

2. Materiály a jejich charakteristiky

Austenitické, duplexní, feritické, martenzitické a precipitačně vytvrzené oceli. Značení, vlastnosti a použití.

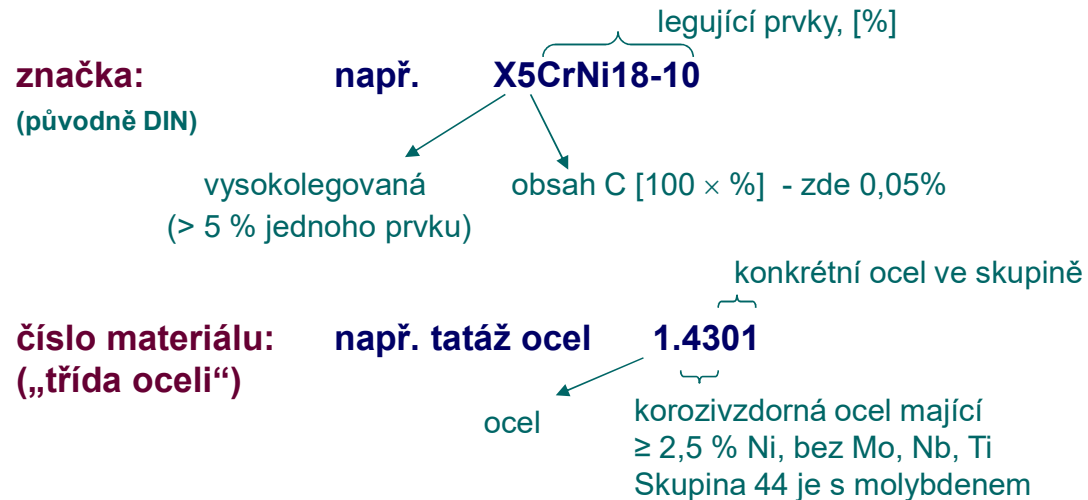
Materiál

Nerezové (korozi-vzdorné) oceli patří mezi legované oceli a mají:

min. 10,5% Cr

max. 1,2 % C

Značení: (ČSN EN 10027 – Systémy označování ocelí, ČSN EN 10088 - Korozi-vzdorné oceli)



Nerezové konstrukce

1

Podle hlavních vlastností (ČSN EN 10088: Korozivzdorné oceli):

a) Oceli odolné korozi:

Chrom na povrchu oxiduje a vytváří Cr_2O_3 , tj. "pasivní vrstvu" (sama se obnovuje).
(Oceli 1.40xx, 1.41xx, 1.43xx, 1.44xx, 1.45xx, 1.46xx).

Nejběžnější pro stavební konstrukce:

1.4301	1.4401	1.4462
└──────────┘		└──┘
austenitické		duplexní

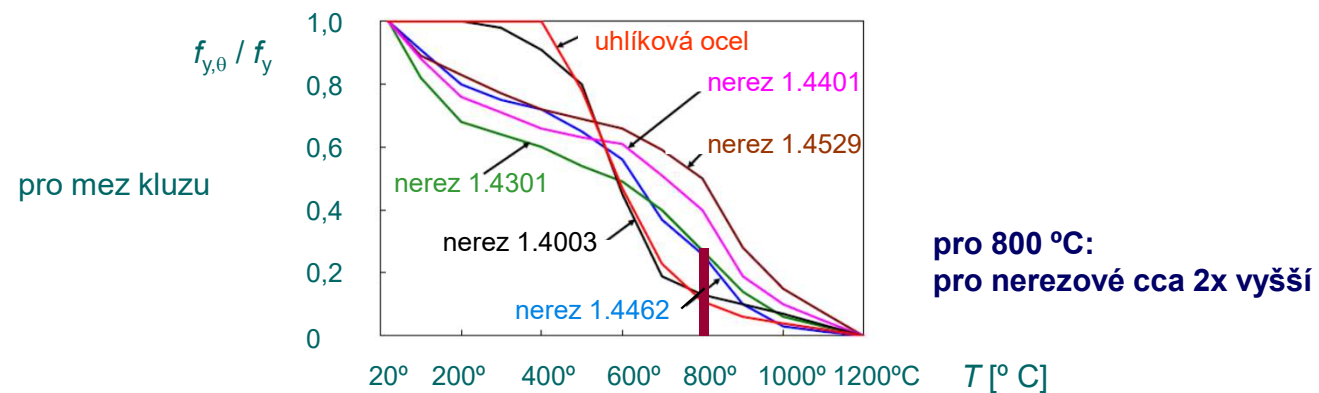
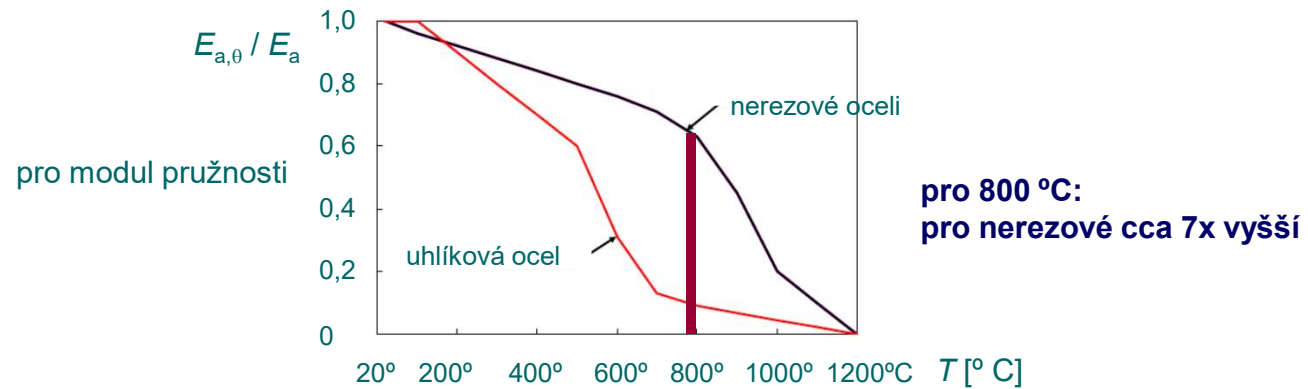
b) Oceli žáruvzdorné:

Mají dobrou odolnost proti oxidaci a plynům při teplotách > 500 °C.
(Oceli 1.47xx, 1.48xx).
Např. na termočlánky – měří do 800 °C, výrobky v hutnictví, apod.

c) Oceli žáropevné:

Mají dobrou odolnost proti deformaci při zatížení a teplotách > 500 °C.
(Oceli 1.49xx).
Např. pro turbíny, tlakové kotle, apod.

Redukční součinitele při požáru: porovnání uhlíkové a nerezové oceli

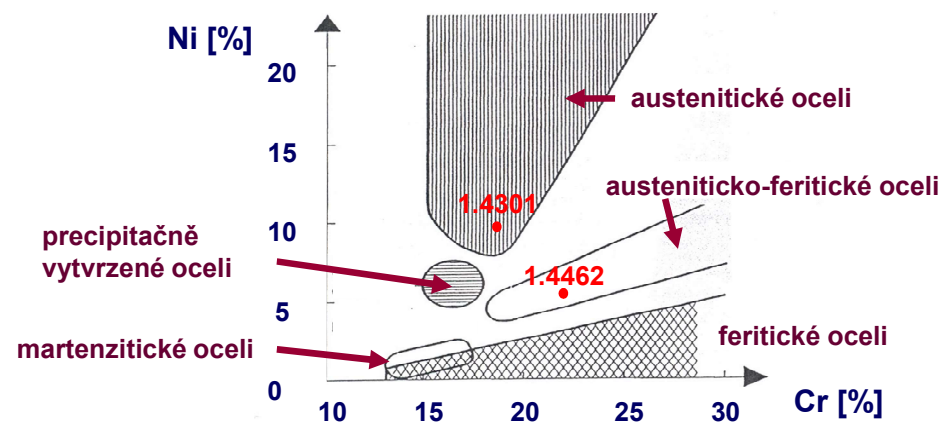


Nerezové konstrukce

3

Rozdělení podle mikrostruktury:

- **feritické oceli** (C < 0,8 %, magnetické, hůře svařitelné),
- **martenzitické oceli** (C < 1,0 %, magnetické, tvrdé - na ložiska apod.,
- **precipitačně vytvrzené oceli** (dodatečné tepelné vytvrzení martenzitu),
- **austenitické oceli** (Cr 17-19 %, Ni 8,5-14,5 %, Mo 2-2,5%)
nemagnetické, **ve stavebnictví nejběžnější,**
- **austeniticko-feritické (duplexní) oceli** (Cr 21-23 %, Ni 4,5-6,5 %, Mo 2,5-3,5 %, N 0,1-0,22 %) lepší, vyšší pevnost, větší odolnost proti korozi, dražší, **mosty.**



Nerezové konstrukce

4

Příklad typických struktur:

- feritická ocel 1.4511



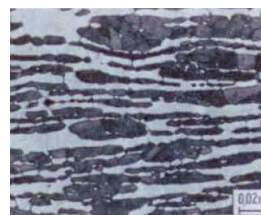
- martenzitická ocel 1.4313



- austenitická ocel 1.4301



- duplexní ocel 1.4462



Nerezové konstrukce

5

Třídy obsažené v ČSN EN 1993-1-4:2007

American Iron and Steel Institute/
American Society for Testing and Materials



	třída oceli	podle AISI/ASTM
Chromniklové austenitické	1.4318	301LN
	1.4301	304
	1.4306, 1.4307	304L
	1.4311	304LN
	1.4541	321
Chromnikmolybdenové austenitické	1.4401	316
	1.4404, 1.4432, 1.4435	316L
	1.4406	316LN
	1.4571	316Ti
	1.4439	317LN
	1.4539	904L
Super austenitické <small>(zlepšené protikorozní vlastnosti, cca 25%Cr, 7%Ni, 3,5%Mo, N)</small>	1.4529	925
	1.4547	„6 % molybdenum“
Duplexní	1.4362	2304
	1.4462	2205
Feritické	1.4003	„weldable 409“
	1.4016	430
	1.4512	409

Nerezové konstrukce

6

Nové druhy nerezových ocelí pro stavební konstrukce (levnější):

1. Nízkolegovaná duplexní ocel („lean“ duplex grade):

1.4162 (LDX 2101, podle ASTM S32101)

složení:

0,03% C; 21,5 % Cr; 5% Mn; 1,5% Ni; 0,3% Mo; 0,22% N

vlastnosti:

- vysoká pevnost ($f_y \geq 450$ MPa; $f_u \geq 650$ MPa; $\delta \geq 30\%$; $KV_{20^\circ C} \geq 60$ J; $\alpha = 0,0000135$),
- dobrá svařitelnost, jako u ostatních duplexních ocelí,
- korozní odolnost jako u austenitických ocelí,
- dobrá únosnost při únavě.

2. Feritické oceli:

1.4509 (podle ASTM 441) - X2CrTiNb18
legury zlepšují svařitelnost a tvárnost

1.4521 (podle ASTM 444) - X2CrMoTi18-2
legury zlepšují odolnost proti korozi

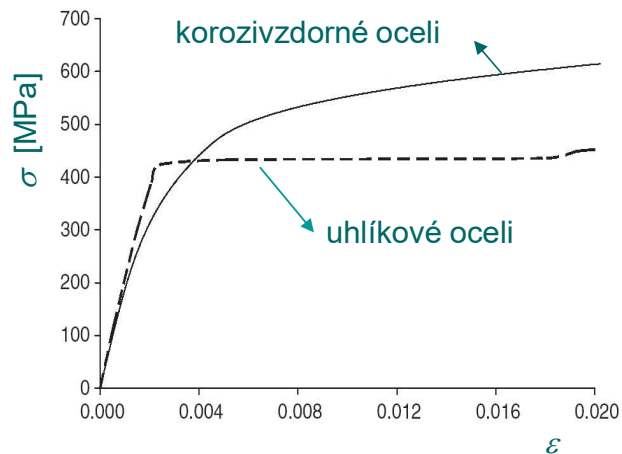
Nerezové konstrukce

7

Mechanické vlastnosti nerezových ocelí:

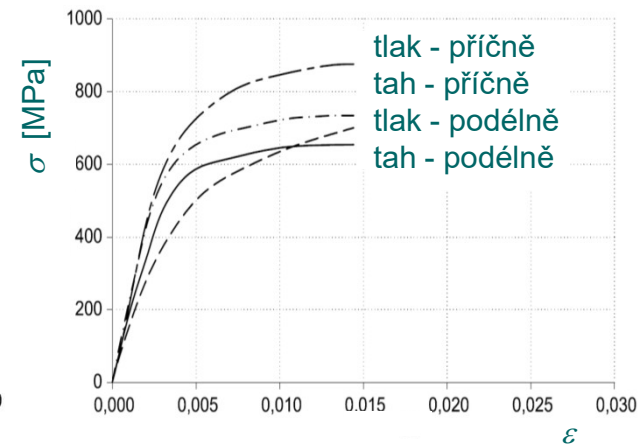
- nelineární pracovní diagram

(používá se Ramberg-Osgoodův model)



- jiné vlastnosti příčně,

podélně, v tlaku, v tahu



Pozn.: Eurokód dovoluje počítat s jednotnými návrhovými hodnotami, stanovenými pro podélný tah.

Nerezové konstrukce

8

Běžné výpočty podle ČSN EN 1993-1-4:2007

- $E = 200\,000\text{ MPa}$ ($G = 77\,000\text{ MPa}$).
- f_y (smluvní mez kluzu) a f_u (mez pevnosti) podle tříd a tloušťky t .

Např. pro nejběžnější oceli:

Pásy a plechy válcované za studena $t \leq 8\text{ mm}$ (resp. za tepla $\leq 13,5\text{ mm}$), [profily]:

1.4301 (austenitická) $f_y = 230$ (210) [190] MPa $f_u = 540$ (520) [500] MPa
X5CrNi18-10

1.4401 (austenitická) $f_y = 240$ (220) [200] MPa $f_u = 530$ (520) [500] MPa
X5CrNiMo17-12-2

1.4462 (duplexní) $f_y = 500$ (460) [450] MPa $f_u = 660$ (640) [650] MPa
X2CrNiMoN22-5-3

{ Pozn.: prEN1993-1-4:2020 uvádí jen dvě třídy:
S210 (např. 1.4301 a 1.4401, $f_y = 210\text{ MPa}$)
S450 (např. 1.4462, $f_y = 450\text{ MPa}$) }

- **tažnost vysoká (40 ÷ 60 %),**
- **velká tepelná roztažnost (austenitické $\alpha = 0,000\,017$, běžná ocel $0,000\,012$),**
- **křehkolomové vlastnosti výborné až do -40° C .**

Nerezové konstrukce

9

Úprava (zjednodušení) podle prEN 1993-1-4:2020

Table 5.1 — Strength and corrosion classes for common stainless steels

Corrosion Resistance Class (see Annex A)	Strength class			
	S210		S450	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
	210	500	450	650
I	1.4003* (F)			
II	1.4301 (A)		1.4482 (D)	
	1.4307 (A)			
III	1.4401 (A)		1.4162 (D)	
	1.4404 (A)		1.4662 (D)	
	1.4435 (A)		1.4362** (D)	
	1.4571 (A)		1.4062 (D)	
IV			1.4462 (D)	
V			1.4410 (D)	
			1.4501 (D)	

Notes:

1. F = ferritic, A = austenitic and D = duplex stainless steels
2. The most common austenitic stainless steels are 1.4301/1.4307 and 1.4401/1.4404.
3. The strengths apply to sheet, plate and products fabricated from sheet and plate. The strengths also apply to cold formed hollow sections where the strength enhancement arising from fabrication is not taken into account. Enhanced strengths may be used in design in accordance with 5.1.2.1(2).
4. For rods, bars, hotrolled open sections and seamless tubes f_y should be reduced to 180 N/mm² for the grades in S210 and reference should be made to EN 10088 for the grades in S450.
5. * f_y = 250-280 N/mm² for 1.4003, depending on the product form and f_u = 450 N/mm². For rod, only f_u values apply.
6. **Manufacturers shall guarantee that f_y = 450 N/mm²
7. Table A.3 of Annex A categorises a wider selection of stainless steels into Corrosion Resistance Classes.

Nerezové konstrukce

10

Vliv mechanického zpevnění za studena

Z hlediska navrhování je důležité zpevnění válcováním nebo tvarováním za studena (vede k vyšší smluvní mezi kluzu f_y i vyšší mezi pevnosti f_u).

Pro plošné profily válcované za studena lze pro austenitické oceli použít zvýšené hodnoty s označením (upraveno podle prEN1993-1-4, 2020) :

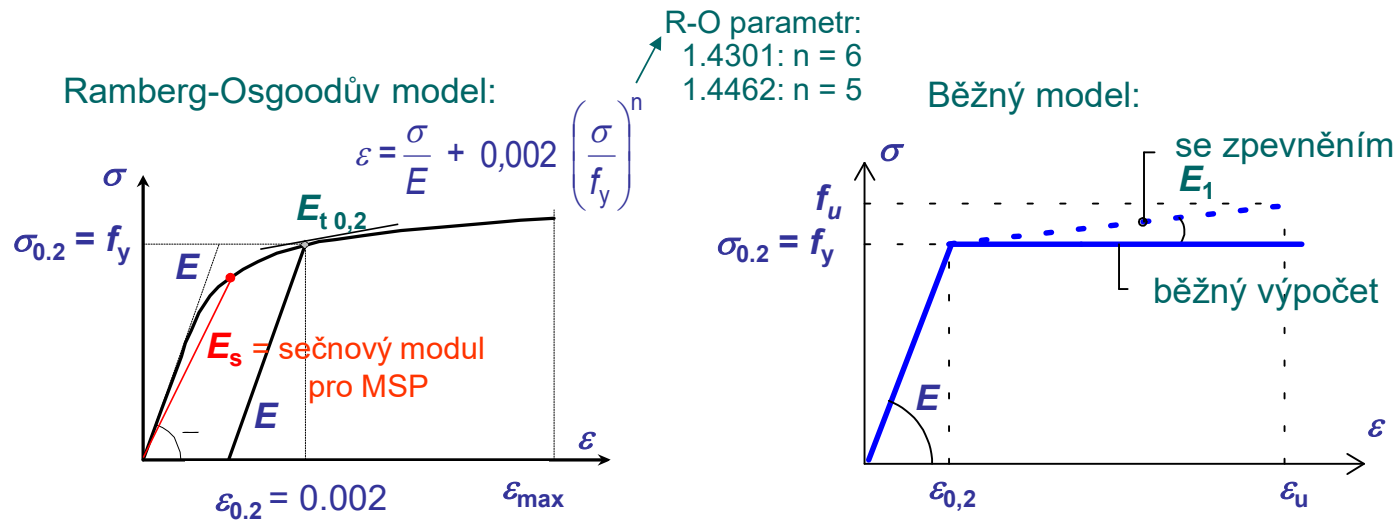
CP350	$f_y = 350$ MPa (ale v tlaku 315 MPa)	$f_u = 600$ MPa
CP500	$f_y = 470$ MPa (ale v tlaku 315 MPa)	$f_u = 650$ MPa

Tyto třídy zaručí výrobce (podle výrobních norem), popř. musí potvrdit testy.

Pozn.: současná ČSN EN 1993-1-4, 2007 uvádí značení CP350 (C700) a po dalším ověření zkouškami též CP500 (C800), CP700 (C1000). Zvýšení hodnot pro profily podmiňuje zkouškami.

Pro profily tvarované za studena zavádí budoucí prEN1993-1-4, 2020 možnost zvýšení meze kluzu f_y i vyšší mezi pevnosti f_u vlivem zpevnění v rozích podobně, jako je běžné u uhlíkové oceli.

Náročnější výpočty nelineární (v souladu s ČSN EN 1993-1-4):



Pro deformace nad smluvní mezí kluzu (pro $\sigma \geq f_y$) doporučuje Eurokód vhodnější vztah, platný v souladu s experimenty až do $\varepsilon \leq 10\%$:

$$\varepsilon = 0,002 + \frac{f_y}{E} + \frac{\sigma - f_y}{E_y} + \varepsilon_u \left(\frac{\sigma - f_y}{f_u - f_y} \right)^m + \varepsilon_{0,2}$$

$$m = 1 + 3,5 \frac{f_y}{f_u} \quad E_y = \frac{E}{1 + 0,002 n \frac{E}{f_y}}$$

$$\varepsilon_u = 1 - \frac{f_y}{f_u}$$

Nerezové konstrukce

12

[F1: soli (1 až -15); F2: SO₂ (0 až -10); F3: čištění + oplach vodou (0 až -7)]

Výběr korozivzdorní oceli pro konstrukce (Pozn: podle změny A1 (5/2016) se výběr provádí podle třídy korozní odolnosti CRC (I až V) stanovené podle součinitele korozní odolnosti $CRF = F1 + F2 + F3$, detaily viz norma).

Třída oceli	Typ prostředí a korozní kategorie											
	Venkovské			Městské			Průmyslové			Přímořské		
	N	S	V	N	S	V	N	S	V	N	S	V
1.4006 1.4016	uvnitř lze	-	-	uvnitř lze	-	-	-	-	-	-	-	-
1.4301 1.4311 1.4541 1.4318	ano nejlépe	ano nejlépe	ano nejlépe	ano nejlépe	ano nejlépe	často čistit	často čistit	často čistit	-	ano nejlépe	často čistit	-
1.4362 1.4401 1.4404 1.4406 1.4571	lze	lze	lze	lze	ano nejlépe	ano nejlépe	ano nejlépe	ano nejlépe	často čistit	ano nejlépe	ano nejlépe	často čistit
1.4439 1.4462 1.4529 1.4539	lze	lze	lze	lze	lze	lze	lze	lze	ano nejlépe	lze	lze	ano nejlépe

N – nízká korozní agresivita (nízká vlhkost a teploty),
 S – střední (typická) korozní agresivita,
 V – vysoká korozní agresivita (vysoká vlhkost, teplota znečištění).

Nerezové konstrukce

13

**Výběr korozivzdorní oceli pro konstrukce podle změny A1 (5/2016)
a také podle prEN 1993-1-4:2020**

vnitřní prostředí

nízká koncentrace

omývané deštěm

1) F1: soli (1 až -15); F2: SO₂ (0 až -10) ; F3: čištění + oplach vodou (0 až -7)

2) Součinitel korozní odolnosti: CRF = F1 + F2 + F3

3) Třídy korozní odolnosti CRC:

pro CRF 1	CRC I
pro CRF 0 až -7	CRC II
pro CRF -7 až -15	CRC III
pro CRF -15 až -20	CRC IV
pro CRF < -20	CRC V

Výběr oceli podle korozní třídy CRC:

I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4462	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4439	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	a další			

Nerezové konstrukce

14

Příklady použití korozivzdorných ocelí na stavební konstrukce:

- **Austenitické oceli (nižší f_y , $\alpha \approx 0.000\ 016 \div 0,000\ 018$):**

- 1.4301 (X5CrNi18-10) - menší protikorozní nároky (levnější), [v USA 304]
- 1.4401 (X5CrNiMo17-12-2) - vyšší korozní odolnost, plechy a profily s pískovanými a elektroštěnými povrchy [316],
- 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) - vyšší korozní odolnost, střešní plechy, táhla na mostech [316 L],
- 1.4432 (X5CrNiMo17-12-3) - lisované profily se saténovou úpravou, pavoukové držáky skleněných tabulí apod.

- **Austeniticko-feritické (duplexní) oceli (vysoké f_y , $\alpha \approx 0.000\ 013$):**

- 1.4362 (X2CrNiN23-4) - exponované nosné části konstrukcí,
- 1.4462 (X2CrNiMoN22-5-3) - vysoká korozní odolnost (též vůči chloridům, SO₂, ...) exponované nosné části mostů.
- spec. (X2CrNiMoCu22-6-3-2) - vysoká smluvní mez kluzu ($f_y = 500$ MPa), použitá na La Grande Arche, $\alpha \approx 0.000\ 014$,
- 1.4435 (X2CrNiMo18-4-3) - vysoká korozní odolnost, použita na zábradlí mostů.