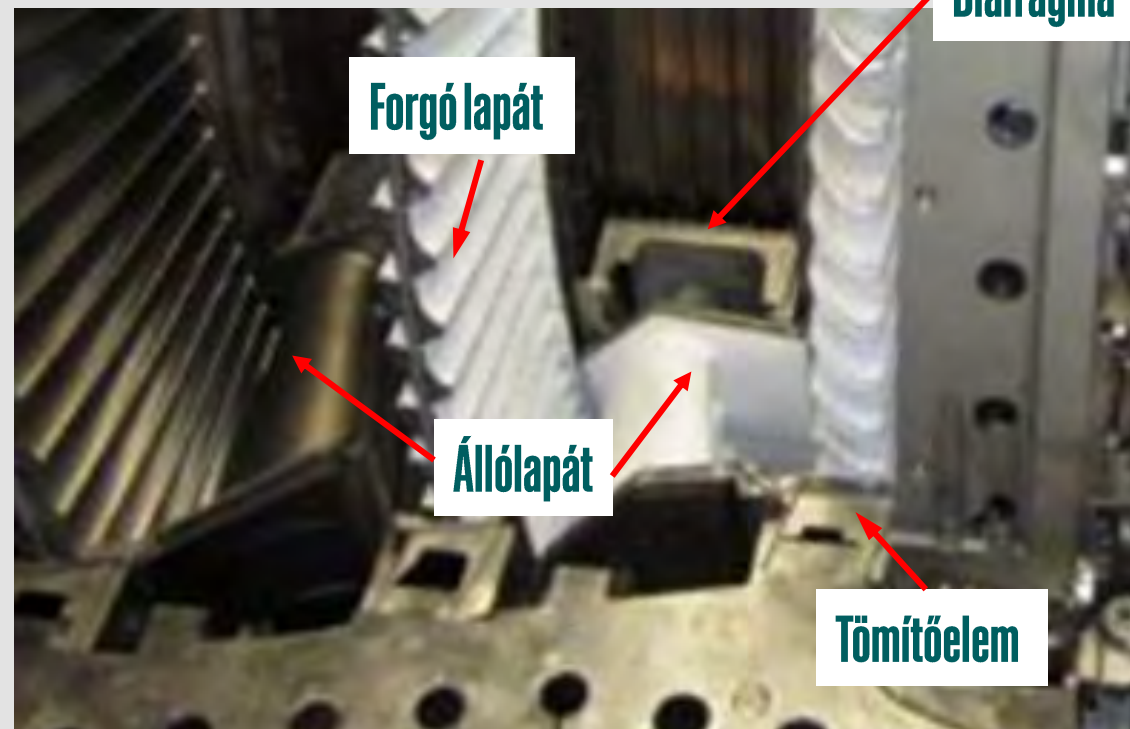
Lángcsősapka

Üa. fuvóka

Lángcső

Átmeneti egység

Gázturbina állórész



Állólapát

Diafragma

Tömítőelem



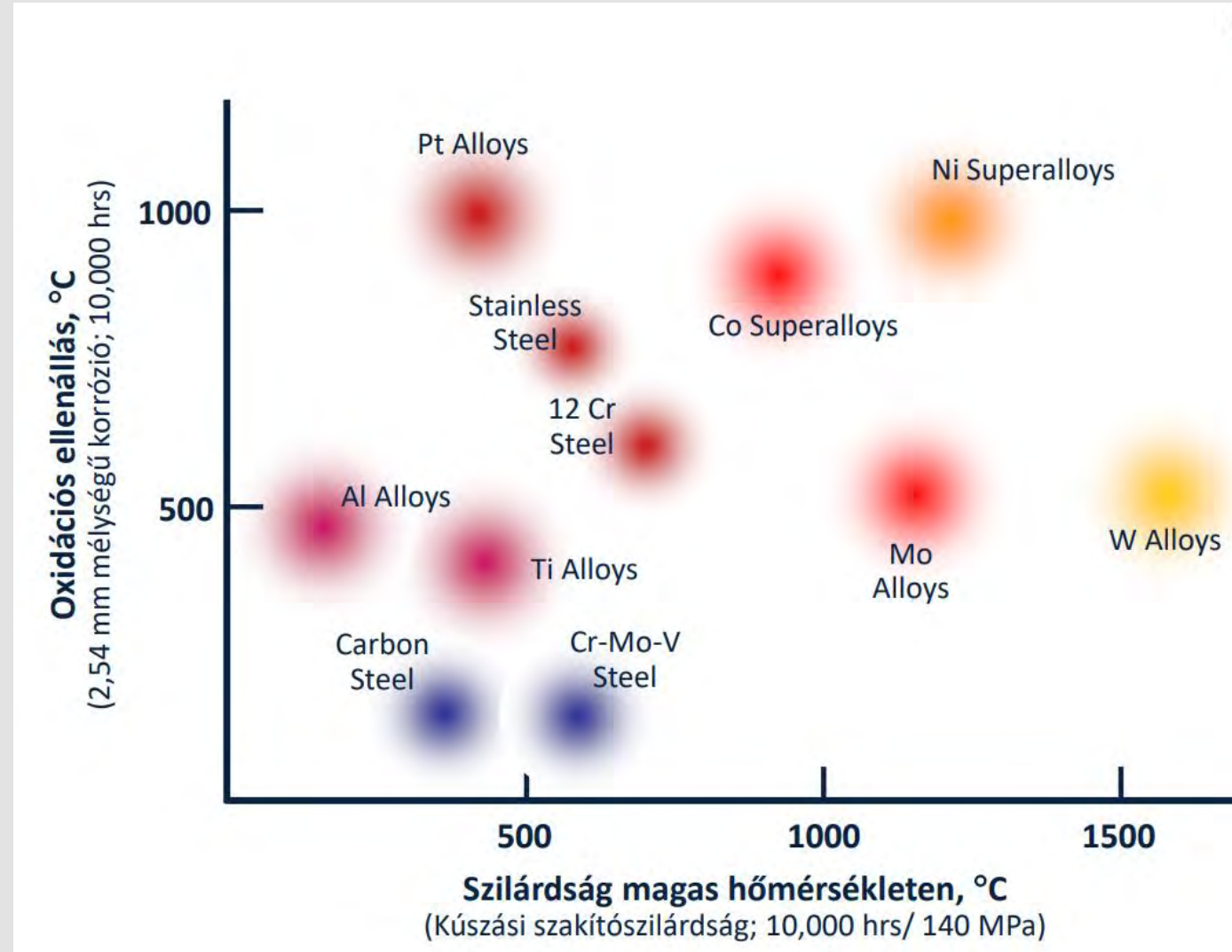
GE VERNOVA

Gázturbina oldalnézet



Gázturbina alkatrészek üzemi körülménye

- **Magas üzemi hőmérséklet**
- **Jelentős statikus igénybevétel (nyomás, füstgáz sebessége) → *kúszás***
- **Oxidáló atmoszféra**
- **Nem egyenletes hőmérséklet eloszlás → *hőfáradás***



Nikkel ötvözetek

- Felületen középpontos köbös kristályszerkezet
- Oxigén iránti affinitása lényegesen kisebb, mint az acélnak
- Jó alakíthatóság, önthetőség
- Nincs allotróp módosulata, még szobahőmérsékleten is FKK
- Alapvetően jó hegeszthető

Gázturbinába felhasznált alapanyagok:

Vas ötvözetek

Hőálló és korrozíóálló acélok AISI 304 ; 321 ; 347 ; 316 ; 410 ; 17-4 PH

Ni ötvözetek

Hastelloy X, Inconel 625, Nimonic 263;

Co ötvözetek

Hayness 25 (L605) ; Hayness 188

Ni öntvények

GTD 111 ; GTD222 ; GTD 242 ; GTD262, René108

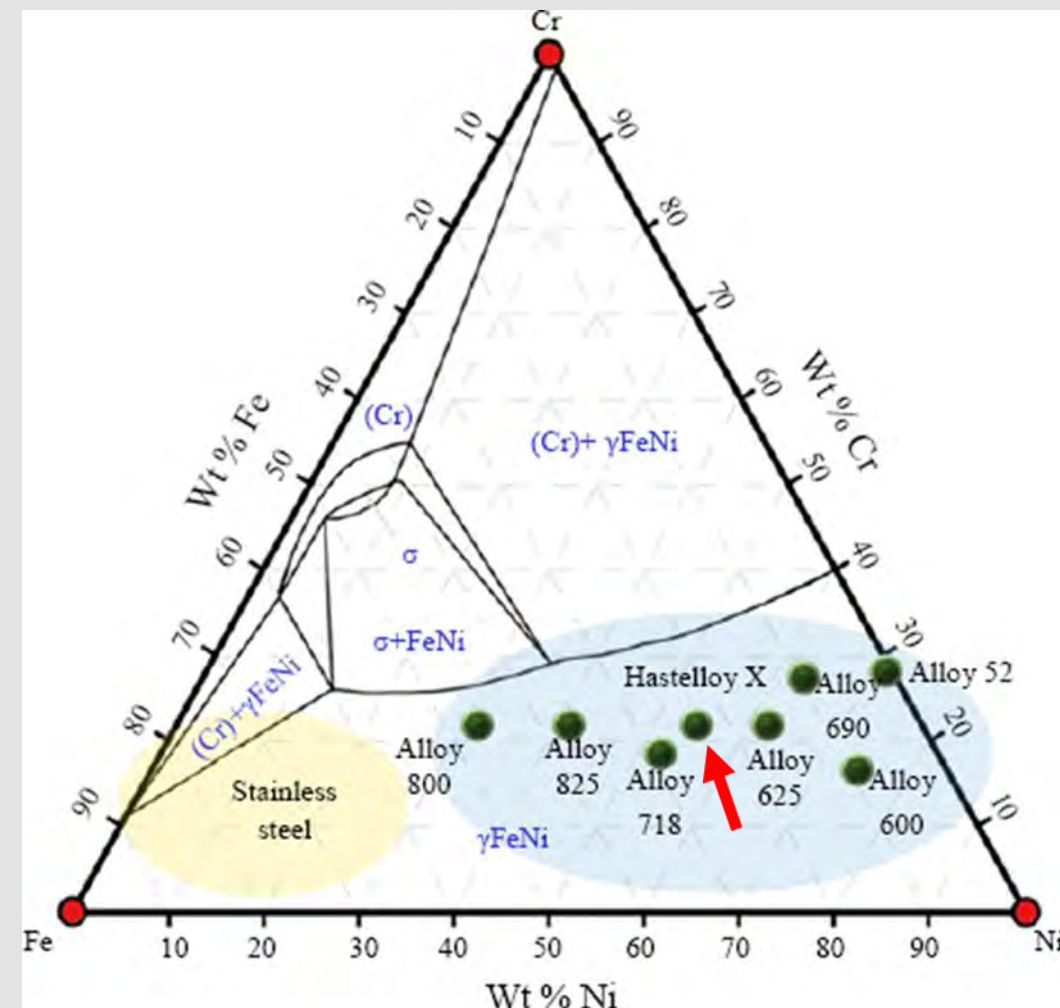
Co öntvények

FSX 414

Hastelloy X – Ni bázisú ötvözet (W 2.4665 ; UNS N06002)

Homogenizált állapotban (oldatban) szilárdított nikkel ötvözet.

- Fő ötvözői : Cr ; Fe és Mo
- Az oxidációval és redukcióval szemben kiemelkedően ellenálló
900 °C / 200 h -> 0.08 mm és 900 °C / 1000 h -> 0.17mm
anyagfogyás
- Emelt hőmérsékleten (850 °C) is jó szilárdsági jellemzőkkel (R_m = 310 MPa) bír-kifejezetten ellenálló a feszültségkorróziós repedésekkel szemben
- Jó szívóssági és kúszási tulajdonság 850 °C-on
- Karbidok jelen vannak a fém matrix-ban
MC, M₆C, M₂₃C₆ karbid alkotó elemek a Cr, Mo és W.
- A Hastelloy X ötvözetben a gamma-prím (γ') fázis nem jellemző.



Ni-Fe-Cr háromalkotós fázisdiagram

Hastelloy X - Vegyiösszetétele és mechanikai tulajdonságai

Nominal Chemical Composition, Weight Percent

Ni	Cr	Fe	Mo	Co	W	C	Mn	Si	B
47 ^a	22	18	9	1.5	0.6	0.10	1*	1*	0.008*

^aAs balance *Maximum

Form	Condition	Test Temperature		Ultimate Tensile Strength		Yield Strength at 0.2% Offset		Elongation in 2 in. (50.8 mm)
		°F	°C	Ksi	MPa	Ksi	MPa	%
Sheet 0.045-0.060 in. (1.1-1.5 mm) thick	Bright Annealed at 2150°F (1177°C), Hydrogen Cooled	Room		111.2	767	54.9	379	44
		1000	538	89.0	614	35.6	245	49
		1200	649	84.2	581	35.4	244	54
		1400	760	67.1	463	34.4	237	53
		1600	871	44.9	310	28.1	194	59
		1800	982	25.6	177	13.2	91	66

AISI 316 SS acél

20°C Rp_{0.2}=205MPa

550°C Rp_{0.2}=110MPa

Hastelloy X – Ni bázisú ötvözet hegeszthetősége

Jó alakítható és hegesztési tulajdonságokkal rendelkezik

Ajánlott technológia: AVI (GTAW), MIG (GMAW), Plazma (PAW), Lézer (LBW) , Ell. pont heg. (RSW)

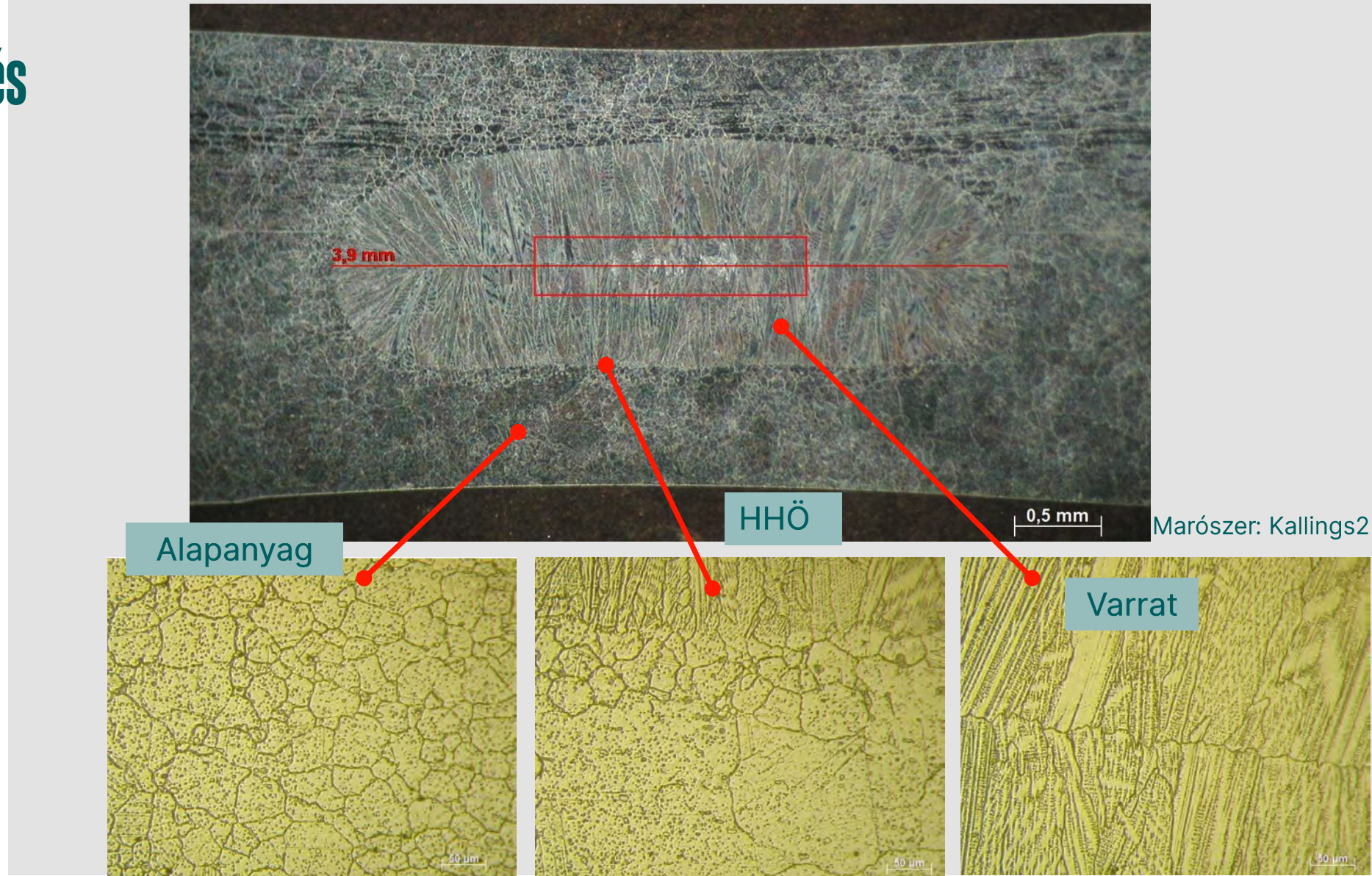
Homogenizált (1050°C) + gyorshűtött - hőkezelt állapotban ajánlott hegeszteni. Előmelegítés nem szükséges.

- **Volfrám elektródás ívhegesztés (141/GTAW):**
Kiválóan alkalmas vékony anyagok hegesztésére, jó minőségű hegesztési varratot eredményez.
- **Fogyóelektródás inertvédőgáz ívhegesztés (131/GSAW):**
Gyors és hatékony, különösen vastagabb anyagok esetén.
- **Bevontelektródás kézi ívhegesztés (111/SMAW):**
Helyszíni hegesztési munkákhoz (kazán bélés kamra), turibna alkatrészek hegesztésére nem ajánlott.
- **Vill. ellenállás ponthegesztés (21/RSW):**
Vékony lemezek gyors hegesztésére ajánlott

Hastelloy X - Ni bázisú ötvözet hegeszthetősége

Ellenállás ponthegeztés

1.57 + 1.14 mm



Hastelloy X - Vegyes kötések

AVI (141) – Kézi hegesztés

Lv. 1.5mm

Hastelloy X

Inconel 625

Lencse E20X20 2024.09.12 1mm

Marószers: Kallings2

Hastelloy X – $[1260 \div 1355]$ °C olvadási hőmérséklet
Inconel 625 – $[1290 \div 1350]$ °C olvadási hőmérséklet

AVI (141) – Automata heg.

Lv. 2.5mm

Hastelloy X

AISI 316

Lencse E20X10 2024.09.12 0,1mm

Marószers: Kallings2

Hastelloy X – $[1260 \div 1355]$ °C olvadási hőmérséklet
AISI 316 – $[1375 \div 1400]$ °C olvadási hőmérséklet

Hastelloy X - Vegyes kötések

AVI (141) – Kézi hegesztés

Lv. 1.5mm

SS347 casting

Hastelloy X

Marószer: Kallings2

Hastelloy X – $[1260 \div 1355]$ °C olvadási hőmérséklet
Cast SS 347 – $[1398 \div 1446]$ °C olvadási hőmérséklet

AVI (141) – Kézi hegesztés

Lv. 1.5mm

(WI-CAP7FA-003) 25x

Nimonic 263

Hastelloy X

Hastelloy X

Marószer: Kallings2

Hastelloy X – $[1260 \div 1355]$ °C olvadási hőmérséklet
Nimonic 263 – $[1300-1355]$ °C olvadási hőmérséklet

Nimonic 263 – Ni bázisú ötvözet (W 2.4650 ; UNS N07263)

- Fő ötvözői : Cr ; Co és Mo - (Fe csak szennyezőként van jelen)
- Emelt hőmérsékleten (900 °C) is jó szilárdsági tulajdonságok
- Jó szívóssági és kúszási tulajdonság 850 °C-on
- Az oxidációval és redukcióval szemben kiemelkedően ellenálló
870 °C / 1000 h -> 0.03 mm és 982 °C / 1000 h -> 0.06 mm anyagfogyás
- Kiválasosan keményedő Ni ötvözet , öregedési hőkezelés után jó szilárdsági tulajdonsággal bír
- Kiváló alakíthatóság homegenizált állapotban (oldott)
- Mikroszerkezete többnyire kétfázisú, gamma (γ) és gamma-prime (γ') fázis, a nagy szilárdságért magas hőmérsékleten(900°C) és kúszással szembeni ellenállóságért a γ' fázis felel, ennek aránya függ a kémiai összetételtől és a hőmérséklettől.

Nimonic 263 - Mecknanikai tulajonságai és vegyi összetétele

Nominal Composition

Weight %

Nickel:	52 Balance
Cobalt:	20
Iron:	0.70 max.
Chromium:	20
Molybdenum:	6
Manganese:	0.40
Silicon:	0.20
Aluminum:	0.60 max.
Titanium:	2.40 max.
Carbon:	0.06
Boron:	0.005 max.
Zirconium:	0.04 max.
Aluminum + Titanium:	2.60

Tensile Properties

Cold-Rolled Sheet, Solution Treated and Aged

Test Temperature		0.2% Yield Strength		Ultimate Tensile Strength		Elongation
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	89.2	615	151.0	1041	35.8
400*	204*	82.3*	567*	139.6*	963*	40.9*
800*	427*	80.4*	554*	126.7*	874*	39.6*
1000	537	76.4	527	124.8	860	42.1
1200	649	75.2	518	130.7	901	36.9
1400	760	76.0	524	100.9	696	26.6
1500*	816*	68.2*	470*	77.3*	533*	35.2*
1600	871	43	296	50.5	348	58.1
1700	927	17.0	117	25.0	172	105.2
1800	982	12.3	85	17.9	123	95.1
2000	1093	5.5	38	9.0	62	103.6

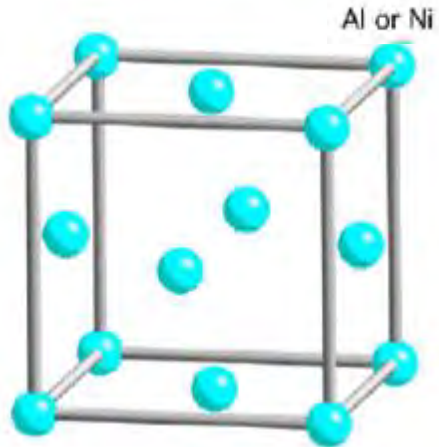
* Limited data

Öregítés: 800°C / 8 h + gyors hűtés.

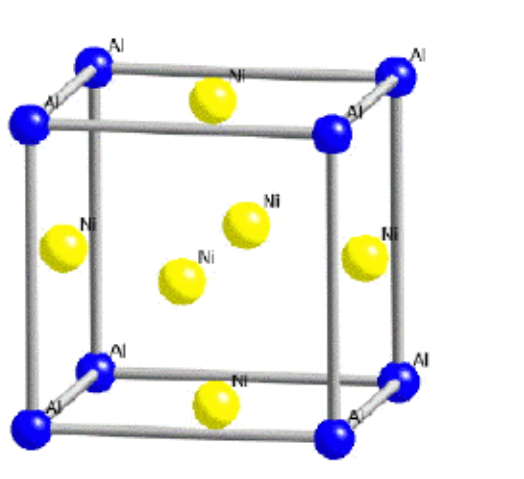
20 (°C) - $R_{p0.2} \sim 60\% R_m$
 870 (°C) - $R_{p0.2} \sim 85\% R_m$

Nimonic 263 – Ni bázisú ötvözet

γ - fázis



γ' - fázis



γ' - $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ típusú intermetallikus vegyület.

A γ fázis alkotja a mátrixot - a γ' fázis kiválásként van jelen.

$\gamma' - (\text{Ni}, \text{Co})_3(\text{Ti}, \text{Al})$

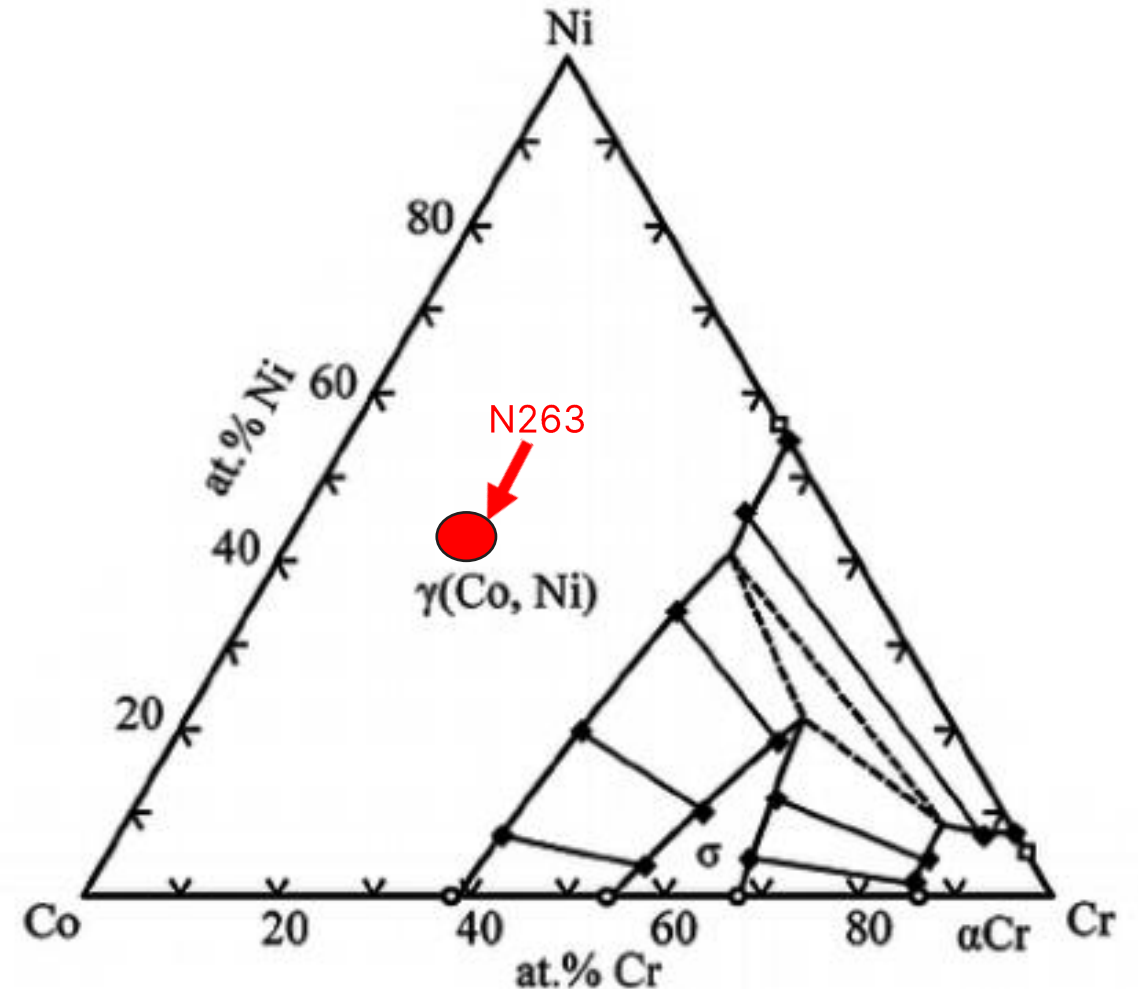
$\mu - (\text{Ni}, \text{Co})_3(\text{Ti})$

LKK

$a_0 = 0.35 \text{ nm}$

Hex

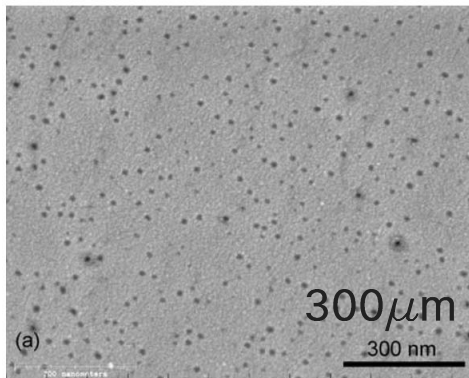
$a_0 = 0.51 \text{ nm}$



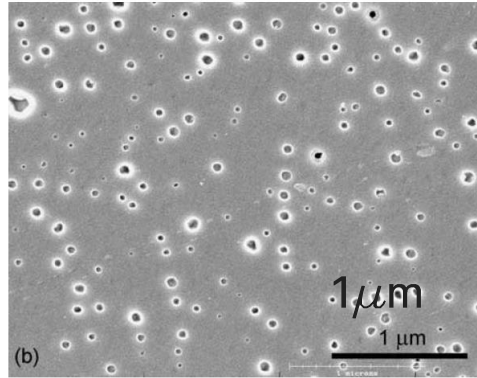
Nimonic 263 tájalása a Ni-Cr-Co háromalkotós fázisdiagram
1000°C-nál

Nimonic 263 - Ni bázisú ötvözet

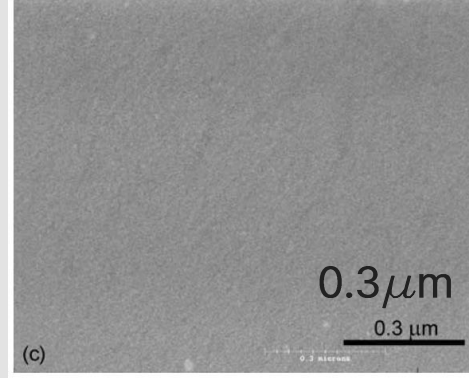
Egy adott kémiai összetételben a γ' aránya csökken a hőmérséklet növekedésével, (kb. 1050 °C) a γ' fázis oldódik.



750°C/50h

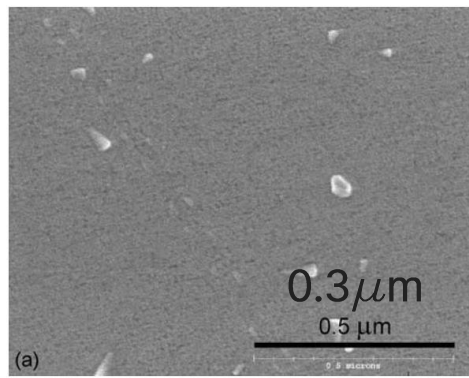


850°C/50h

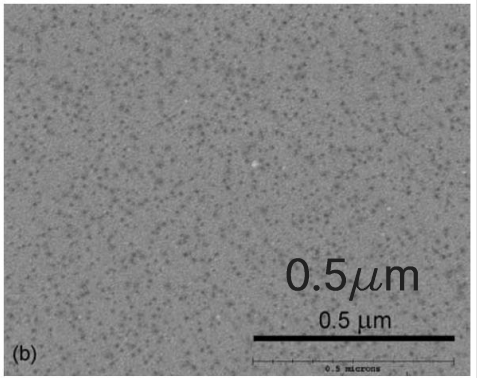


900°C/50h

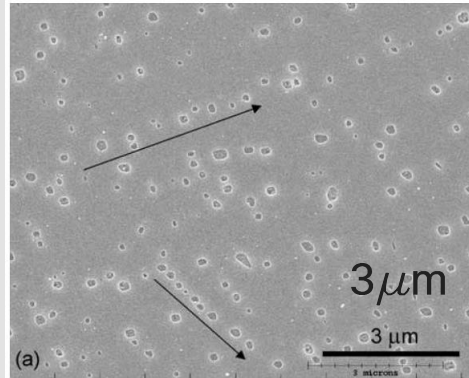
Oldódási irány



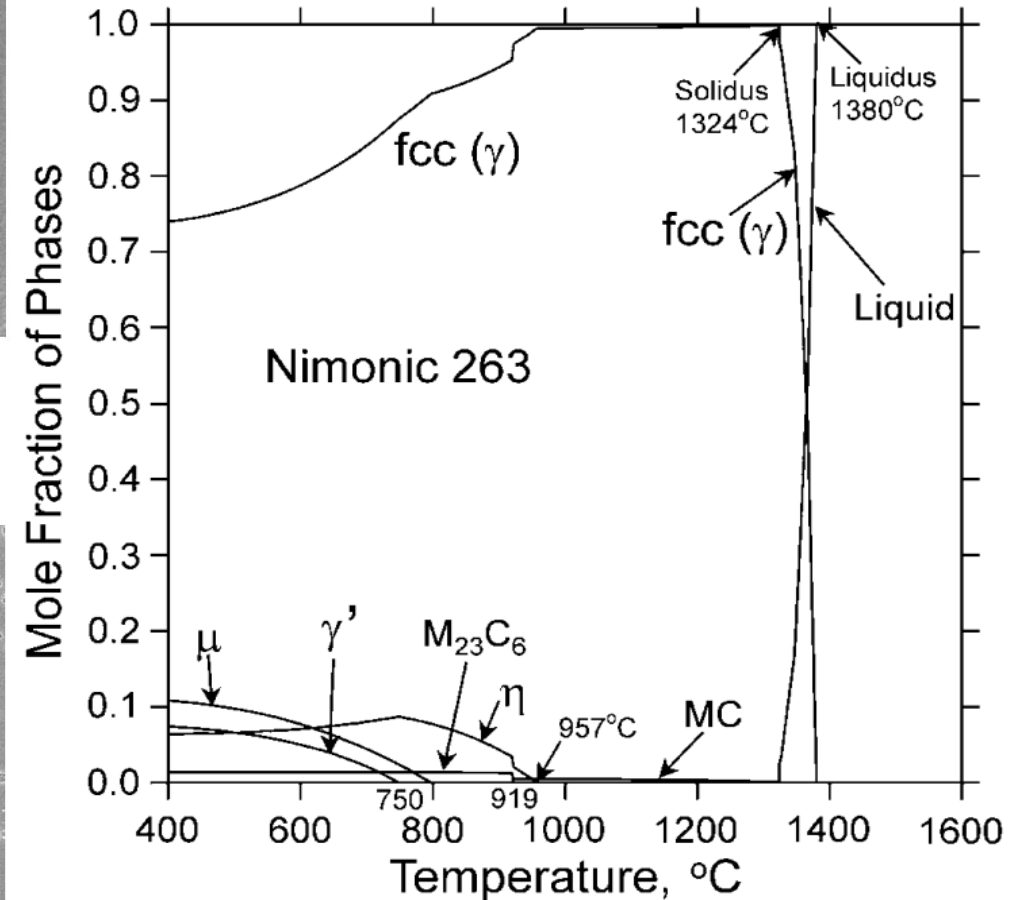
750°C/2h



750°C/8h



850°C/1000h



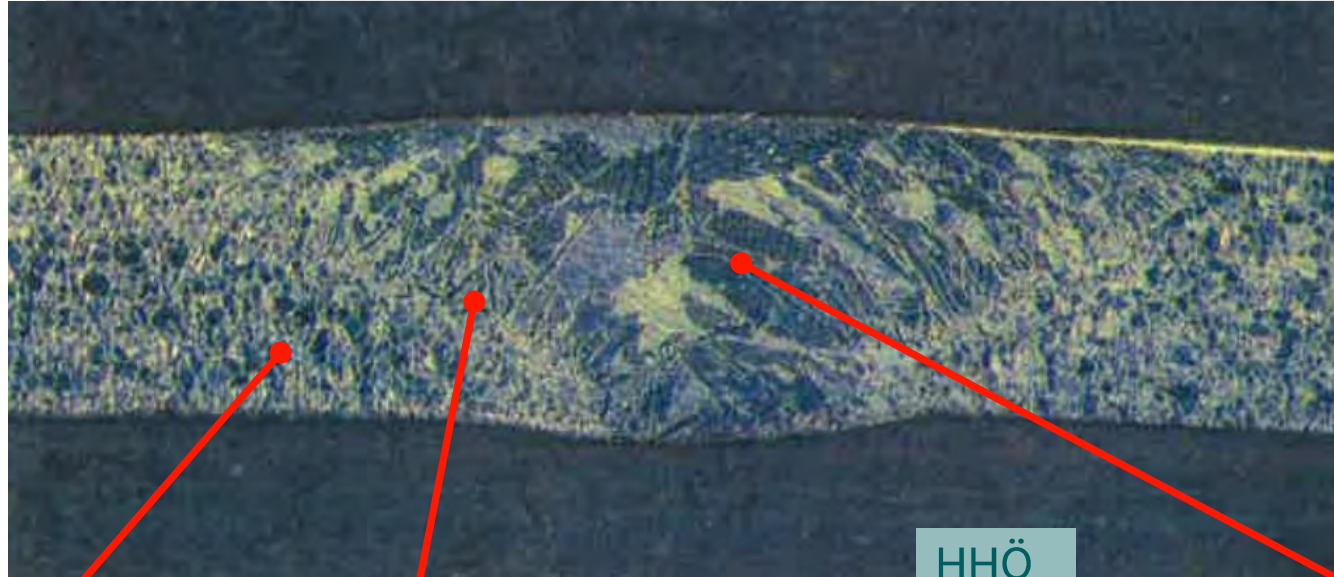
Kiválási irány

Nimonic 263 – Ni bázisú ötvözet hegeszthetősége

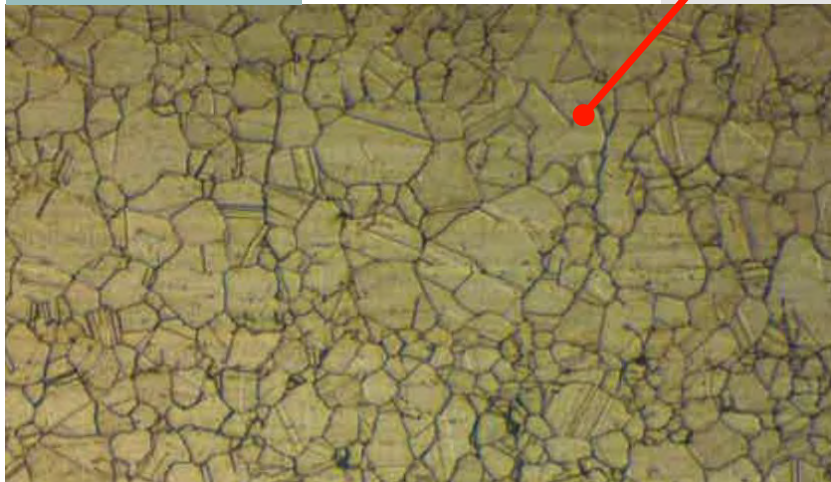
- Jó alakítható és hegesztési tulajdonságokkal rendelkezik
- Ajánlott technológia: AVI(GTAW), MIG (GMAW), Plazma (PAW), Lézer (LBW) , Ell. pont heg. (RSW)
- Homogenizált (1050°C) + gyorshűtött hőkezelt állapotban ajánlott hegeszteni. Előmelegítés nem szükséges.
- Hegesztés után homigenizáló 1050°C / 2 h utána örgítés 800°C / 8 h + gyors hűtés - hőkezelés ciklus kötelező.
- Volfrám elektródás védőgáz as ívhegesztés (141/GTAW):
Kiválóan alkalmas vékony anyagok hegesztésére, jó minőségű hegesztési varratot eredményez.
- Fogóelektródás inertvédőgáz as ívhegesztés (131/GMAW):
Gyors és hatékony, különösen vastagabb anyagok esetén , turbina alakatrészeknél nem ajánlott

Nimonic 263 - Ni bázisú ötvözet hegeszthetősége

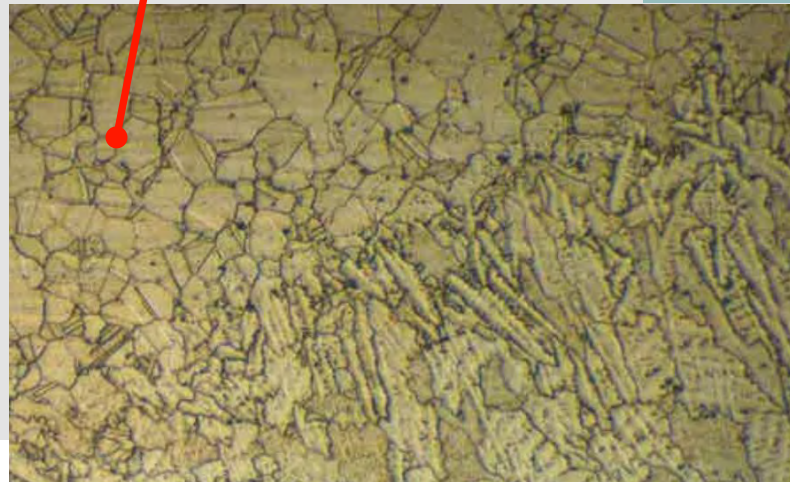
Automata AVI hegesztés - Lemez - 1mm



Alapanyag

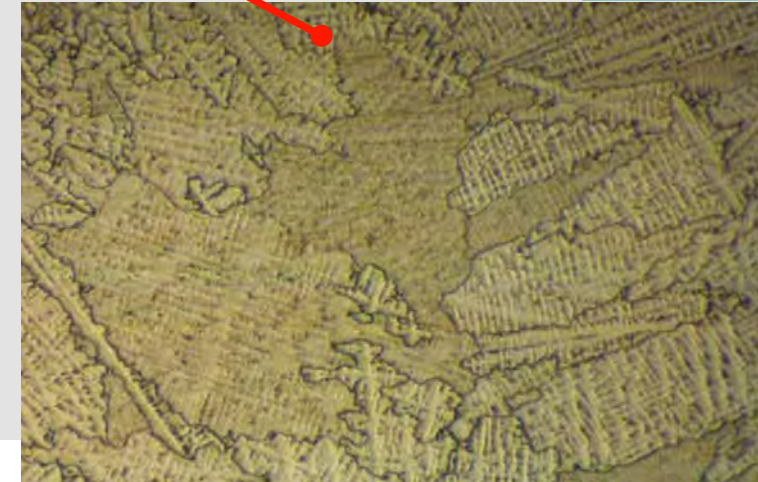


HHÖ



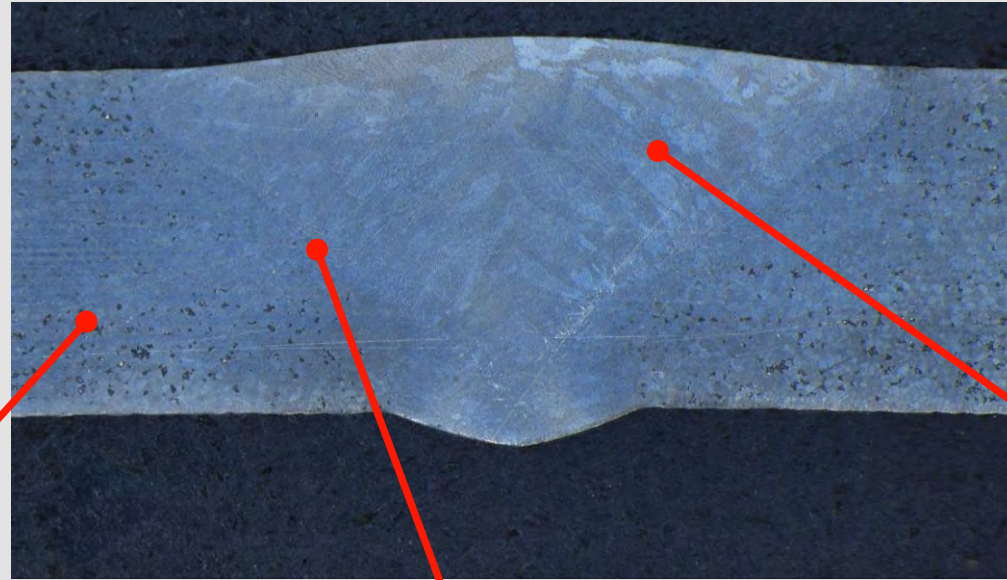
Marószet: Kallings2

Varrat



Nimonic 263 - Ni bázisú ötvözet hegeszthetősége

Automata Plazma hegesztés - Lemez - 4.76mm

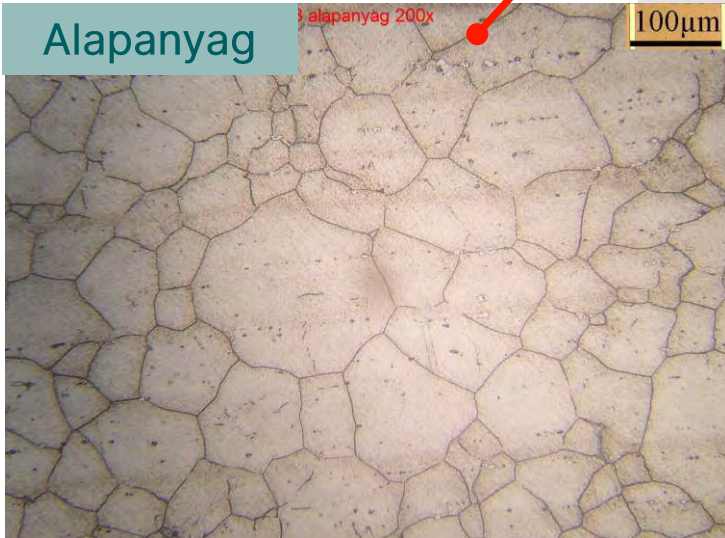


Marószers: Kallings2

Alapanyag

Alapanyag 200x

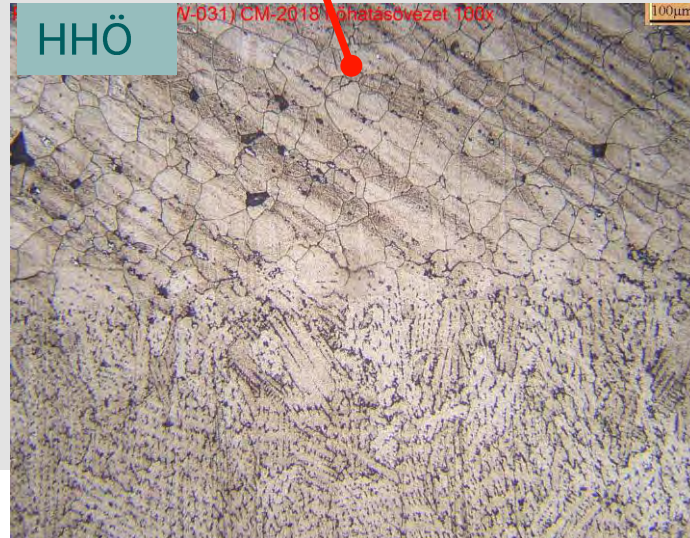
100µm



HHÖ

HHÖ (V-031) CM-2018 hegesztésővezet 100x

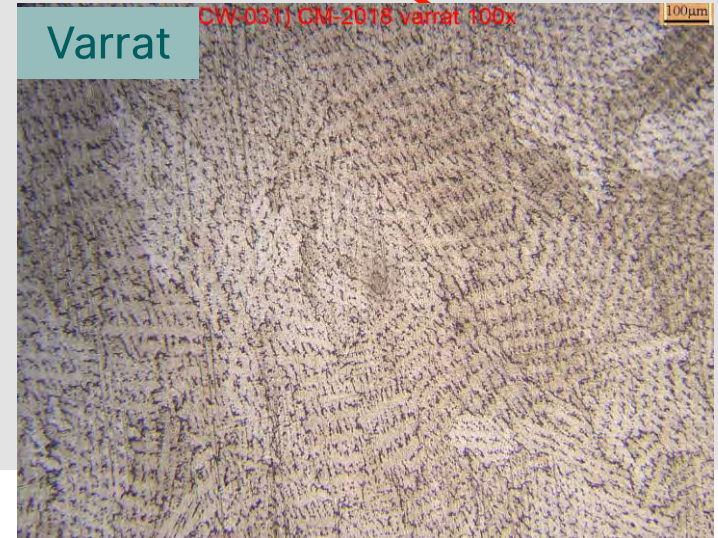
100µm



Varrat

Varrat (V-031) CM-2018 varrat 100x

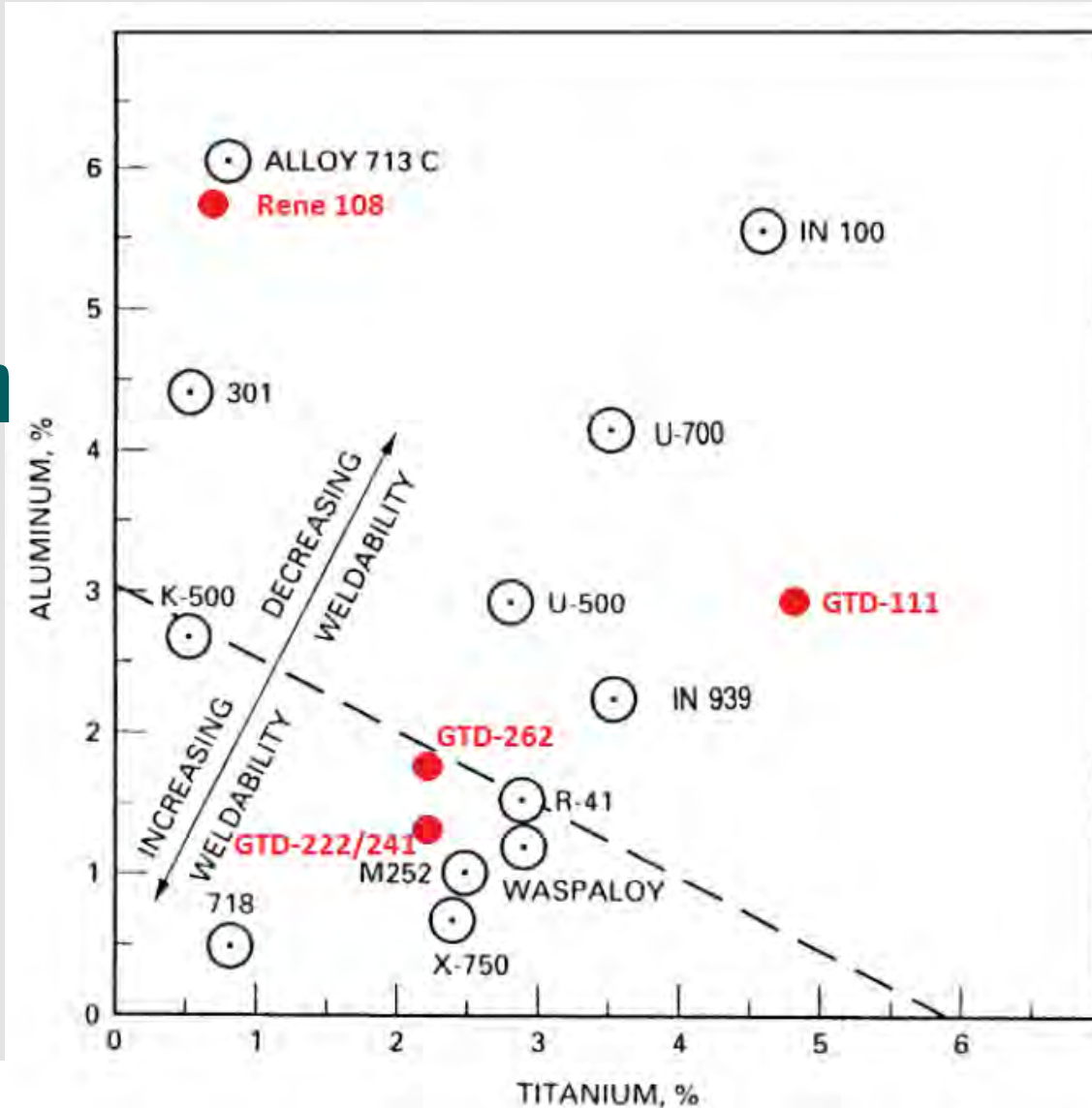
100µm



Kiválással keményedő nikkel bázisú öntvények

GTD222; GTD 241; GTD262 ; GTD111; René 108

- A magas Al és Ti ötvözőtartalom kedvezőtlenül hat a hegeszthetőségre
- Jelentős rideg fázis kiválás a hőhatásövezetben
- GTD-222, 241, 262 jól hegeszthető
- GTD-111 feltétellel hegeszthető
- René 108 kedvezőtlen hegeszthetőség



Kiválással keményedő nikkel bázisú öntvények hegeszthetősége

GTD222; GTD 241; GTD262

Nikkel öntvényeket , nagy teljesítőképesség alkalmazásokhoz fejlesztettek ki, különösen nagy teljesítményű (heavy duty) gázturbina alkatrész gyártására.

Vegyí összetétel - 22% Cr ; 19% Co tartalmaz, valamint W , Ti, Al, Ta, B.

Öntvény fémes matrix alapja Ni .

$T = 21^{\circ}\text{C}$ $R_m = (895 \div 1000) \text{ MPa}$ $R_{p_{0.2}} = (724 \div 860) \text{ MPa}$; $A\% = (4 \div 8)\%$

$T = 760^{\circ}\text{C}$ $R_m = (690 \div 900) \text{ MPa}$ $R_{p_{0.2}} = (550 \div 785) \text{ MPa}$; $A\% = (4 \div 6)\%$

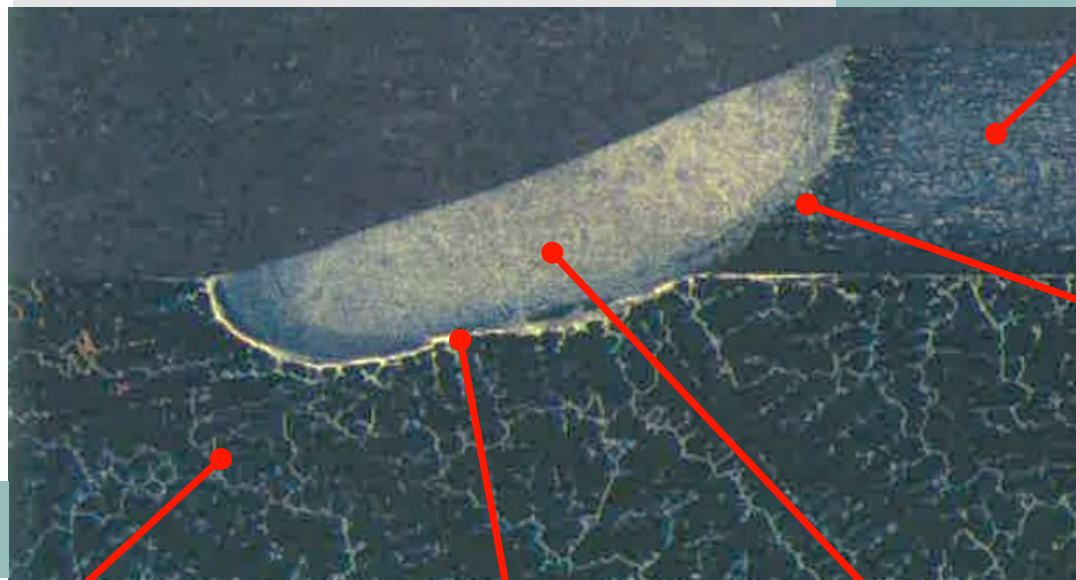
- *Hőkezelés: A hegesztés előtt és után a hőkezelés kötelező a repedések kialakulásának kockázat csökkentése érdekében*
- *Hegesztés: AVI vagy lézerhegesztés alkalmazása javasolt, EBW*
- *Ötvözet stabilitása: Kiváló stabilitást mutat magas hőmérsékleten, ami hozzájárul a hegesztett alkatrészek hosszú élettartamához.*

GTD262 – Ni öntvény hegeszthetősége

AVI hegesztés – 1.6mm-átlapolt sarokvarrat

Olvadási hőmérséklet

GTD262 – $[1260 \div 1350]^{\circ}\text{C}$
Inco625 – $[1290 \div 1350]^{\circ}\text{C}$



Alapanyag

Inco 625

Alapanyag

Alapanyag

GTD 262

HHÖ

Marószér: Kallings2

HHÖ

Varrat

FSX 414 - Co ötvözet - öntvény tulajdonságai és hegeszthehetősége

- FSX-414 kobalt-alapú öntvény, amelyet gyakran alkalmaznak magas hőmérsékletű környezetben.
- Vegyi összetétel - 29% Cr ; 10% Ni ; 7% W ; 2% Fe tartalmaz, valamint Mn, Si, B.
- Kristályközi repedés hajlam és HHÖ-be kiválások:

Hegesztés - AVI vagy lézerhegesztés alkalmazása javasolt

Hegesztőanyag kiválasztása - összetételével megegyező ötvözet

FSX 414 Cast Alloys Rupture Stress (Mpa)

Alloy	815°C		870°C		980°C		1095°C	
	100h	1000h	100h	1000h	100h	1000h	100h	1000h
FSX 414	152	118	110	83	55	34	21	-

Közel “Nulla képlékenységű” Ni öntvények tulajdonságai és hegeszthetősége - *René 108*

Patent Number:	5,897,801
Date of Patent:	Apr. 27, 1999
United States Patent [19]	
Smashey et al.	
[54]	WELDING OF NICKEL-BASE SUPERALLOYS HAVING A NIL-DUCTILITY RANGE
[75]	Inventors: Russell W. Smashey , Loveland; Thomas J. Kelly , Cincinnati; John H. Snyder , Fairfield; Ronald L. Sheranko , Cincinnati, all of Ohio
[73]	Assignee: General Electric Company , Cincinnati, Ohio

GE szabadalom

(19)		
		(11) EP 3 417 972 B1
(12)	EUROPEAN PATENT SPECIFICATION	
(84)	Designated Contracting States: AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR	• DORRIETY, Daniel James Greenville, SC South Carolina 29615 (US) • TOLLISON, Brian Lee Greenville, SC South Carolina 29615 (US) • COOK, Paul A. Greenville, SC South Carolina 29615 (US)
(30)	Priority: 14.06.2017 US 201715622605	
(43)	Date of publication of application: 26.12.2018 Bulletin 2018/52	(74) Representative: BRP Renaud & Partner mbB Rechtsanwälte Patentanwälte Steuerberater Königstraße 28 70173 Stuttgart (DE)
(73)	Proprietor: General Electric Company Schenectady, NY 12345 (US)	

However, Rene 108 and other high gamma prime superalloys have poor weldability and are some of the hardest to weld materials in the superalloy category. Welding on

„Azonban a Rene 108 és más magas gamma-prím tartalmú szuperötvözetek gyenge hegeszthetőséggel rendelkeznek, és a szuperötvözet kategóriában az egyik legnehezebben hegeszthető anyagnak számítanak.”

Közel “Nulla képlékenységű” René 108 Ni öntvény hegesztheetősége

GTD 222

$T(^{\circ}\text{C})=900$; $\sigma=172$ MPa

Live Time = 25h

René 108

$T(^{\circ}\text{C})=990$; $\sigma=200$ MPa

Live Time = 20h

Hatásfok + (1÷2)%

A hegesztés során a következő problémák:

- **Hőhatásövezet (HAZ) repedések**

γ' fázis, MC és M₂₃C₆ karbidok, valamint M₅B₃ boridok alkotják a HHÖ mikrostrukturáját. Ezek a komponensek hajlamosak vékony nem-egyensúlyi folyadékfilm (eutektikum) kialakulásához a szemcsehatárok mentén.

- **Nagy kristályközi repedés hajlam a varratba**

HHÖ alacsony szívóssága γ' fázis magas koncentrációja miatt

- **Hegesztési előmelegítés - (900–1100) °C között ajánlott**

Ezzel a hőgradiens kisimitásával mikrostruktúra stabilizálását érjük el.

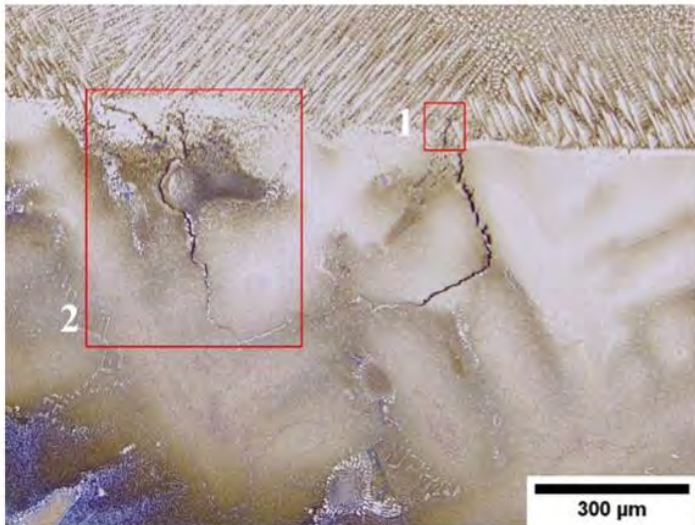


Fig. 17 Cracks locations induced by GTAW in the René 108, LM

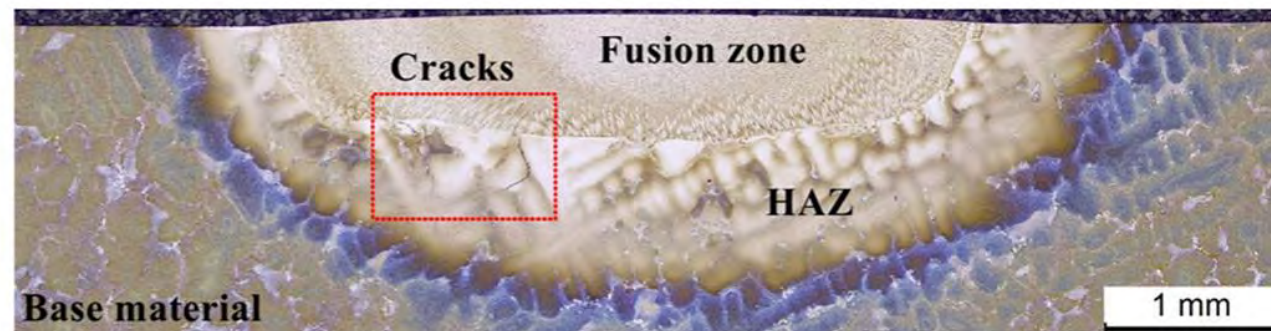
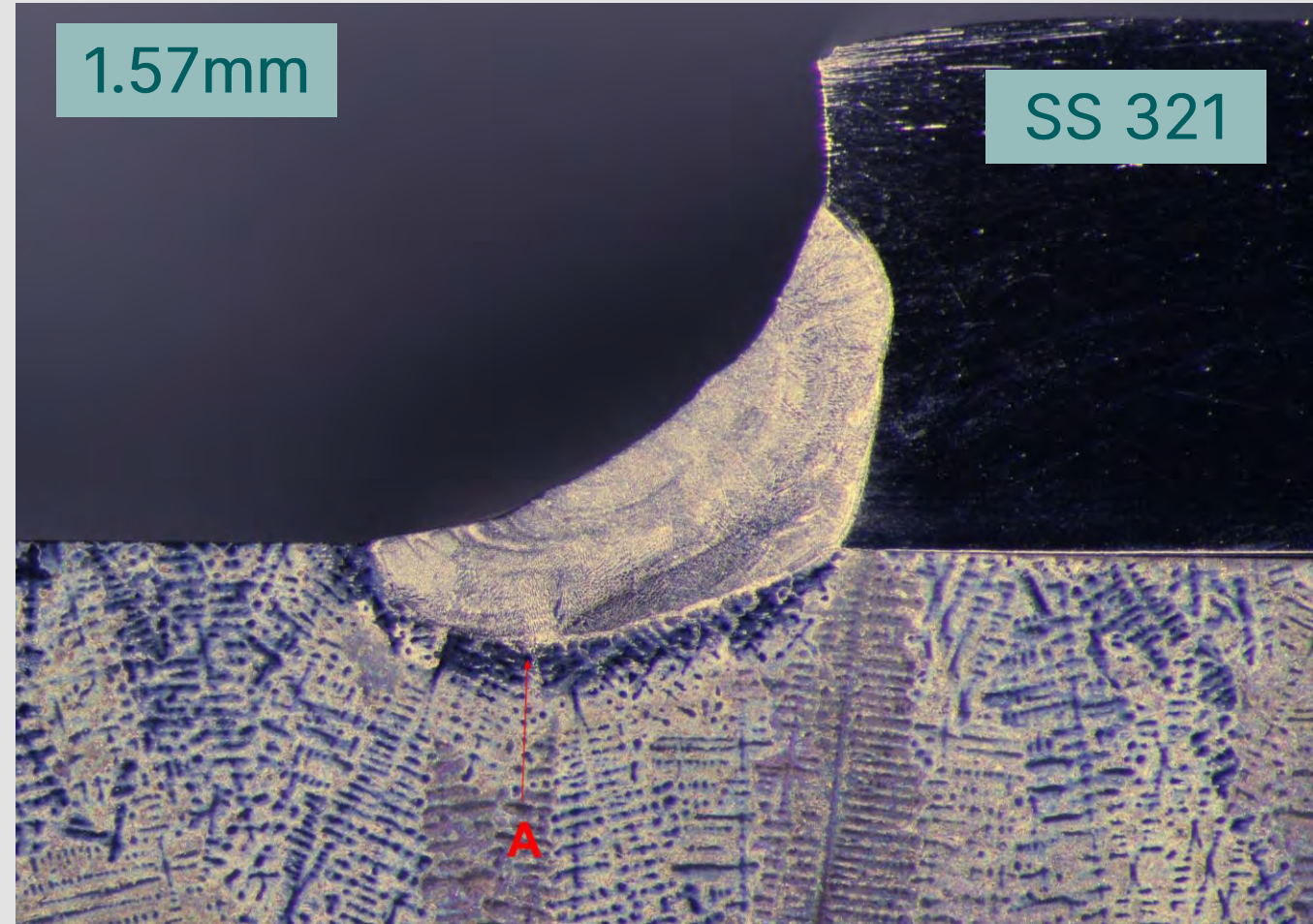
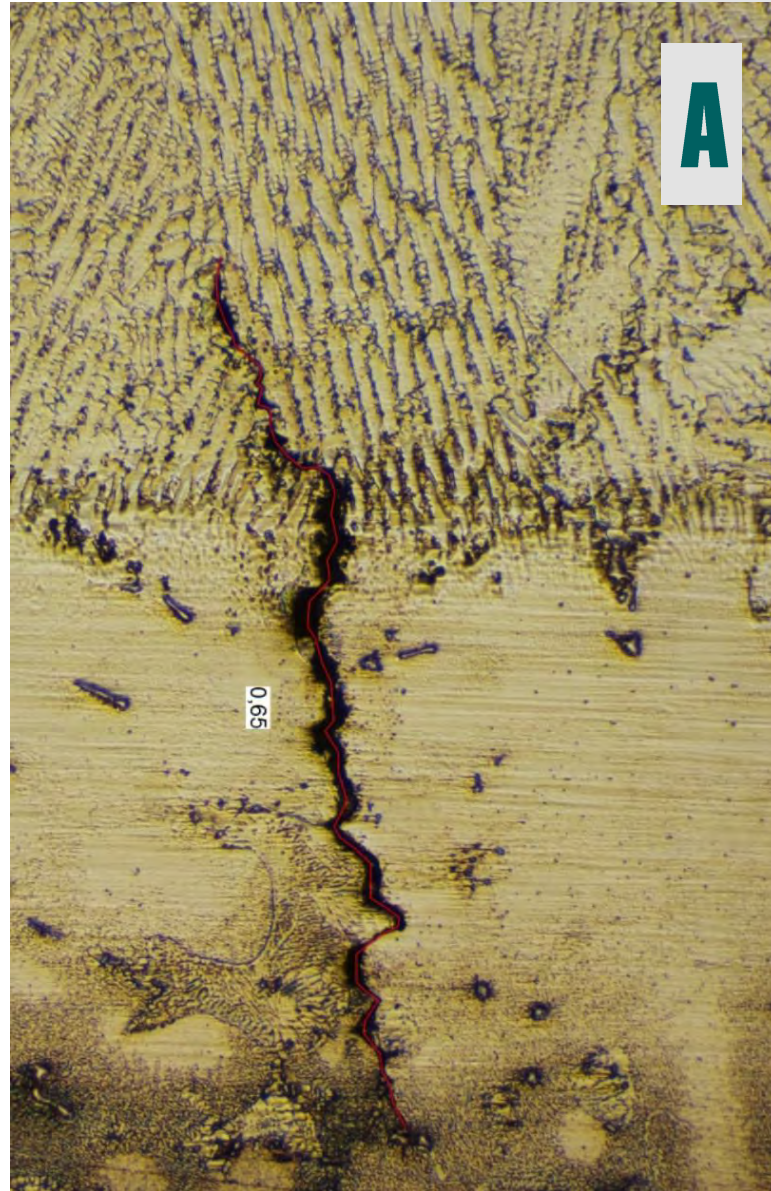


Fig. 15 Cross-sectioned bead-on-plate macrostructure of the René 108, LM

Közel “Nulla képlékenységgű” René 108 Ni öntvény hegeszthetősége



Repedés a HHÖ

Marószer: Kallings2

René 108

Hegesztés – mint additív technológia

Az additív technológia MIG (GMAW) hegesztéssel, más néven Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM), egy innovatív megközelítés a fém alapú alkatrészek gyártásában. MIG hegesztési eljárást használja rétegek felépítésére (CMT).

Előnyök:

Magas lerakási sebesség - MIG hegesztés gyors anyagfelhordást tesz lehetővé

Költséghatékonyság - hagyományos gyártási módszerekhez képest kevesebb anyagvesztéssel jár.

Rugalmasság: - különböző anyagok, például acél, Al és Ni alapú ötvözetek használhatók.

Komplex geometria: - rétegenkénti építéssel bonyolult formák is előállíthatók



Kihívások:

Hőhatás - MIG hegesztés során keletkező hő befolyásolhatja az anyag mikrostruktúráját, ami maradó feszültségeket és deformációkat okozhat.

Felületi minőség - A rétegek közötti egyenetlenségek utólagos megmunkálást igényelhetnek.

Pontosság - A rétegek pontos felépítése és a hőbevitel szabályozása kritikus a minőség szempontjából.

Hegesztés – mint aditiv technológia

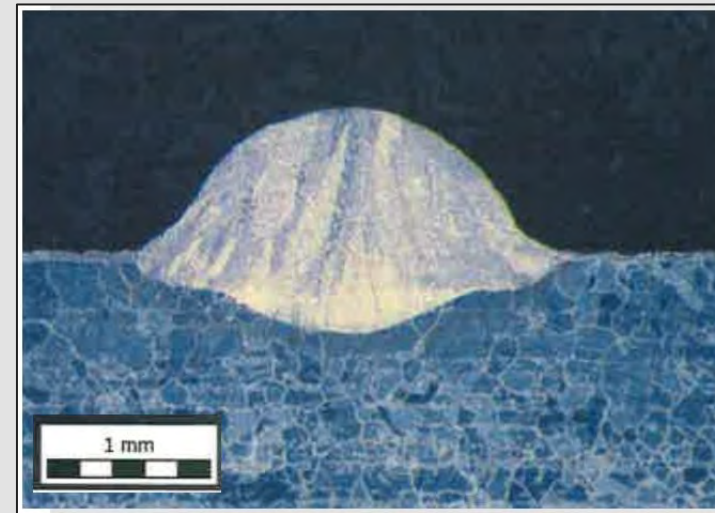
Hűtő borda felépítés



Atmeneti egység (TP)



Marószers: Calling



Lángcső

KÖSZÖNÖM MEGTISZTELŐ FIGYELMŰKET



HODREA Vasile
EWE/IWE/NDT L3
2025.03.20



GE VERNOVA

https://www.antoni-intl.com/Equipment+for+Sale/id/42/prod_id/16220/

<http://www.sungiltbn.com/combustor-3/7FA7FAe>

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mdaturbines.com/wp-content/uploads/2020/01/ICS-MDA-Fuel-Nozzles-Web-06-10-21.pdf

<https://ethosenergy.com/ge-gas-turbine-parts>

<https://www.turbinemarketplace.com/turbine-controls>

<https://www.mdaturbines.com/resources/7fa-hot-gas-path-and-7fh2-generator-repair/>