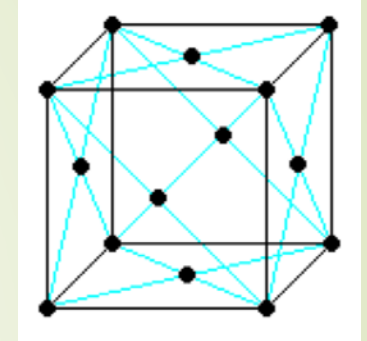




# Nikl a jeho slitiny

# Nikl - čistý kov

- Chemická značka Ni (lat. Niccolum)
- Relativní atomová hmotnost: 58,69
- Atomové číslo: 28
- Mřížka – Kubická plošně centrovaná (za zvláštních okolností krystalizuje v hexagonální soustavě - do 300°C nemagnetická – pak feromagnetická kubická, Curieho bod = 357°C)
- Hustota: 8,908 kg/dm<sup>3</sup>
- Tvrdost: 4 (Mohsova stupnice tvrdosti)
- Teplota tání: 1 455° C



## Negativní vliv na lidský organismus

- karcinogen → rakovina plic, nosní přepážky, popř. hltanu
- způsobuje niklový svrab (kožní dermatitida)
- v cigaretovém kouři se vyskytuje velmi toxický tetrakarbonyl niklu



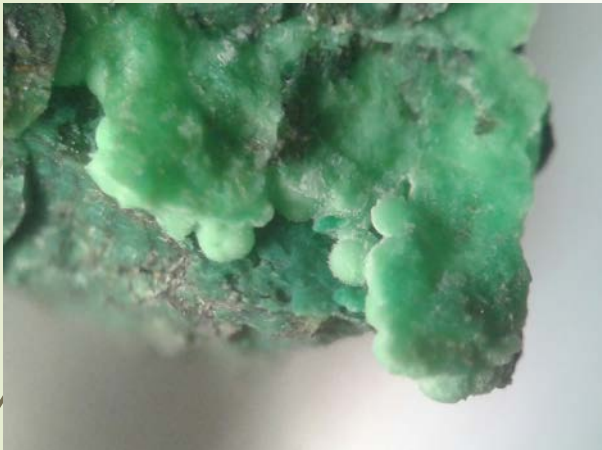
# Nikl jako čistý kov

- ▶ Typický kovový ferromagnetický prvek bílé barvy. Byl objeven roku 1751 německým chemikem baronem Axelem Frederikem Cronstedtem při pokusech o izolaci mědi z rudy.
- ▶ Ve sloučeninách se vyskytuje především v mocenství  $\text{Ni}^{+2}$ , existují i sloučeniny  $\text{Ni}^{+1}$ , zatímco látky obsahující  $\text{Ni}^{+3}$  jsou nestálé a působí silně oxidačně.
- ▶ Vůči působení vzduchu i vody je nikl poměrně stálý a používá se proto často k povrchové ochraně jiných kovů, především železa. Je také značně stálý vůči působení alkálií a používá se proto k výrobě zařízení pro práci s alkalickými hydroxidy neboli louhy.
- ▶ Jako relativně lehký prvek je nikl v přírodě poměrně hojně zastoupen. V zemské kůře činí jeho průměrný obsah činí kolem 100 mg/kg. V mořské vodě se jeho koncentrace pohybuje na úrovni 5,4 mikrogramu v jednom litru. Předpokládá se, že ve vesmíru připadá na jeden atom niklu přibližně 700 000 atomů vodíku.



# Nikl - rudy

V čisté podobě se nikl v přírodě nevyskytuje, výskyt ve směsi se železem ve formě oxidů (*bunsenite*, *laterit*, *garnierit*), ve formě sulfidů -sulfid-nikelnato-železitý (*pentlandit*), (*millerit*  $NiS$ )



Garnierit



Laterit



Nikelin - NiAs



Pentlandit



Bunsenite - NiO

**Naleziště:** Sudbury (Kanada),  
Rusko, Nová Kaledonie,  
Austrálie, Kuba, Indonésie

# Nikl jako čistý kov

Mechanické vlastnosti Niklu – Tváření

Rekrytalizace zastudena tvářeného Niklu nastává přibližně při 600°C

Pevnostní vlastnosti se do 400°C nemění

Nad 400°C:

- pevnost niklu silně klesá
- Mez  $\sigma_{0,2}$  klesá *pomaleji* než pevnost => nutnost vysokých tlaků při tváření

Nikl (a některé jeho slitiny) je magnetostrikční – využití v ultrazvukových přístrojích

## ***Mechanické vlastnosti***

litý nikl Rm 350 – 420 MPa

tvářený a žíhaný nikl

Rm 190 – 240 Mpa

Mechanické vlastnosti niklu rostou s klesající teplotou - cca 1,5 x vyšší pevnost při -250°C

Youngův modul pružnosti v tahu je podobný jako u oceli ( $E_{Ni} \sim 2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ )

# Nikl – vliv příměsí

- ▶ **Síra** – velmi malá rozpustnost s Ni. Tvorba eutektika při 645°C – křehkost za tepla i za studena. Síra napadá povrch exponovaných součástí již při malém atmosferickém množství vytváří povrchové eutektické sířoví.  $\text{Ni}_3\text{S}_2$  - křehká fáze na hranicích zrn. Vliv síry se eliminuje pomocí manganu (vytváří  $\text{MnS}$ ). Podobně působí i přísady Mg, Be, Zr.
- ▶ **Křemík** – působí podobně jako mangan – tj. váže kyslík a uvolňuje tak mangan pro síru. Rovněž váže výborně síru. V niklu se částečně rozpouští.
- ▶ **Uhlík** – v tuhém stavu omezeně rozpustný. Nikl je grafitotvorný – změna v rozpustnosti vede k segregaci grafitu na hranicích zrn  $P^-$  pevnosti, mez tečení. Karbid  $\text{Ni}_3\text{C}$  je stabilní jen v tavenině za vysokých teplot.

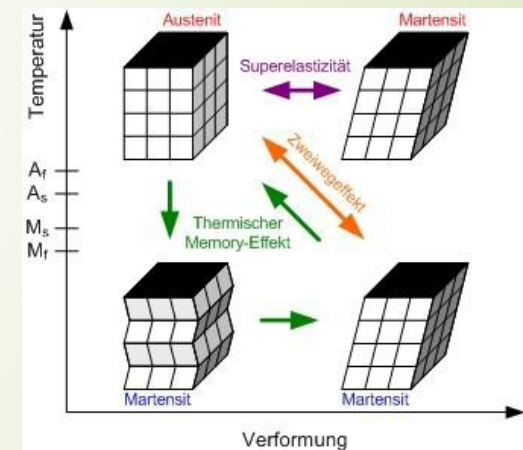


# Nikl - slitiny

obecně **pevnější, tvrdší a houževnatější** než většina slitin neželezných kovů  
rychle se zpevnují při tváření ==> častější mezioperační ohřevy  
dobře reaguje s kovy skupiny T (z technických kovů se nerozpouští jen s Hg a Pb)

Dle použití

- a) slitiny konstrukční
- b) slitiny se zvláštními fyzikálními vlastnostmi →
- c) slitiny žáruvzdorné a žárupevné



# Nikl – konstrukční slitiny

- ▶ **Ni – Mn** – přísada Mn zlepšuje korozní odolnost za vyšších teplot v prostředí se sírou – kontakty zapalovacích svíček.
- ▶ **Ni – Co** – 4,5 %Co zvyšuje magnetické vlastnosti např. permeabilitu – použití v elektronice a ultrazvukových zařízeních
- ▶ **Ni – Be** – do 1% Be lze slitinu *precipitačně vytvrzovat* až na 1800 MPa. Výroba pružin, forem pro vstřikování plastů a membrán pro teploty až 500°C. Odlitky se používají v letecké výrobě na palivová čerpadla.
- ▶ **Ni – Al** – možnost *precip. vytvrzení* až na 1350 MPa s 4,5 % Al – pružinový materiál. Tažené a vytvrzované dráty. Slitina – výroba pump, oběžných kol, hřídelí.
- ▶ **Ni – Si** a **Ni – Mo** – (cca 10% Si nebo až 35% Mo) slévárenské slitiny. Odolné vůči horké i studené kys. sírové. Vytvoření silné pasivační vrstvy na povrchu. Použití v chemickém průmyslu
- ▶ **Ni – Cu** – Monel nebo Nicorros (67%Ni + 30%Cu) + malé přísady Si, Al, Fe, Mn – výborná odolnost proti korozi, dobrá pevnost i houževnatost a tepelná vodivost. Použití v energetice, potravinářství, ve farmaceutickém a chemickém průmyslu, námořní aplikace (tepelné výměníky s mořské vodě)





# Nikl – slitiny se zvláštními fyzikálními vlastnostmi

## a) *slitiny termočlánekové*

Ni + 10% Cr – chromel

Ni-Al-Mn-Si – alumel

Ni-Cu-Mn (40-58-2%) – konstantan

Ni-Cu-Mn (43-56,5-0,5) – kopel

## b) *slitiny odporové*

základní slitinou je Ni+20%Cr, homogenní, tvárná, vhodná k výrobě drátů tyčí a pásů. Čím je vyšší obsah chromu, tím vyšší je žárupevnost a žáruvzdornost.

Binární slitiny – chromnikl, nichrom, pyrochrom, chronit

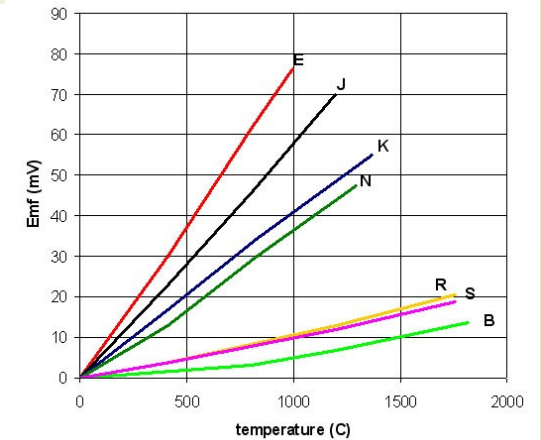
Přísada železa zvyšuje odolnost vůči síře

## c) *magneticky měkké slitiny niklu*

binární slitiny – 50%Ni + 50%Fe, 30%Ni + 70%Fe

ternární slitiny – 80%Ni + 5% Mo + Fe

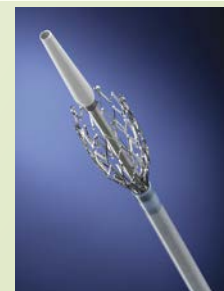
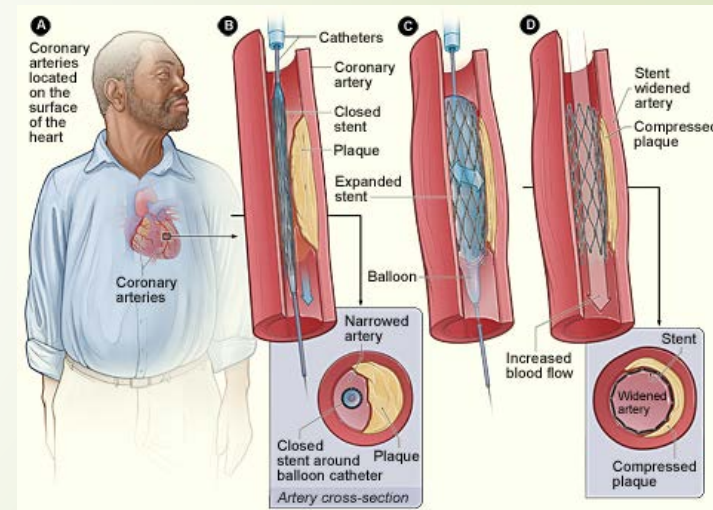
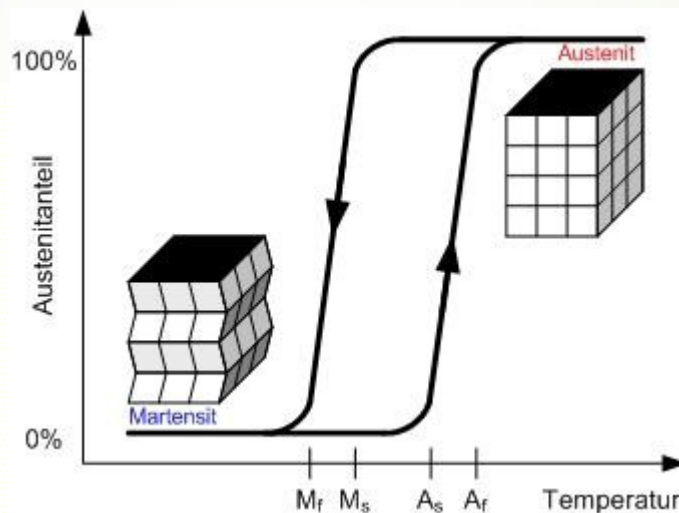
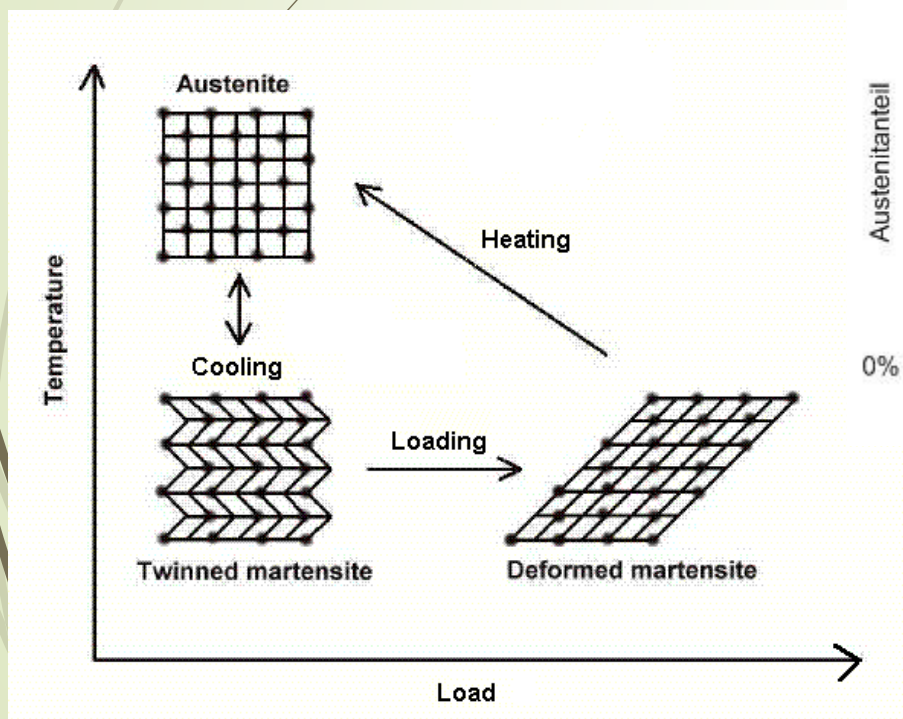
– 80%Ni + 4% (Cr+Cu) + Fe



Vysoká a stálá permeabilita

# Nikl – slitiny s paměťovým efektem – *Ni – Ti*

Tvarově-paměťový efekt probíhá přes teploty přeměny  $M_s$ ,  $M_f$  a  $A_s$ ,  $A_f$ . Jestliže se vychází ze změny martenzitu pod  $M_f$ , kdy jednotlivé martenzitické destičky rostou nebo se smršťují, začíná nad  $A_s$  přeměna martenzitu na původní austenit, a až nad  $A_f$  je úplná přeměna ukončena a je plně znovu dosaženo dřívější tvarování.



# Nikl – slitiny žáruvzdorné a žárupevné

- ▶ Výrazně žáruvzdornější a žárupevnější než železné slitiny
- ▶ Slitiny na bázi **Ni-Cr-Co** + přísady **Al, Ti** popřípadě **Mo, W, Nb**. Vysoké meze tečení se dosahuje precipitačním vytvrzením fáze  $\text{Ni}_3\text{Al}$  v níž je rozpuštěn titan. Dalšími vyztužujícími fázemi jsou karbidy a karbonitridy. V některých aplikacích se k náhradě velkého množství niklu používá určité procento Fe. Ke zvýšení korozní odolnosti postačuje Mo.

Znamé slitiny:

- ▶ *HASTELLOY* je registrovaná obchodní známka Haynes Intl.
- ▶ *INCOLOY, INCONEL (718, 738), MONEL a NIMONIC* jsou registrované obchodní známky společností rodiny INCO
- ▶ *INVAR* je registrovaná obchodní známka Inphy S.A.
- ▶ *MU-METAL* je registrovaná obchodní známka Telcon Metals Ltd
- ▶ *NICORROS a NICROFER* jsou registrované obchodní známky UM GmbH

Použití žáruvzdorných a žárupevných niklových slitin v extrémně namáhaných spalovacích motorech, proudových a raketových motorech – lopatky turbín hřídele atp. V poslední době nahrazováno Ti-Al slitinami pro jejich menší hustotu.



# Nikl – tvářené slitiny

Vybrané tvářené slitiny niklu

Tabulka 6.12. Přehled mechanických vlastností niklu a tvářených slitin niklu

Typ	Stav	$\sigma_{Pt}$ (MPa)	$\sigma_{0,2}$ (MPa)	$\delta$ (%)	HB (HV)	Poznámka
Ni99,5	M	340 ÷ 550	70 ÷ 200	30 ÷ 50	90 ÷ 120	ČSN 42 3405
NiCr28Mo8Cu5		370		18	160	Illium 98
NiSi2Cr1,5Mn	M	400 ÷ 550		25	(130)	ČSN 42 3419
NiCu30Fe2Mn1	M	420 ÷ 580	170 ÷ 270	25 ÷ 40	~140	ČSN 42 3431
NiSi2,5Mn	M	450 ÷ 600		25	(110)	ČSN 42 3418
Ni99,5	T	450 ÷ 800	280 ÷ 620	15 ÷ 35	125 ÷ 230	ČSN 42 3405
NiCr22Mo6Cu6		460	260	7	168	Illium G
NiMn2,5		500		40		NMc2,5 GOST
NiMn5	M	550 ÷ 600	180 ÷ 240	40 ÷ 45	140 ÷ 150	NMc5 GOST
NiCr16Fe8	M	550 ÷ 690	170 ÷ 340	35 ÷ 50	120 ÷ 170	Inconel
NiSi2Cr1,5Mn	½T	550 ÷ 700		3	(160)	ČSN 42 3419
NiCu30Fe2Mn1	½T	580 ÷ 700	500 ÷ 600	6	180 ÷ 210	ČSN 42 3431
NiSi2,5Mn	½T	600 ÷ 750		3	(160)	ČSN 42 3418
NiCu29Al3	M	620 ÷ 750	270 ÷ 410	35 ÷ 45	140 ÷ 180	Monel K
NiAl4,5	M	620 ÷ 820	200 ÷ 410	25 ÷ 50	140 ÷ 180	Duranickel
NiFe24Cr15Si1		640	280	28		Ch15N60 GOST
NiCr20	M	650		30		
NiCr16Fe8	T	650 ÷ 1 030	480 ÷ 860	15 ÷ 25	180 ÷ 290	Inconel
NiCu29Al3	T	690 ÷ 930	480 ÷ 690	15 ÷ 25	175 ÷ 260	
NiAl4,5	T	690 ÷ 1 030	340 ÷ 890	15 ÷ 30	175 ÷ 300	
NiSi2Cr1,5Mn	T	700		1	(210)	ČSN 42 3419
NiFe17Cr22Mo7		710	310	40		Hastelloy F
NiSi2,5Mn	T	750		1	(210)	ČSN 42 3418
NiCr20Si1		770		15		Ch20N80 GOST
NiCr21Mo5Cu3		780	340	45	160	Illium R
NiCr22Fe18Mo9		785	360	40		Hastelloy X
NiMo17Cr7Fe5		790	315	50		Hastelloy N
NiSi10Cu3		790		1		Hastelloy D
NiMo17Cr15Fe5		830	400	47		Hastelloy C
NiMo28Fe5		835	390	60		Hastelloy B
NiCu29Al3	US	890 ÷ 1 030	620 ÷ 750	20 ÷ 30	240 ÷ 280	Monel K
Ni	PT	930 ÷ 1 100	890 ÷ 1 000	2 ÷ 10		
NiCu30	PT	960 ÷ 1 170	890 ÷ 1 100	2 ÷ 10		Monel
NiCu29Al3	T+US	960 ÷ 1 170	690 ÷ 890	15 ÷ 30	265 ÷ 320	Monel K
NiCr21Mo5Cu3	½T	980	880	11	240	Illium R
NiMn2,5	T	1 000		2	140	NMc2,5 GOST
NiAl4,5	T+US	1 100 ÷ 1 300	820 ÷ 1 030	7 ÷ 20	300 ÷ 380	Duranickel
NiCu29Al3	PT+US	1 100 ÷ 1 380	1 030 ÷ 1 200	3 ÷ 8		Monel K
NiCr20	T	1 140		1		
NiCr16Fe8	PT	1 150 ÷ 1 275	1 030 ÷ 1 200	2 ÷ 10		Inconel
NiFe24Cr15Si1	T	1 200	1 150	0,5		Ch15N60 GOST
NiAl4,5	PT+US	1 300 ÷ 1 700		5 ÷ 10		Duranickel

M – stav měkký; ½T – stav půltvrký;

T – stav tvrdý; PT – pružinově tvrdý;

US – uměle stárnutý.