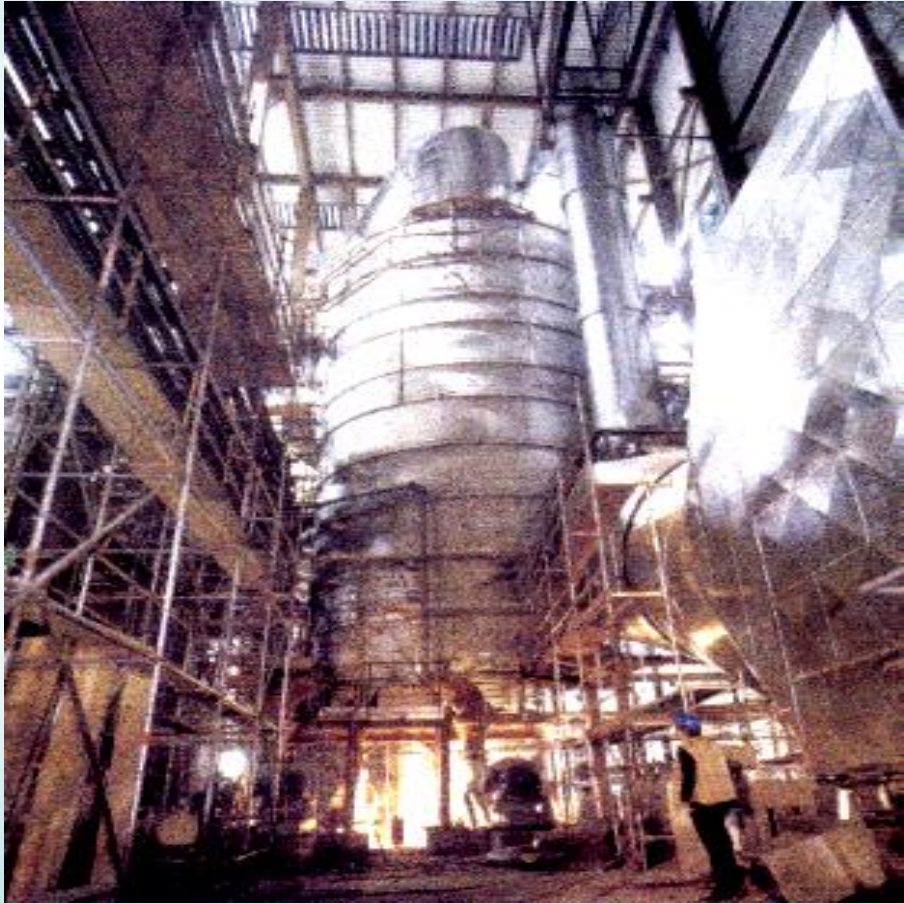


# Svařování niklu a slitin na bázi niklu

## Böhler Schweißtechnik Austria





## Díl I

### Nikl a slitiny niklu

### Vlastnosti a oblast použití

## Díl 1 - Obsah

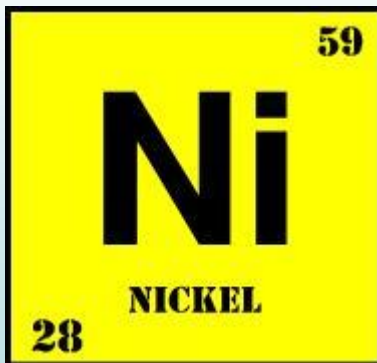
- ✚ **Všeobecně**
- ✚ **Oblast použití**
- ✚ **Klasifikace slitin niklu**
  - **Korozivzdorné slitiny**
  - **Žáropevné slitiny**
  - **Žáruvzdorné slitiny**
  - **Superslitiny**

# Specifická data niklu

- **Bod tavení : 1453°C**
- **Hustota : 8,9 g/cm<sup>3</sup>**
- **Curie bod : 354°C**
- **Koeficient roztažnosti mezi 20 a 300°C : 14,5.10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>**
- **Barva : stříbřitá**
- **Ušlechtlejší kov než železo a chróm**

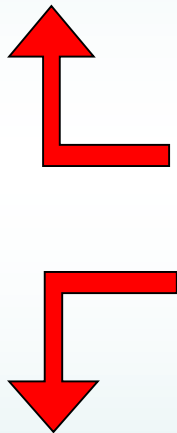


- ✚ Nikl se v přírodě vyskytuje v podobě sulfidů, oxidů a silikátů.
- ✚ Naleziště zejména v USA, Austrálii a na Sibiři.
- ✚ Výroba tavením oxidů a sulfidů, dále elektrolýza nebo uhlíková redukce.
- ✚ Produkce ve formě plechů, desek, trubek, drátů vč. svařovacích, odlitků

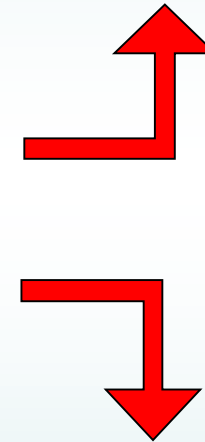




**Dobrá odolnost  
korozi**



**Vysoká tažnost a  
houževnatost**



**Odolnost oxidaci i při  
vysokých teplotách**

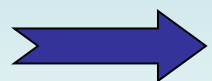
**Dobrá mez pevnosti  
v tečení**



## Chemický a petrochemický průmysl



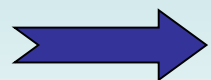
# Hlavní oblasti použití



## Průmyslové pece







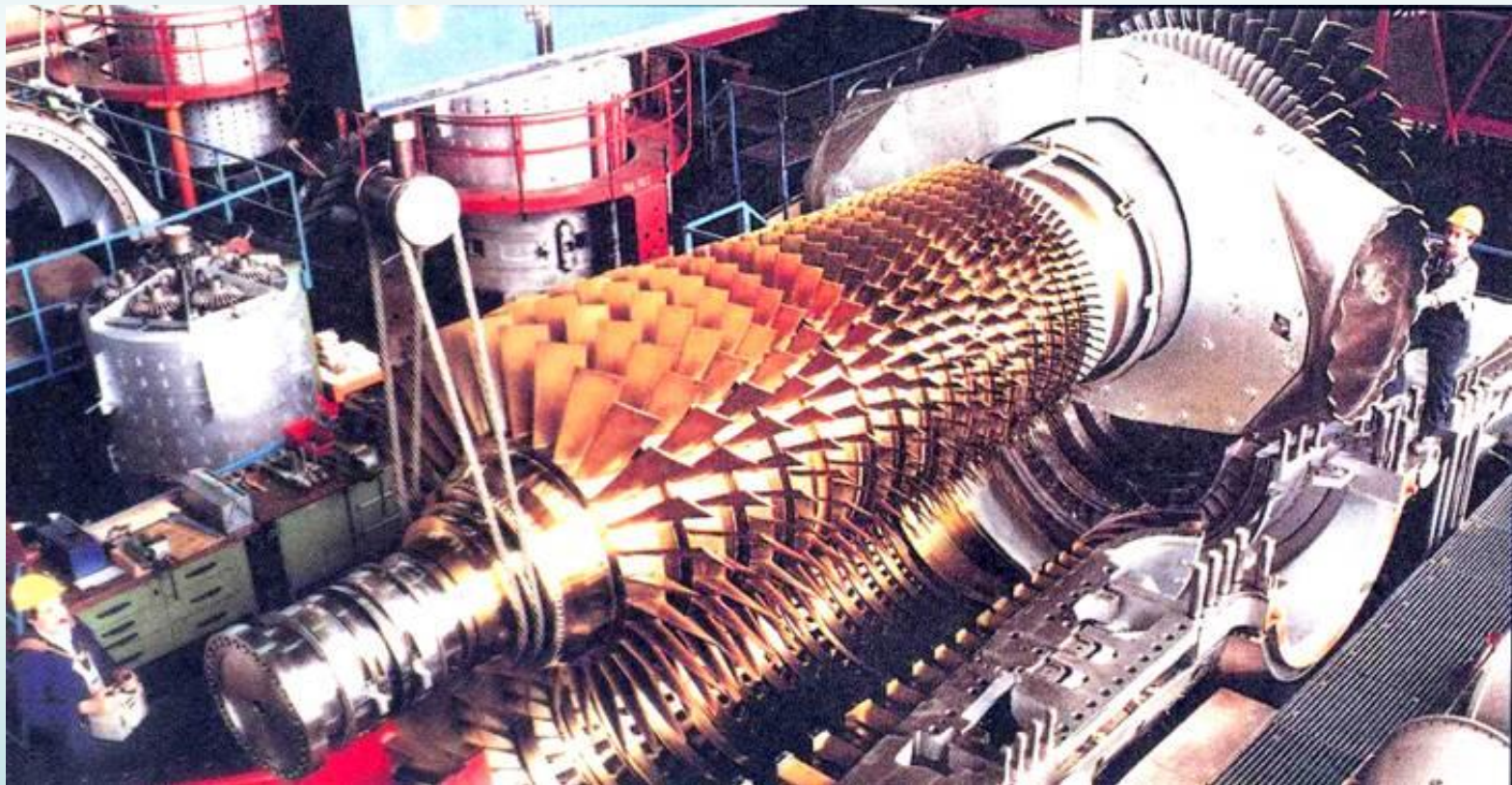
## Mořská zařízení



# Hlavní oblasti použití



## Energetika

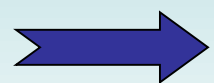




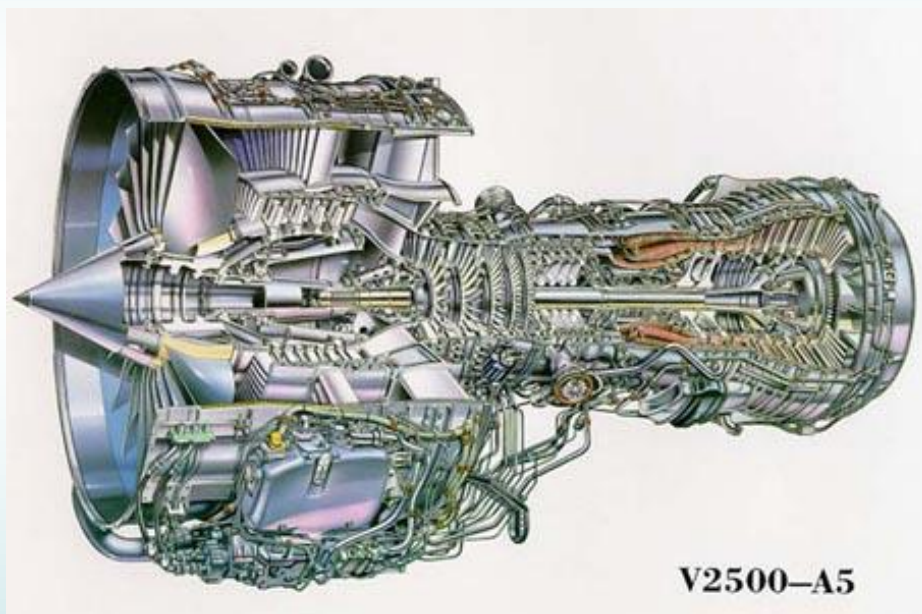


## Ochrana životního prostředí





## Části dopravních prostředků



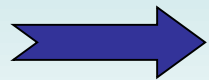




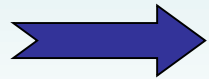
## Odsolování mořské vody



Country	U.A.E.	Process to be selected	MSF type
Customer	ADWEA	Performance Ratio	7.92
Location	Umm Al Nar, U.A.E.	Scale Prevention Method	Chemical injection sponge ball cleaning
Product Water (m <sup>3</sup> /day)	284,125	Tube Material	CuNi 70/30
Set of Process Plant (m <sup>3</sup> /day x unit)	56,825 x 5units	- Brine Heater	CuNi 90/10
TDS of Sea Water, ppm	50,000	- Heat recovery section	Titanium
TDS of Product Water, ppm	25	- Heat reject section	
		Top Brine Temperature (°C)	110°C
		Completion Date	2002
		Contract Basis	Turn-key contract



**Chemický a petrochemický průmysl**



**Průmyslové pece**



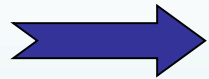
**Mořská zařízení**



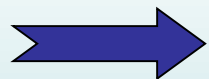
**Energetika**



**Ochrana životního prostředí**



**Části dopravních prostředků**



**Odsolování mořské vody**

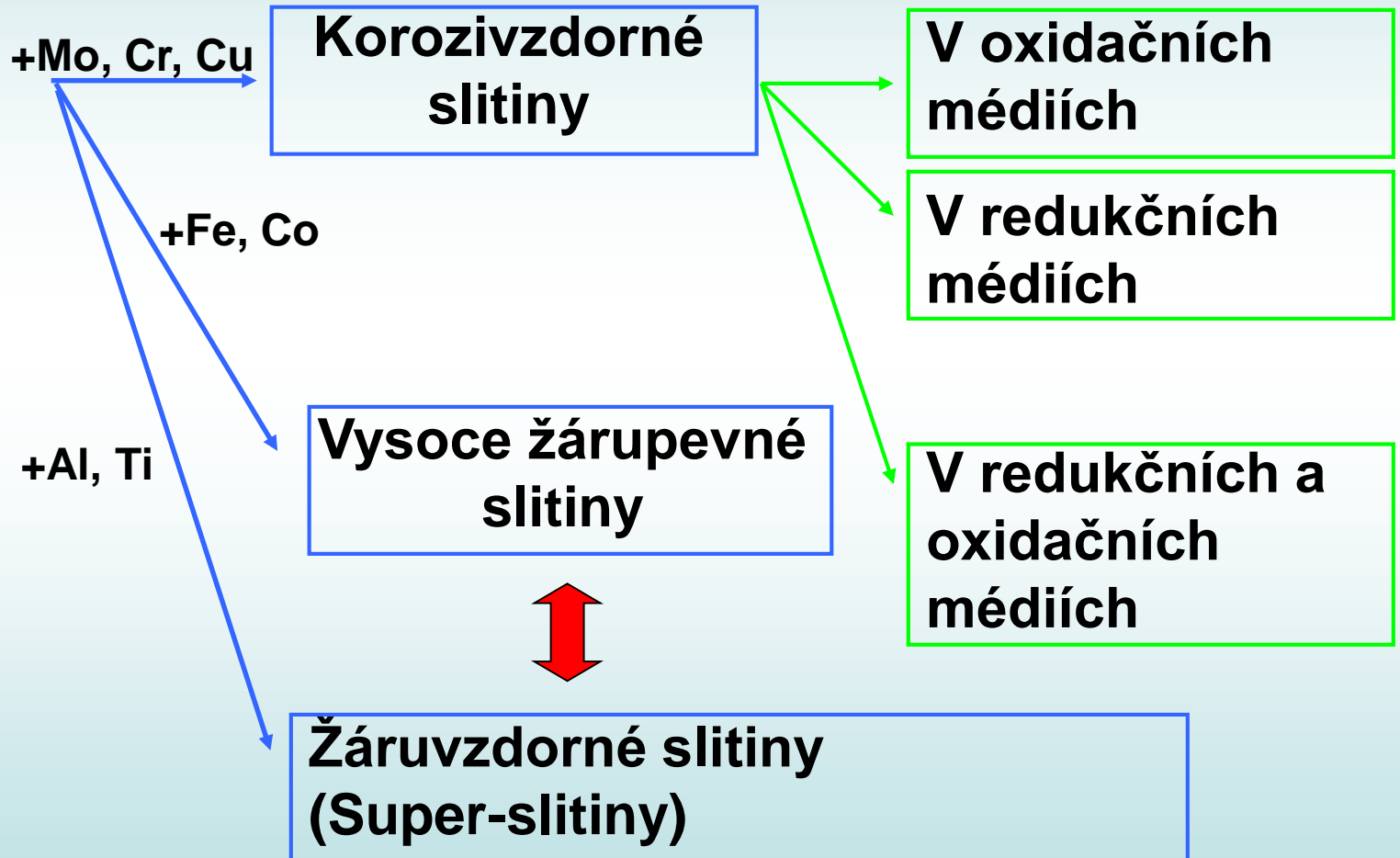


**Slitiny na bázi niklu nacházejí využití všude tam, kde běžné oceli (slitiny na bázi železa) již nestačí**



# Klasifikace slitin na bázi niklu

**3 skupiny**  
**Ni**



**Koroze: Úbytek materiálu vlivem chemické, elektrochemické nebo mechanicko-chemické reakce**

**Druhy koroze :**

- ➡ **Plošná koroze**
- ➡ **Důlková koroze**
- ➡ **Koroze v mezeře**
- ➡ **Koroze pod napětím**
- ➡ **Mezikrystalická koroze**
- ➡ **Galvanická koroze (kontaktní)**
- ➡ **Koroze při dynamickém namáhání**
- ➡ **Erozní koroze**







## Plošná koroze





## Důlková koroze



G. Blumhofer, Novartis, Basel



## ➔ Koroze v mezeře





## Koroze pod napětím





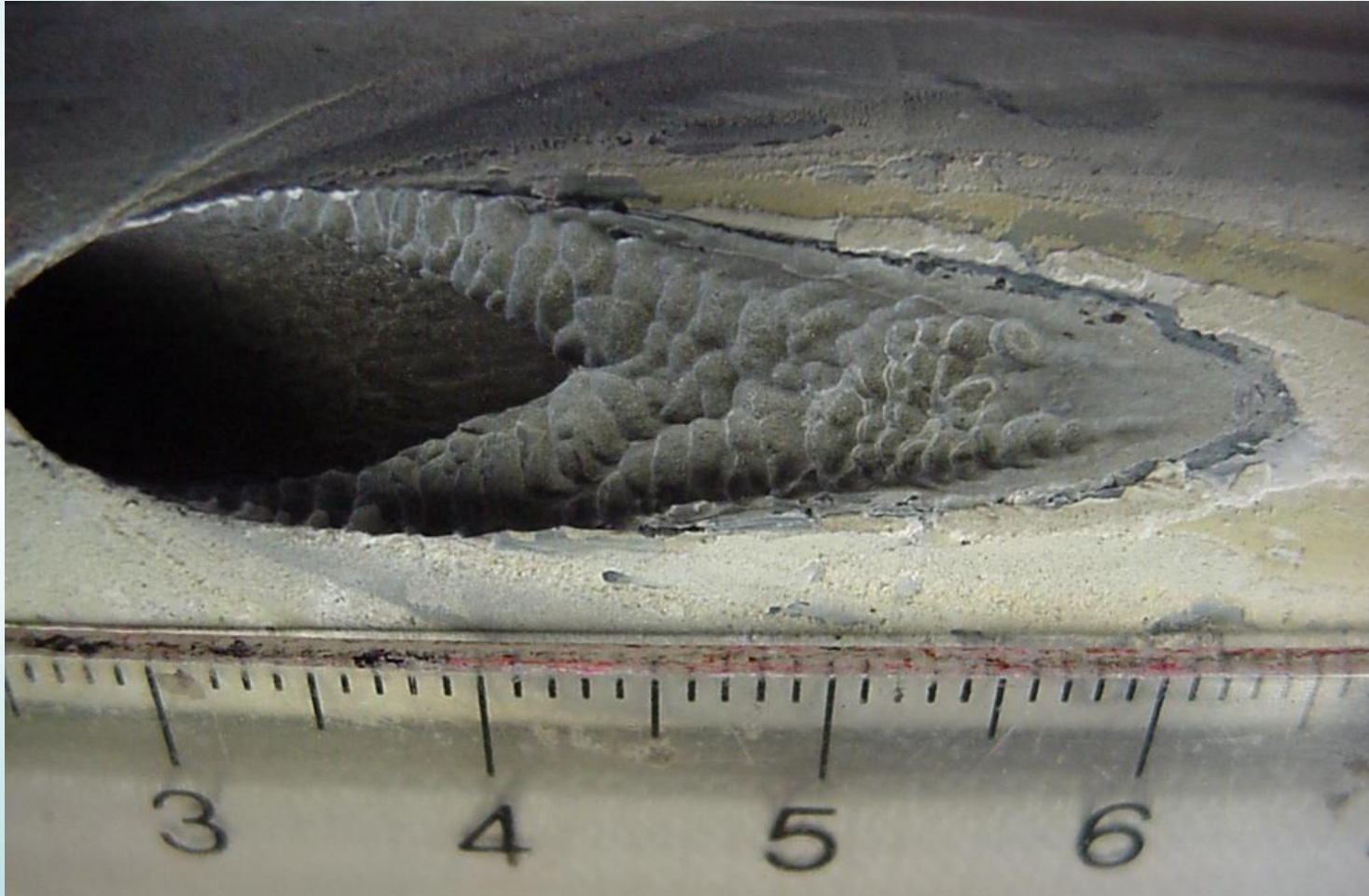


## Mezikrystalická koroze





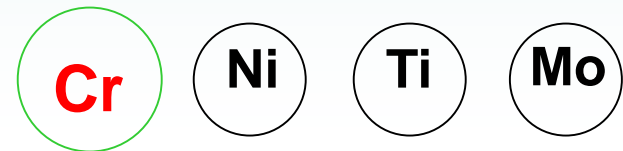
## Erozní koroze



Prvky podílející se na korozivzdornosti



Prvky vytvářející pasivační vrstvu v oxidačních médiích



Ostatní prvky pro další řešení



Mořská  
voda



Chloridy v  
redukčních  
médiích



Oxidy při  
vysokých  
teplotách

## Ni a NiCu slitiny

DIN-označení	Slitina	Hlavní prvky (%)				
		Ni	Cu	C	Fe	Ostatní
Ni 99,6	-	> 99,6		0,05		
LC-Ni 99,6	205	> 99,6		0,02		
Ni 99,2	200	> 99		0,08		
LC-Ni 99,2	201	> 99		0,01		
NiCu 30 Fe	400	> 63	32	0,2	1,8	
NiCu 30 Al	K-500	> 63	29,5	0,1	1,0	2,7 Al; Ti

### Čistý nikel:

- + Potravinářský průmysl
- + Výroba umělých hmot
- + Odsolování

### Ni-Cu:

- + Chemická zařízení
- + Mořská zařízení
- + Loděnice

## NiMo slitiny

UNS označení	Slitina	Hlavní prvky (%)					
		Ni	Mo	Cr	Fe	Co	Ostatní
N10001	Alloy B	63,0	28,0	1,0 max	5,0	2,5 max	0,03 V
N10665	Alloy B-2	69,0	28,0	1,0 max	2,0 max	1,0 max	
N10629	Alloy B-4	66,0	28,0	1,5 max	1,0-6,0	2,5 max	0,3 Al
N10004	Alloy W	61,0	24,5	5,0	5,5	2,5 max	0,6 V

### Ni-Mo:

✚ Odolnost v redukčních médiích

### Alloy B-2:

✚ Odolnost proti HCl při všech teplotách a koncentracích

✚ Bez Cr: není odolnost proti oxidačním médiím !



## NiCrFe a NiCrMo(Fe) slitiny

DIN označení	UNS	Alloy	Hlavní prvky (%)				
			Ni	Cr	Mo	Fe	Ostatní
NiCr15Fe	N06600	600	> 72,0	16,0		8,0	0,25 Ti
NiCr21Mo14W	N06022	C-22	58,0	21,0	13,0	3,0	3,0 W, Co
NiCr23Mo16Al	N06059	59	59,0	23,0	16,0	1,0	Al
NiMo16Cr16Ti	N06455	C - 4	66,0	16,0	16,0	2,0	3,7W 0,2Ti
NiCr23Mo16Cu	N06200	C-2000	57,0	23,0	16,0	2,0	1,6 Cu
NiMo16Cr15W	N10276	C-276	57,0	16,0	16,0	6,0	3,5 W
NiCr21Mo	N08825	825	40,0	23,0	3,2	31,0	2,2 Cu, 0,8 Ti
NiCr22Mo9Nb	N06625	625	62,0	22,0	9,0	3,0	3,3 Nb

Uvnitř této skupiny se nachází nejvíce variant s velmi speciálními, případně vynikajícími vlastnostmi ! Např. Alloy 825 (LF, SPRK)

## NiCrFe a NiCrMo(Fe) slitiny

### ALLOY 825

- Dobrá odolnost proti důlkové korozi a korozi pod napětím
- Dobrá odolnost redukčním a oxidačním médiím ( směsi kyselin )

### ALLOY 625

- Dobrá mez pevnosti při tečení, dobrá odolnost oxidaci

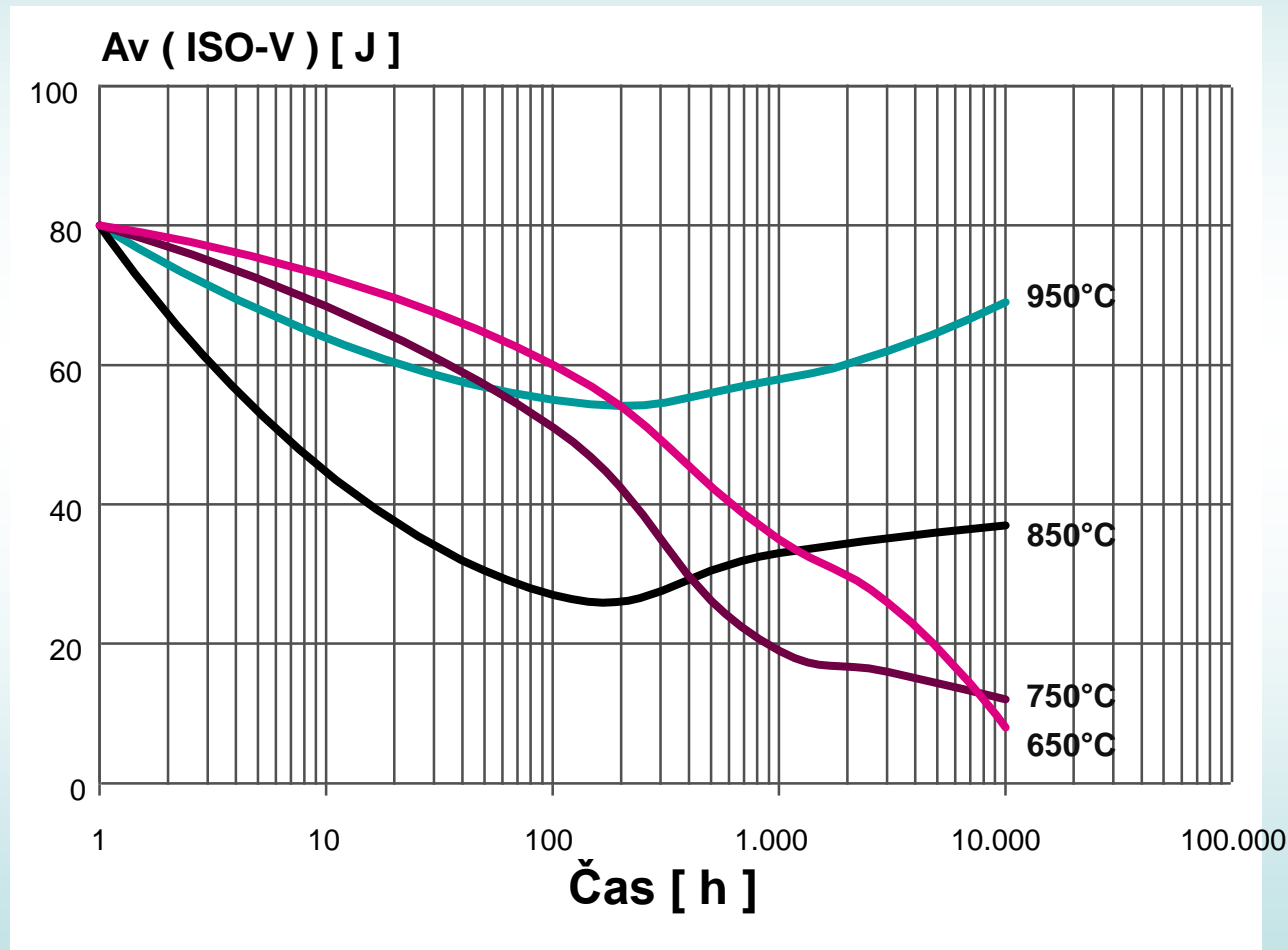


Plynové turbíny



**Nepoužívat při teplotách 600-800°C,  
náchylnost na zkřehnutí.**

## NiCrFe a NiCrMo(Fe) slitiny



**EL-NiCr20Mo9Nb (Fox Nibas 625 - Alloy625)**



## NiCrFe a NiCrMo(Fe) slitiny

→ Slitiny proti kombinaci různých typů korozivního namáhání

**C-276**

**C-4**

**C-22**

**59**

→ Odolnost v redukčních (Ni-Mo) a oxidačních (Ni-Cr) médiích (i při vysoké teplotě)

→ C-22 a 59 nejsou při svařování tak citlivé na náchylnost ke korozi jako C-276



**Zařízení pro odsíření zplodin**

## NiCrFe a NiCrMo(Fe) slitiny

Odolnost různých druhů slitin mezikrystalické korozi

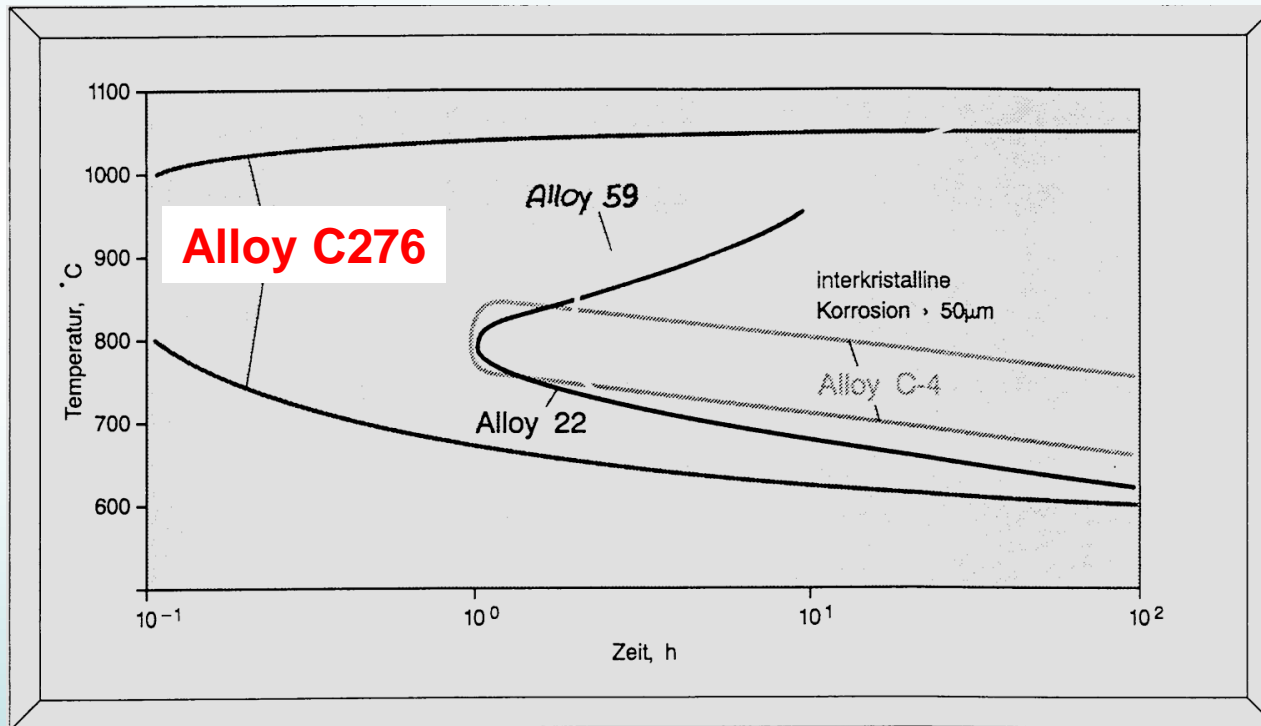


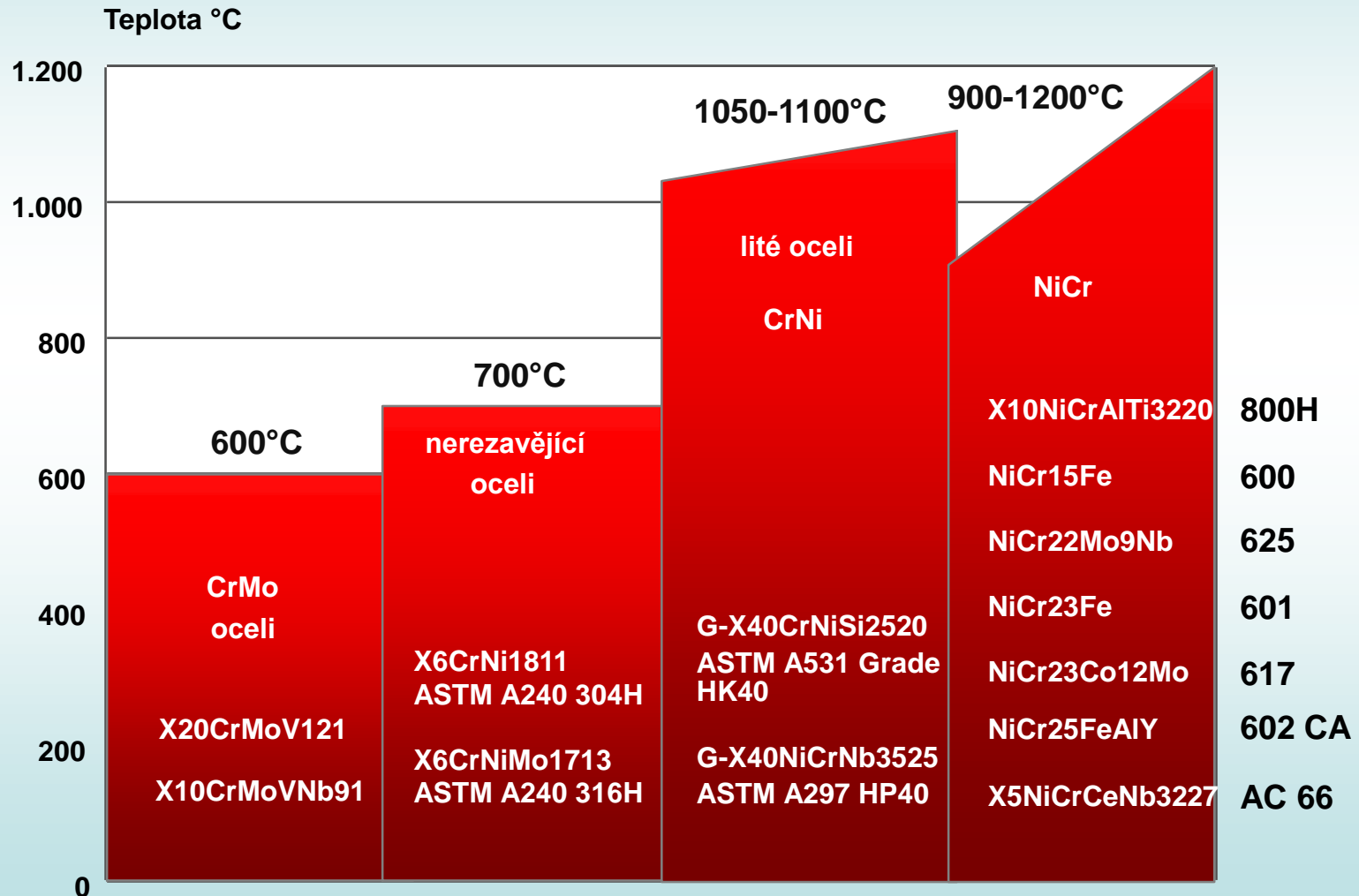
Diagram citlivosti v závislosti na času a teplotě

## Vysoce žárupevné slitiny

Slitina	UNS	Číslo mat.	Označení dle DIN	Obsah hlavních prvků v %						
				Ni	Cr	Fe	C	Al	Ti	další
601	N06601	2.4851	NiCr23Fe	59,0	23,0	16,0	0,08	1,4	0,4	
602CA	N06602	2.4633	NiCr25FeAlY	62,0	25,0	9,5	0,2	2,1	0,14	Y 0,08
600L	N06600	2.4817	LC-NiCr15Fe	72,0	15,0	8,0	<0,025		<0,3	
625	N06625	2.4856	NiCr22Mo9Nb	R	22,0	< 3	<0,025			Mo 9, Nb 3
617	N06617	2.4663	NiCr23Co12Mo	R	22,0	< 2	0,05-0,1	1	0,4	Mo 9, Co 11
800 H	N08810	1.4958	X5NiCrAlTi31-20	31,0	21,0	R		0,25	0,35	
800 HT	N08811	1.4959	X8NiCrAlTi32-21	31,0	21,0	R		0,5	0,5	

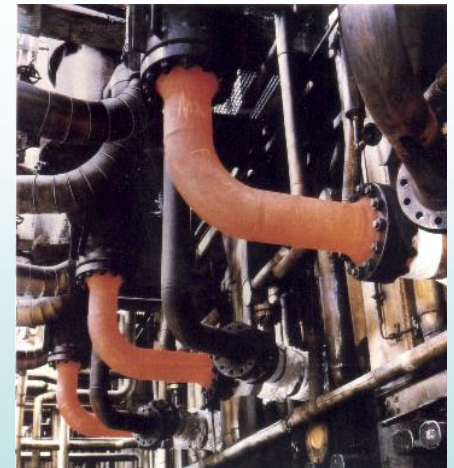


## Pracovní teploty různých slitin



## Které vlastnosti je charakterizují ?

- ✚ **Dobrá mez pevnosti při tečení (Creep)**
- ✚ **Malá náchylnost na křehnutí (Mají stabilní strukturu)**
- ✚ **Malá oxidace, dobrá odolnost opalu i při nejvyšších pracovních teplotách**
- ✚ **Nízké nauhličení**



Jak je dosaženo jejich vlastností ?

## Žárupevnost a pevnost při tečení

- ✚ Vytvrzení mřížky díky legování Mo, W, Co, Ti, Nb, Al
- ✚ Stabilizace hranice zrn jemnými MC a M<sub>6</sub>C karbidy (Nb, Ti, W)
- ✚ Malá možnost pohybu atomů v plošně středěné mřížce

Jak je dosaženo jejich vlastností ?

## Odolnost oxidaci a opalu

- + Pevně přilnavá vrstva oxidů (Cr, Al, Si, Y...)
- + Překážka proti trhlinkám na povrchu (Oprýsknutí okují)

## Nízké nauhličení

- + Vysoký obsah niklu
- + Tvorba oxidů chrómu
- + Obsah křemíku a niobu



## Které vlastnosti je charakterizují ?

- + Dobrá odolnost proti oxidaci a opalu
- + Vysoká odolnost tepelným změnám
- + Nízké nauhličení
- + Vysoká mech pevnosti při tečení není v tomto případě tak důležitá, protože díly nejsou mechanicky tolik zatěžovány.

**Použití: průmyslové pece,  
petrochemie, plynové turbíny**



Slitina	UNS	Číslo mat.	Označení DIN	Obsah hlavních prvků %				
				Ni	Cr	Fe	C	Al
600	N06600	2.4816	NiCr 15 Fe	74,0	16,0	9,0	<0,08	0,1-0,3
601	N06601	2.4851	NiCr 23 Fe	59,0	23,0	16,0	<0,08	1,4
800	N08800	1.4876	X 5 niCrAlTi 31 20	72,0	15,0	8,0	<0,025	

✚ Al, Cr a Si tvoří ochrannou vrstvu proti oxidaci a okujím

- Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

- SiO<sub>2</sub>

- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

✚ Ni zlepšuje přilnavost této vrstvy k povrchu (silně se snižuje tvorba trhlinek)

✚ Yttrium, Zirkon nebo Cer stabilizují tuto vrstvu (brání vnitřní oxidaci)



## Díl II

# Svařování niklu a slitin niklu

## Díl II - obsah

- + Tepelné zpracování před svařováním
- + Čištění a opracování
- + Svařitelnost
- + Příprava svarových ploch
- + Způsoby svařování
- + Technologie svařování





**Nikl a slitiny niklu jsou silně zpevnitelné za studena**

**➡ Výchozí stav musí být určen pro svařování !**

Slitina	Číslo materiálu	Rozpouštěcí žihání °C	Žihání na měkko °C	Žihání na odstranění pnutí °C
	1.4361	1140		
904L	1.4539	1120		
926	1.4529	1160		
31	1.4563	1180		
	1.4558		960	700
800	1.4876		960	
800H	1.4876	1160		
825	2.4858		940	
59	2.4605	1120		
625	2.4856	1140	1000	
C-4	2.4610	1070		
601	2.4817		960	
600	2.4816	1130		
200	2.4068		780	600
400	2.4360		800	550
<b>Tepelné zpracování</b>				

## Příprava svarových ploch

➡ Řezání / dělení :

- ✚ Mechanické
- ✚ Plamenem
- ✚ Plasma
- ✚ Laser
- ✚ Vodní paprsek



➡ Opracování :

- ✚ Pouze ostrými nástroji, bez vibrací
- ✚ Kapaliny bez obsahu síry
- ✚ Materiál nepřehřát



## Svařitelnost

Podobný postup jako chróm-niklové oceli:

- + Citlivost na vznik trhlin za tepla
- + Nárůst zrn
- + Netoleruje se žádné znečištění



Možno použít téměř všechny svařovací procesy,  
**jen nutno limitovat vnesené teplo !**

## Trhliny u niklových slitin

Hlavním problémem při svařování niklových slitin jsou:

### Trhliny za tepla

Co jsou trhliny za tepla?





## Trhliny za tepla

- ✚ Trhliny vznikají v průběhu ochlazování nebo při opakovaném ohřevu
- ✚ Trhliny jsou ve směru svařování nebo přibližně svisle od něj
- ✚ Trhliny jsou způsobeny nízkotavitelnými fázemi, způsobují je např. síra, fosfor, křemík, olovo, zinek...
- ✚ Vliv má i velikost zrn  
(dbát na nízké vnesené teplo)

## Vliv znečištění

Nejhorší znečištění:



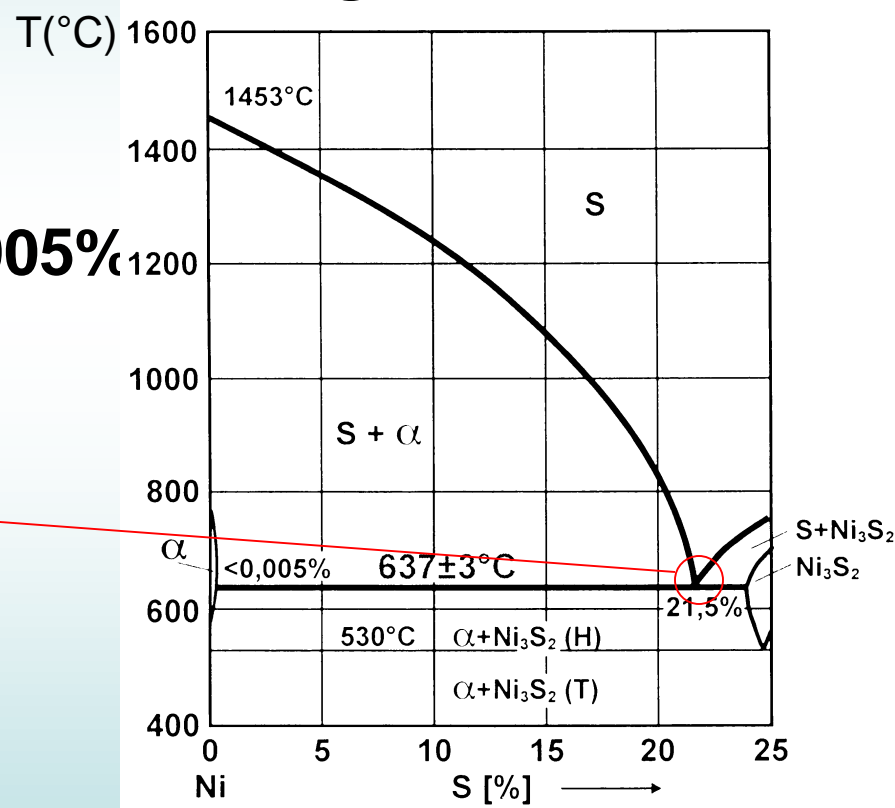
Špatná rozpustnost v niklu ( $<0,005\%$ )



Tvorba  $\text{Ni}_3\text{S}_2$  s teplotou tavení  $637^\circ\text{C}$  na hranicích zrn

Totéž fosfor !

### Diagram nikel-síra



## Jak snížit riziko tvorby trhlin za tepla

Svařovat s nízkým vneseným teplem, malým průměrem drátu nebo elektrody !

Žádný předehřev, mezivrstevová teplota max. 150°C (u korozivzdorných aplikací)



Struktura se rychleji ochlazuje



**Menší velikost zrn**

## Jak snížit riziko tvorby trhlin za tepla

- ✚ Povrch pečlivě očistit
- ✚ Kontrolovat promísení (obzvláště u navařování a nebo u svařování kořene)
- ✚ Použít slitiny s vyšší odolností trhlinám za tepla (Mo-legované), s jemnější strukturou, nebo legurami které na sebe váží síru(mangan, hořčík)

## Další problémy

- + Porezita (svařování v ochranném plynu)
- + Snížená tekutost svarové lázně vlivem např. titanu, hliníku, niobu



Větší úhel rozevření, např. 70°,  
Svařování pulsním obloukem,  
Použití vícekomponentních plynů



Jinak : **vady v napojení**



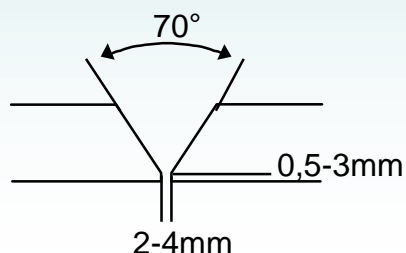
## Příprava svarových ploch

### I - svar



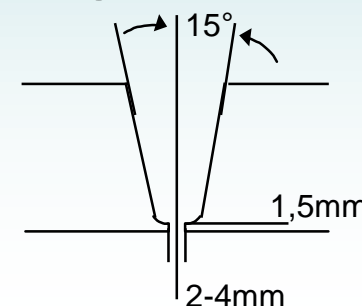
1,5 - 3mm tloušťka

### V - svar



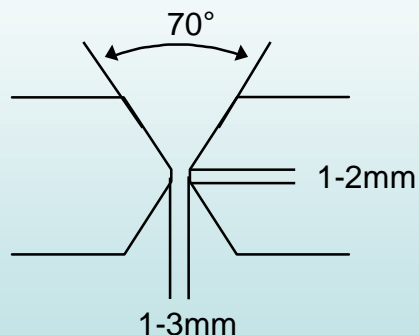
2,5 - 15mm tloušťka

### U - svar



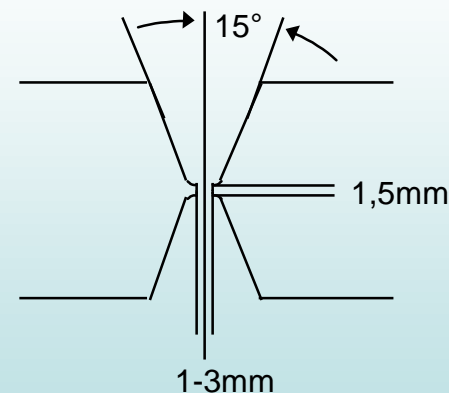
12 - 20mm tloušťka

### Oboustranný Y - svar



16 - 25mm tloušťka

### Oboustranný U - svar



> 25mm tloušťka

## Příprava svarových ploch

+ Vysoká roztažnost, popř. jisté provaření kořene



Větší kořenová spára  
a otupení

+ Riziko vad v napojení



Větší úhel rozevření



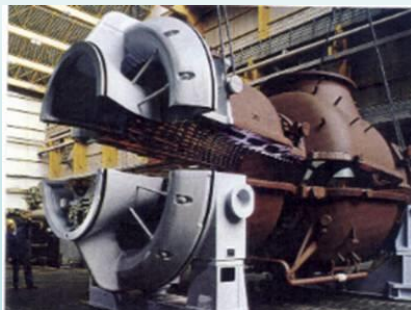
## Všechny svařovací postupy lze použít

- + Obalená elektroda Ø 2,5-4,0mm
- + WIG Ø 1,6-3,2mm
- + MIG/MAG Ø 1,0-1,2mm
- + Trubičkový drát Ø 1,2-1,6mm
- + Svařování pod tavidlem
- + Svařování plasmou s přídavným materiálem



**Dbát na nízký tepelný příkon**

- ✚ **Pozor na niklový prach a částice. Chraňte pokožku a dýchání (alergie na nikl !)**
- ✚ **Dílna by měla být uzpůsobena, materiál oddělen**
- ✚ **Nikl a jeho slitiny mají být svařovány v žíhaném stavu. Pozor na zpevnění za studena !**
- ✚ **Maximální čistota nářadí, oblečení a pracovního místa**



- ✚ Úhel rozevření  $70^\circ$ , stehy s krátkou roztečí, větší kořenová mezera a otupení
- ✚ Zapalování oblouku mimo spoj, náběhový a ukončovací kousek plechu stejného legování
- ✚ Optimální ochrana svarové lázně (struska, plyn) s ohledem na propal prvků
- ✚ Při svařování materiálů legovaných S, P, Pb, Sb, Sn, Bi musí být z důvodu rizika mikrotrhlin za tepla značně redukováno promísení

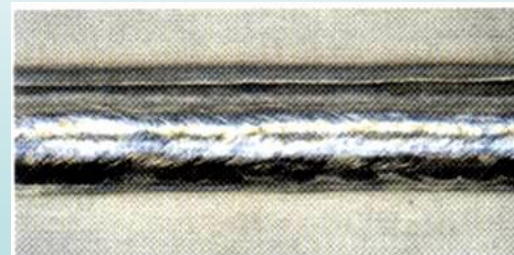




- ✚ Při korozivzdorném plátování kontrolovat promísení (např. obsah Mo nebo Fe v 1. vrstvě)
- ✚ Přísně respektovat pokyny pro přesušování elektrod a tavidel
- ✚ Skládat rovné housenky, případný rozkyv max. 2,5xprůměr elektrody
- ✚ Svařovat krátkým obloukem, elektrodou lehce skloněnou (táhnout pod úhlem ca. 10-20°)



- ✚ Vyplňovat koncový kráter vybroušený až do kořenové vrstvy. Zapálit 10 mm před koncem poslední housenky a převarit. **Nezapalovat oblouk mimo svar !**
- ✚ Určité slitiny vyžadují zvláštní ochranné plyny (2-3 komponentní)
- ✚ Mezi vrstevná teplota  $<150^{\circ}\text{C}$ . Pro C-276, Alloy59 a C-4,  $T < 100^{\circ}\text{C}$ . Při některých návarových aplikacích může být  $>250^{\circ}\text{C}$ , u některých žáruvzdorných slitin používaných při opravách až  $600^{\circ}\text{C}$ .



- ✚ **Pro slitiny náchylné na tvorbu trhlin za tepla (všímat si koncového kráteru) :**
  - **redukovat vnesené teplo (nastavení proudu)**
  - **zvýšit posuv drátu (MIG/MAG nebo WIG)**
  - **používat drát nebo elektrody malých průměrů**
  
- ✚ **Je vhodné temování svaru i podél něj zejména pro omezení smrštění při opravném svařování**
  
- ✚ **Při svařování žáruvzdorných slitin pečlivě odstranit oxidy a zbytky strusky a omezit riziko vzniku chyb při vícevrstevném svařování**

- ✚ Přídavné materiály na bázi Ni nekombinovat s druhově odlišnými materiály. Jen u žáruvzdorných základních materiálů možno kořen svařit typem s vyšší odolností trhlinám za tepla, krycí vrstvy již jen stejnorodými typy.
- ✚ **Následné zpracování odpovídá případu určení**  
Povrch může být kartáčován (kartáč z ušlechtilých ocelí), leštěn, mořen, pískován



- ✚ Po pískování je doporučeno moření
- ✚ U korozivzdorných aplikací je doporučena pasivace
- ✚ Pokud nejsou patrné náběhové barvy, nemusí být prováděno moření





Děkujeme za pozornost

