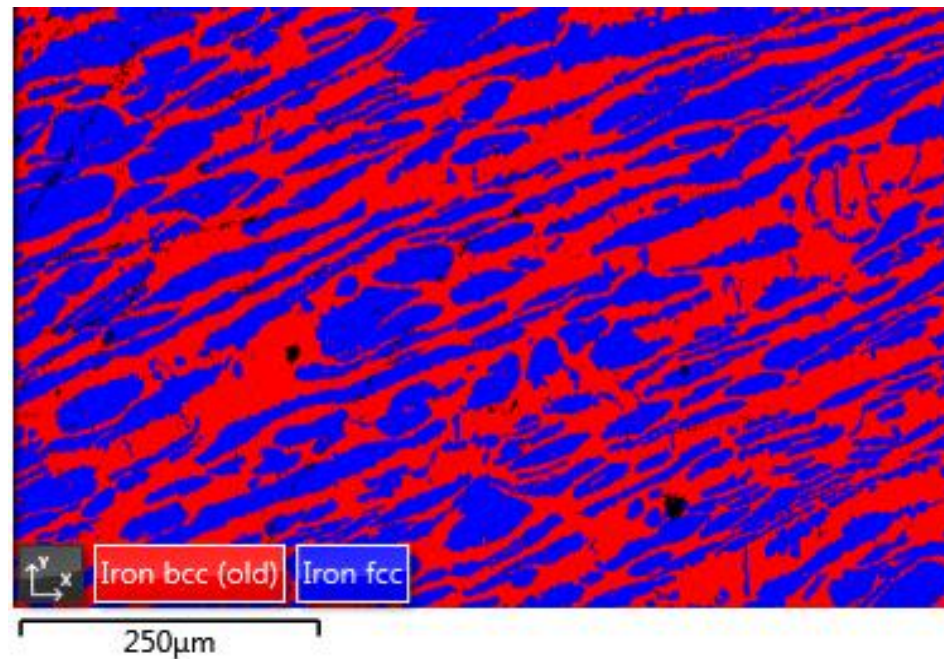


# Nerezavějící a žáruvzdorné oceli

Vliv legujících prvků na binární diagramy a fázovou skladbu. Soustavy Fe-Cr, Fe-Ni, Fe-Cr-Ni. Austenitická a feritická struktura. Vliv dusíku. Ekvivalent Cr a Ni. Schaefflerův diagram, DeLongův a další diagramy. Přehled nerezavějících ocelí (plně austenitické, ferit obsahující oceli, feritické, martenzitické, precipitačně vytvrditelné, duplexní nerezavějící oceli, chemicky odolné, tečení odolné, žáruvzdorné oceli, superferitické, supermartenzitické a superaustenitické nerezavějící oceli.



***doc. Ing. Jaromír MORAVEC, Ph.D.***

# Definice a rozdělení ocelí

## ČSN EN 10020 – Definice a rozdělení ocelí

### Tato norma definuje termín „ocel“ následujícím způsobem:

Ocel materiál, jehož hmotnostní podíl železa je větší než kteréhokoliv jiného prvku, obsah uhlíku je všeobecně menší než 2 % a obsahuje další prvky. Omezený počet chromových ocelí může obsahovat více než 2 % uhlíku, ale 2 % je obvyklá hranice mezi ocelí a litinou.

### Norma dělí jakosti oceli takto :

- Na **oceli nelegované, korozivzdorné a ostatní legované oceli**, podle chemického složení.
- Na hlavní třídy jakosti oceli, tj. **oceli nelegované, korozivzdorné a další legované oceli** definované jejich základními vlastnostmi nebo účelem použití.

**Korozivzdorné oceli** – jsou **oceli s minimálním obsahem chromu 10,5% (12% učební podklady IWE) a s max. obsahem C 1,2 %**.

### Rozlišují se podle těchto kritérií:

#### **Podle obsahu niklu na:**

- oceli s obsahem niklu nižším než 2,5 %;
- oceli s obsahem niklu 2,5 % nebo vyšším.

#### **Podle základních vlastností na:**

- korozivzdorné oceli;
- žáruvzdorné oceli;
- žáropevné oceli.

# Rozdělení korozivzdorných ocelí

## ČSN EN 10088-1 Korozivzdorné oceli - Část 1: Přehled korozivzdorných ocelí

Za **korozivzdorné oceli** jsou podle této normy (stejně jako u ČSN EN 10020-1) považovány oceli s minimálním obsahem chromu 10,5 % a s maximálním obsahem C 1,2% (platí až na malé výjimky– několik ocelí má nižší obsah chromu).

Je zřejmé, že v normě ČSN EN 10088-1 je za hlavní vlastnost pokládána korozivzdornost a ta je podmíněna minimálním obsahem Cr. Oceli tohoto typu patří mezi ocele vysokolegované.

### **Všeobecně se korozivzdorné oceli rozdělují podle tří hledisek:**

- Užitných vlastností;
- Mikrostruktury;
- Významných legujících prvků.

Podle dostupnosti mohou být oceli dále dělené na běžné a speciální jakosti.

### **Podle hlavních vlastností se dále rozdělují na:**

- Odolné proti korozi;
- Žáruvzdorné;
- Žáropevné.

# Odolnost proti korozi, žáruvzdornost, žárovevnost

## Odolnost proti korozi:

Ocel odolná korozi je **ocel s dobrou odolností proti rovnoměrnému nebo místnímu působení daného prostředí**. Odolnost zajišťuje minimální obsah Cr 10,5%, který **samovolně vytváří tenký povlak chromu**. Prostedím může být **atmosféra** (vnitřní, venkovní, průmyslová, mořská) **při teplotě okolí**, případně **roztok splňující elektrochemické podmínky**.

## Žáruvzdornost:

Žáruvzdornost je charakterizována jako **schopnost materiálu dlouhodobě odolávat opalu**. Oceli, které jsou schopné v oxidačním prostředí dlouhodobě odolávat za teplot zhruba nad 600 °C, ale nejsou schopné přenášet větší mechanické namáhání, jsou označovány jako žáruvzdorné (dříve i žárovzdorné).

*Jde převážně o oceli feritické nebo austenitické, s dobrou odolností proti oxidaci a účinkům horkých plynů a spalin při teplotách vyšších než 550°C. V oxidačním prostředí se vytvoří ochranná vrstva oxidů Cr, Si a Al na povrchu oceli. Tyto oxidy také snižují působení S. V redukční atmosféře, kde se nevytvářejí oxidy, zvýšený obsah Ni snižuje nauhličení i citlivost k působení S.*

## Žárovevnost:

Žárovevnost můžeme definovat jako schopnost materiálu dlouhodobě odolávat mechanickému namáhání za dané teploty. Měřítkem žárovevnosti je mez tečení či mez pevnosti při tečení. Oceli tohoto typu pracují v oblasti creepového namáhání.

*Žárovevné jsou hlavně martenzitické a austenitické oceli s dobrou odolností proti deformaci při dlouhodobém mechanickém namáhání a teplotách nad 500°C.*



# Dělení korozivzdorných ocelí dle legujících prvků

## Chrom a Nikl

Cr a Ni jsou hlavní legující prvky v korozivzdorných ocelích. Ty se dle nich rozdělují na „Chromové oceli“ pro feritické oceli a „Chrom-Niklové oceli“ pro austenitické oceli.

## Molybden

Mo zlepšuje odolnost proti korozi (zejména důlkové indukované Cl). Austenitické oceli s více jak 2% Mo se nazývají „Chrom-Nikl-Molybdenové oceli“.

## Mangan

Mn je přidáván jako náhrada za Ni, protože je austenitotvorný a zvyšuje rozpustnost N. ISO/TR 15608 definuje samostatnou skupinu austenitických ocelí s obsahem 2 – 9% Mn.

## Uhlík (nizkohlíkaté)

Karbidy Cr se mohou vylučovat na hranicích zrn během pomalého ochlazování po TZ nebo svařování. To může způsobit MKK. Kritické je rozmezí teplot 600 – 800°C. Proto se vyrábějí oceli s  $\leq 0,03\%$  C, tzv. LC-oceli (low carbon – nizkohlíkaté), ve kterých všichni C zůstává v tuhém roztoku a nespojí se s Cr k tvorbě precipitátů karbidu chromu.

## Dusík

N je výrazný stabilizační prvek austenitu, je přidáván jako náhrada za Ni, a zvyšující pevnost stejně jako odolnost proti důlkové korozi.

## Stabilizace – Ti, Nb, Zr

Přidáním Ti, Nb a/nebo Zr se zamezuje vylučování karbidů chromu doprovázející tepelné zpracování a svařovací postupy. Stabilizované oceli vykazují dobré pevnostní vlastnosti až do teplot okolo 600°C.

## Síra

S (0,15 – 0,35%) podporuje lámavost třísky a zlepšuje tak obrobiteľnosť. Snižuje ale vrubovou houževnatost a korozní odolnost.

# Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli

Vysokolegované oceli obsahují více než 10% celkového obsahu legur. Mezi korozi-vzdorné oceli řadíme oceli schopné pasivace, které odolávají korozi v oxidačním prostředí. Nutnou podmínkou pasivace je obsah Cr v tuhém roztoku nad cca. 12% v závislosti na uhlíku. Žáruvzdorné oceli odolávají oxidaci a chemické korozi v plynech při teplotách nad 600°C. Jsou legovány Cr, Si a Al. Tyto legury vytvářejí na povrchu oceli při vyšších teplotách stabilní vrstvu oxidů  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  odolnou proti opalu.

Nejdůležitější legující prvky je možné rozdělit na:

**Austenitotvorné**, které rozšiřují v rovnováž. diagramu oblast  $\gamma$  (**C, Ni, Cu, Mn, N**).

**Feritotvorné**, zužující v rovnováž. diagramu oblast  $\gamma$  (**Cr, Mo, Si, Al, W, V, Ti, Nb**).

Podle obsahu hlavních legur a dosažené mikrostruktury dělíme oceli na:

- Feritické chromové oceli.
- Martenzitické chromové oceli.
- Austenitické Cr-Ni a Cr-Ni-Mo oceli.
- Austeniticko-feritické (duplexní) Cr-Ni, nebo Cr-Ni-Mo oceli.

# Struktura korozivzdorných ocelí

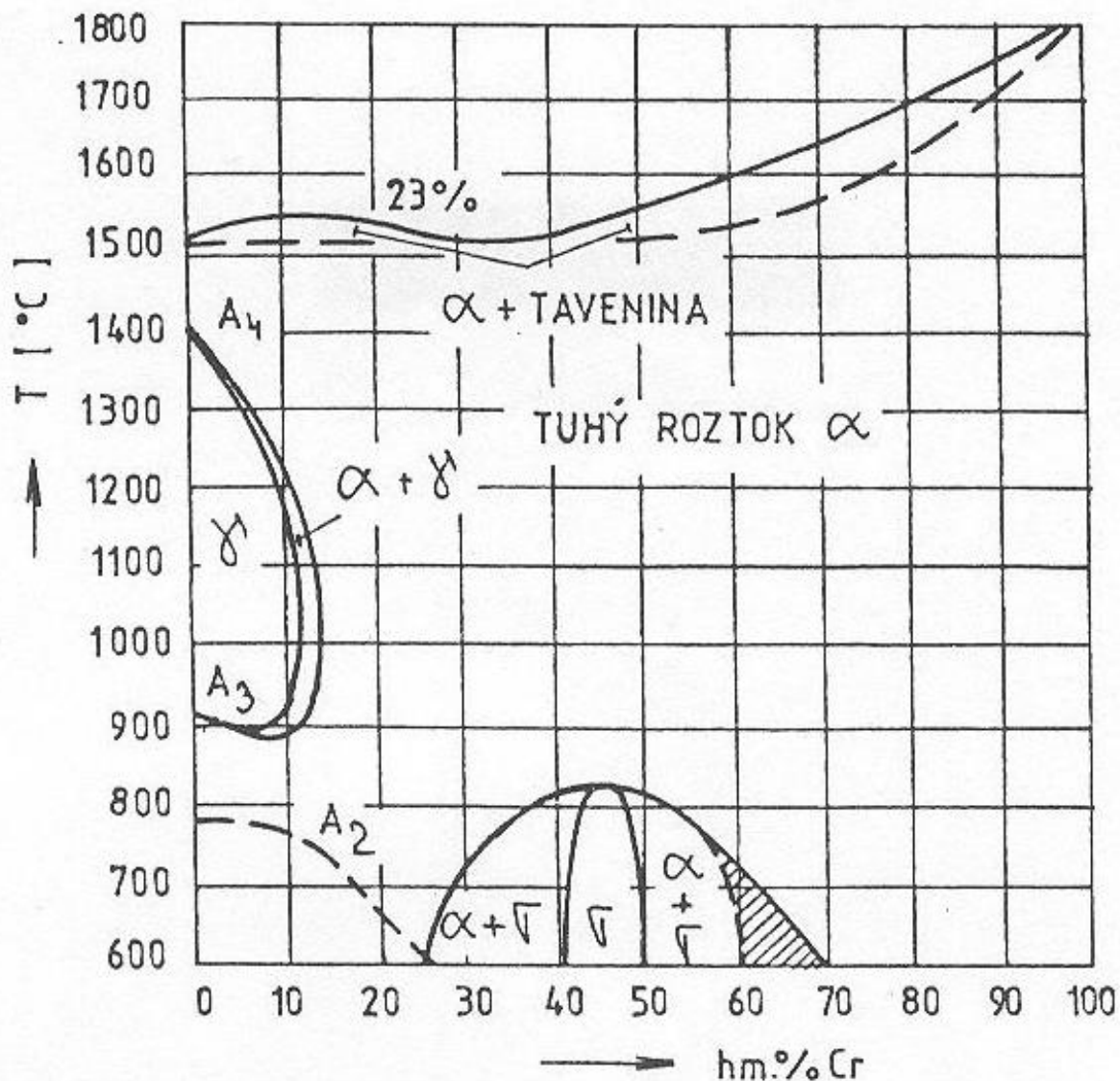
Struktura vysokolegovaných korozivzdorných ocelí závisí na jejich chemickém složení. Základní informace o možných strukturách chromových ocelí poskytuje rovnovážný diagram železo – chrom.

Chrom je feritotvorný prvek, který stabilizuje fázi  $\alpha$  a zmenšuje oblast  $\gamma$ . Slitina prodělává transformaci  $\alpha$ - $\gamma$ - $\alpha$  do obsahu chromu cca 13 hm%. Nad 13 hm. % Cr je oblast feritu.

Jednofázová slitina při ohřevu nad 900°C bude mít hrubé zrno a slitina křehne. Regenerace překrytalizací není možná.

S rostoucím obsahem Cr vzniká při 25 hm. % nová fáze  $\sigma$  (sigma), která vyvolává křehnutí slitin Fe-Cr. Fáze  $\sigma$  je stabilní do teploty 820°C.

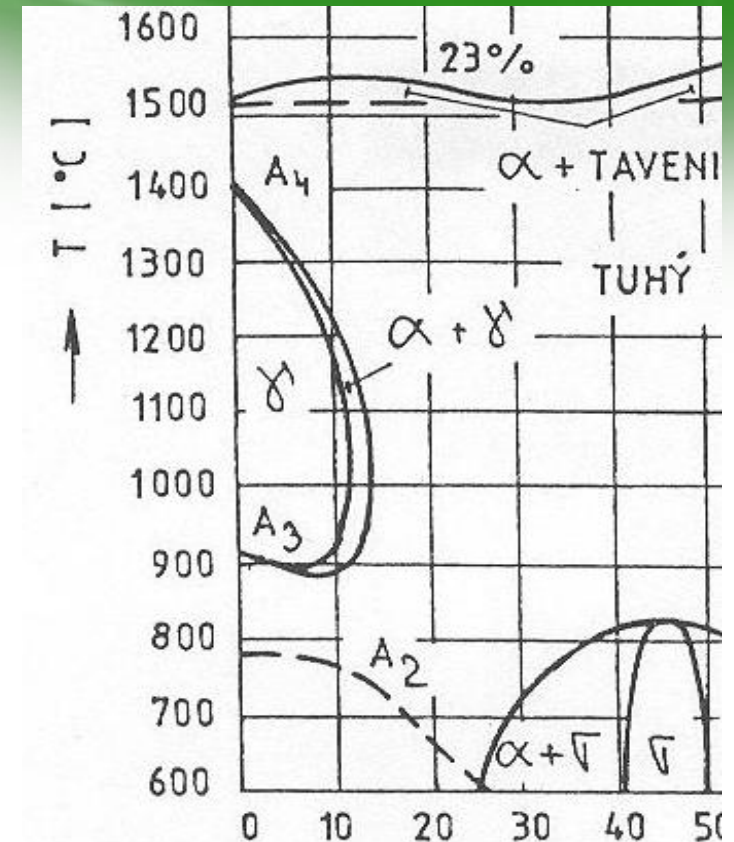
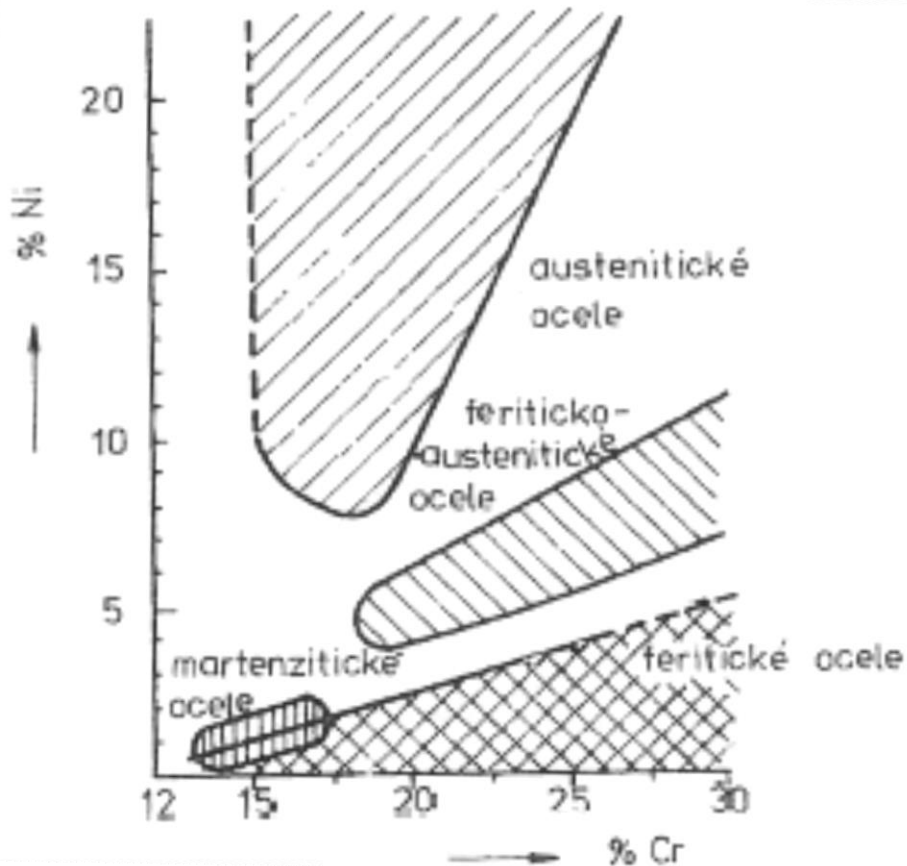
Je však nutné uvážit vliv C, který rozšiřuje oblast  $\gamma$  k vyšším obsahům Cr. Např. obsah 0,1 hm.% C posunuje oblast  $\gamma$  až k obsahu cca 18 hm. % Cr.





# Struktura korozivzdorných ocelí

Cr oceli s obsahem nad 5 hm. % Cr jsou samokalitelné i na vzduchu a výsledná struktura je **martenzitická**. Cr výrazně snižuje kritickou rychlost potřebnou pro vznik martenzitu (posouvá křivky v ARA diagramu výrazně doprava. Při obsazích Cr odpovídajících úzké oblasti  $\alpha + \gamma$  je výsledná struktura **martenziticko-feritická**. Při obsazích Cr nad rozsah oblasti  $\alpha + \gamma$  je struktura čistě **feritická**.



Základní prvky ovlivňující mikrostrukturu ocelí jsou Cr, Ni, C a N. Podle Cr a Ni mohou vznikat následující typy ocelí (viz obr.).

Pro zvýšení meze kluzu se austenitické korozivzdorné oceli často dolegovávají dusíkem N. Jeho rozpustnost v austenitu je podstatně větší než ve feritu.

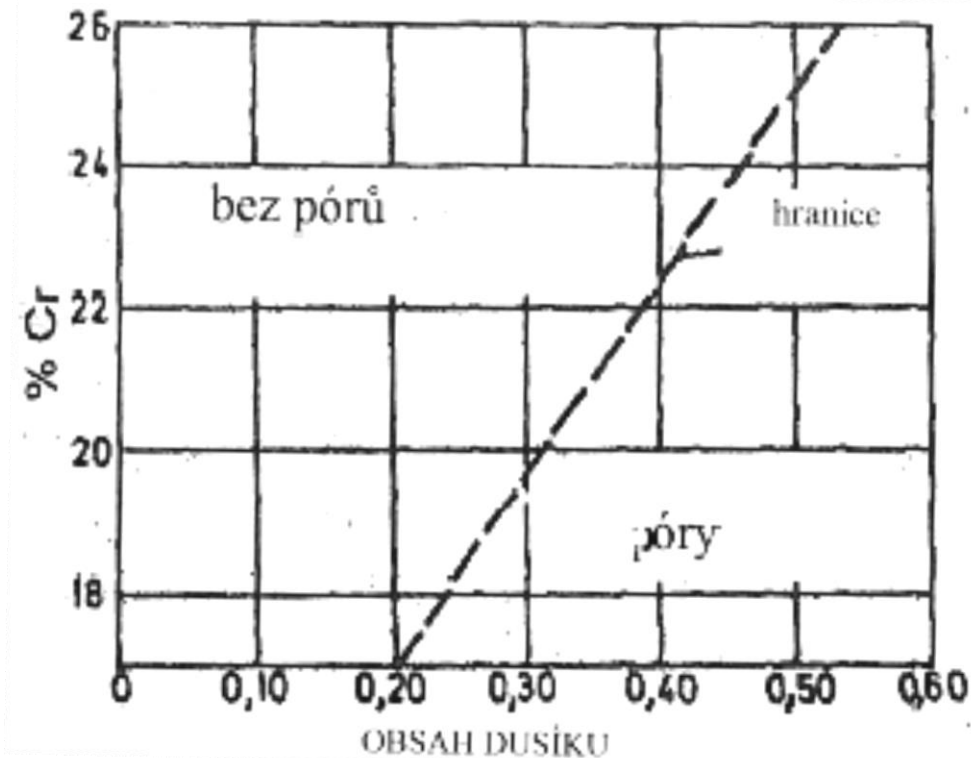


# Struktura korozivzdorných ocelí

Pro zvýšení meze kluzu se austenitické korozivzdorné oceli často dolegovávají **dusíkem N**. Jeho rozpustnost v austenitu je **podstatně větší než ve feritu**. Obrázek dokumentuje kolik dusíku může být rozpuštěno v oceli v závislosti na obsahu Cr, aby nedošlo ke vzniku pórů.

**Dolegováním Ni** do chromových ocelí se dosahuje větší korozní odolnosti a větší houževnatosti ocelí. To je způsobeno **austenitickou strukturou Cr-Ni ocelí**. Austenit se vyznačuje vyšší rozpustností C v porovnání s feritem a má lepší plastické vlastnosti než ferit. **Vyšší rozpustnost C** v austenitu **snižuje** nebezpečí **precipitace karbidů chromu**.

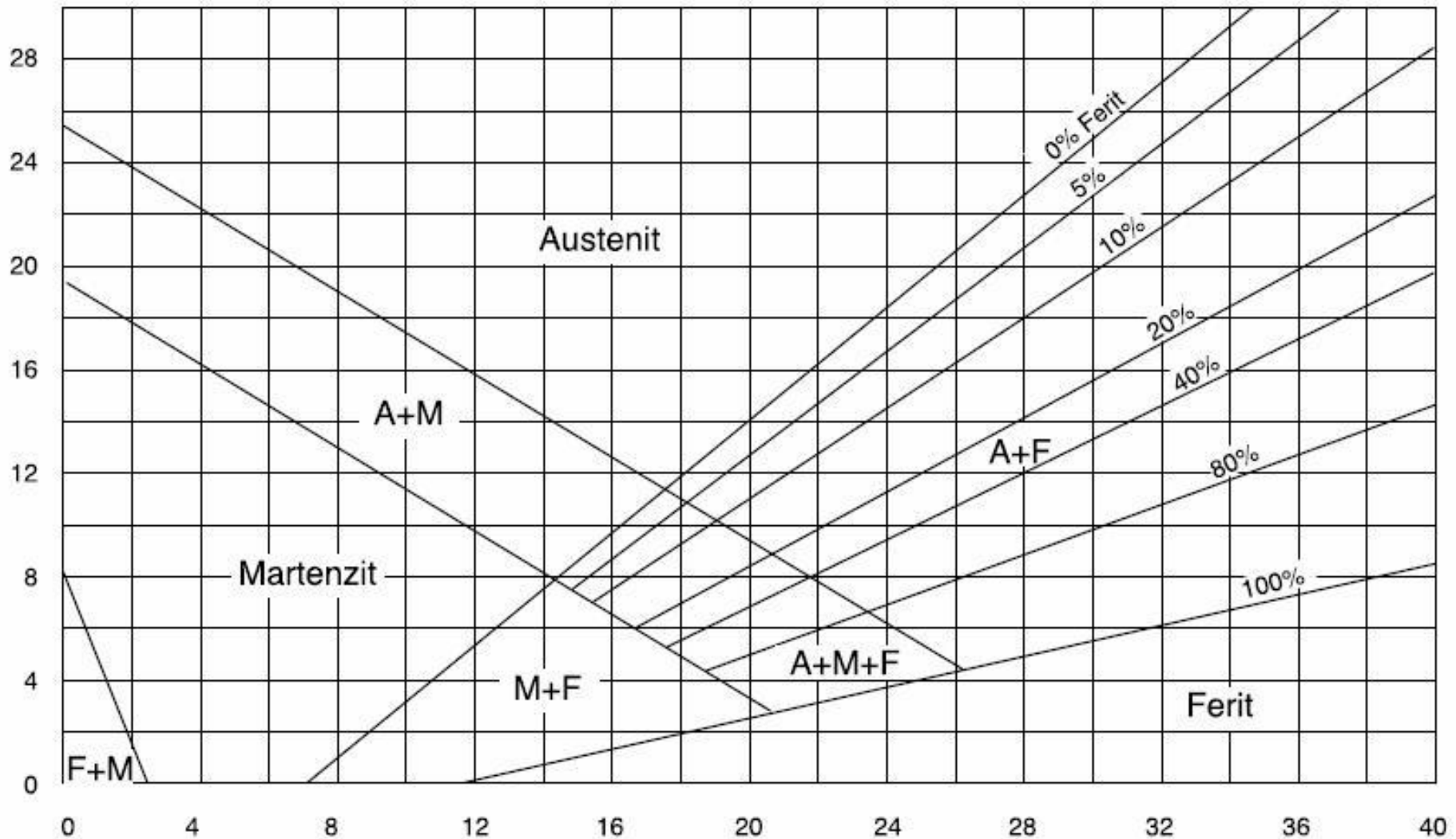
Struktura Cr-Ni ocelí je výsledkem vlivu kombinace **feritotvorných** a **austenitotvorných prvků** na strukturu oceli. Vliv všech feritotvorných prvků je vyjádřen tzv. **chromovým ekvivalentem  $Cr_E$** . Vliv všech austenitotvorných prvků je vyjádřen tzv. **niklovým ekvivalentem  $Ni_E$** . Na základě výpočtu  $Cr_E$  a  $Ni_E$  byly zkonstruovány **konstituční diagramy**, kterých se používá k odhadům výsledné struktury vysokolegovaných korozivzdorných ocelí. Jedná se zejména o **Schaefflerův diagram**, **De Longův diagram** a případně také o **Espyho diagram** a **WRC-1992 diagram**.



# Schaefflerův diagram

Diagram je možné použít k odhadům výsledné mikrostruktury vysokolegovaných korozi-vzdorných ocelí s nízkým obsahem N. S dostatečnou přesností jej lze použít pro oceli typu ASTM 308, 310, 312, 316, 317, 318 a 347.

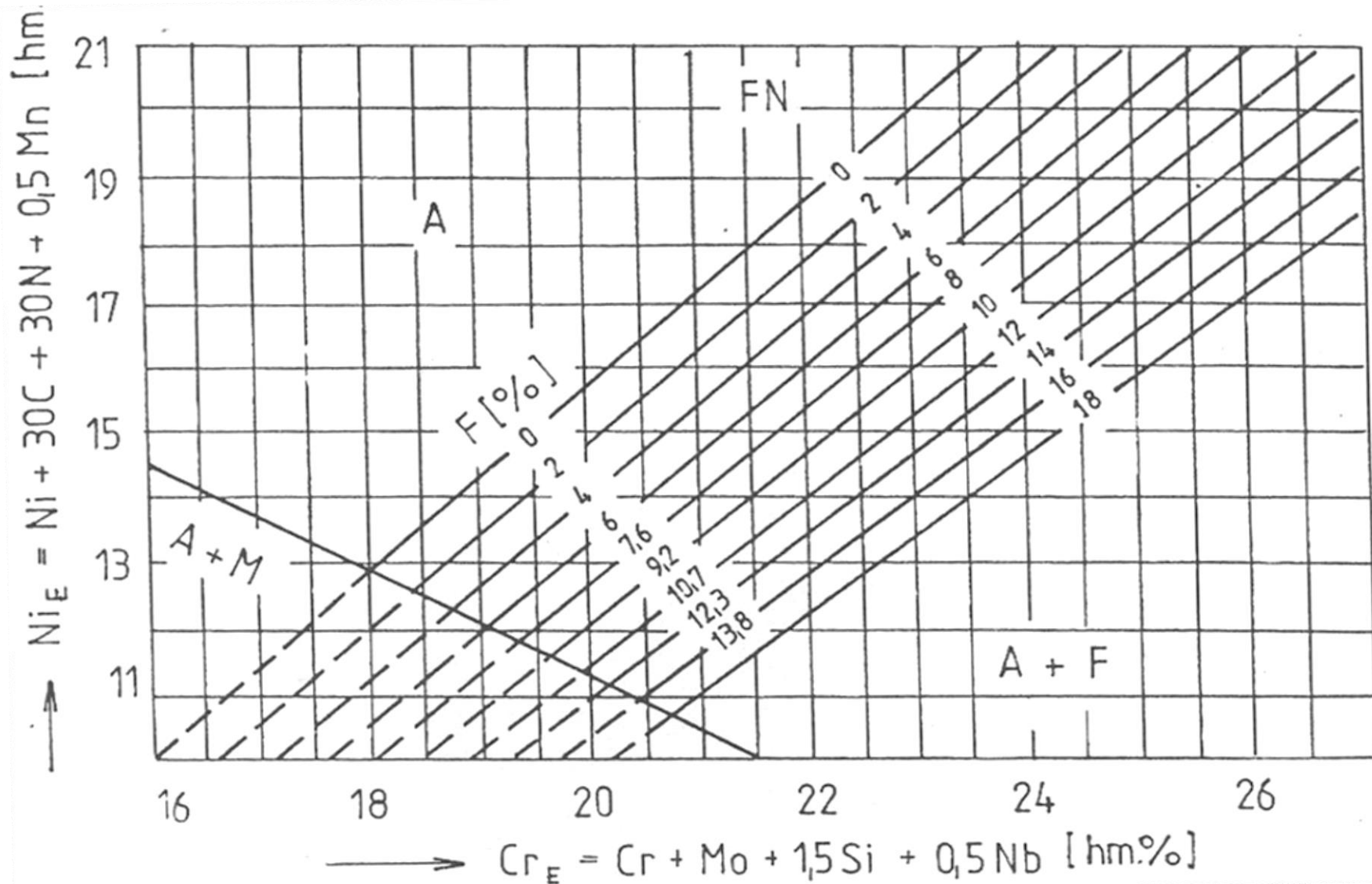
$$\text{Ekvivalent niklu} = \% \text{ Ni} + 30 \times \% \text{ C} + 0,5 \times \% \text{ Mn}$$



$$\text{Ekvivalent chromu} = \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 1,5 \times \% \text{ Si} + 0,5 \times \% \text{ Nb}$$

# De Longův diagram

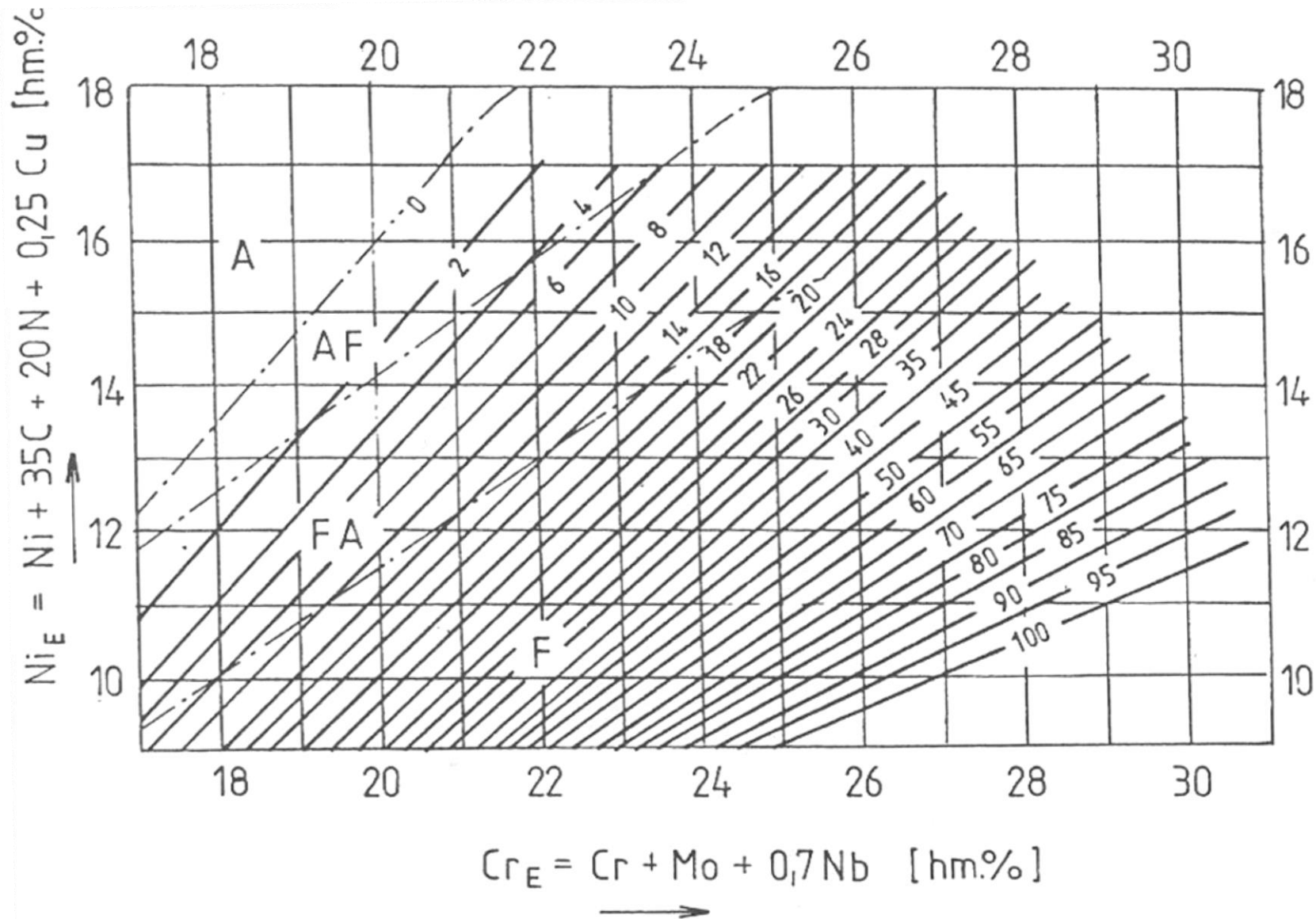
De Long upřesňuje Schaefflerův diagram zařazením dusíku jako silně austenitického prvku do  $Ni_E$ . S dostatečnou přesností určuje mikrostrukturu Cr-Ni ocelí s obsahem feritu 0-15%. Není možné jej využít pro oceli s vysokým obsahem Mn (sestrojen pro oceli s 1% Mn). Udává jak obsah feritu, tak tzv. feritové číslo (FN). Dává se přednost objemovému vyhodnocení, tedy feritovému číslu (FN).





# WRC-1992 diagram

Schaefflerův a De Longův diagram není možné použít k odhadům mikrostruktury Cr-Ni ocelí s vyšším podílem feritu ve struktuře, zejména u duplexních ocelí. Pro tento účel byl zkonstruován nový diagram pro spolehlivý odhad feritu ve struktuře Cr-Ni ocelí v rozsahu 0-100FN. Z ekvivalentů vypadává Mn a Si. U  $Ni_E$  je navíc Cu s koeficientem 0,25.





# Žárovzdorné oceli

- Žárovzdorné oceli odolávají vlivu horkých plynů a spalin, solných a kovových tavenin nad teplotou 550 °C, tedy nad teplotou tvorby oxidu železnatého.
- Jsou legovány Cr, Ni, Si a Al, případně Ce a Y. Chrom, hliník a křemík vytvářejí na povrchu komplexní žárovzdorný oxid velmi dobře ulpívající na povrchu. Vrstva tohoto oxidu zabrání přístupu kyslíku k povrchu oceli a další oxidace – propal se zastaví.
- Svařitelné žárovzdorné oceli jsou uvedeny v normě ČSN EN 10095.
- V dokumentu TNI CEN ISO/TR 15608 nejsou přímo zaříděny. Po doplnění o obsah Si a Al je možné je zařadit do následujících skupin:

**7.1 – Feritické žárovzdorné oceli**

**7.2 – Martenzitické žárovzdorné oceli**

**8.1 a 8.2 – Austenitické žárovzdorné oceli**

**10.1 a 10.2 – Austeniticko-feritické žárovzdorné oceli**

**Děkuji Vám za pozornost.**