



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA, VLASTNOSTI A POUŽITÍ VYSOKOLEGOVANÝCH CHROMOVÝCH OCELÍ

MANUFACTURE, PROPERTIES AND APPLICATION OF HIGH-ALLOYED STEEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ ŠVAJDA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ANTONÍN ZÁDĚRA PH.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Švajda
který/která studuje v **bakalářském studijním programu**
obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba, vlastnosti a použití vysokolegovaných chromových ocelí

v anglickém jazyce:

Manufacture, properties and application of high-alloyed Cr steel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vysokolegované chromové a chromniklové oceli mají mezi konstrukčními ocelmi zcela nezastupitelné místo. Mimo základní vlastnost těchto ocelí, kterou je korozivzdornost, jsou tyto oceli často používány pro žárovzdornost a žárovevnost.

Cíle bakalářské práce:

Provést literární rešerši zaměřenou na výrobu a rozdělení vysokolegovaných chromových ocelí, popis základních vlastností a oblastí použití těchto ocelí. Dílčí část práce zaměřit na základní strukturní složky těchto ocelí a mechanické charakteristiky, kterých je při dané struktuře oceli dosahováno.

Seznam odborné literatury:

1. ŠENBERGER, J., BUŽEK, Z., ZÁDĚRA, A., aj. Metalurgie oceli na odlitky. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2008. 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
2. PTÁČEK, L., aj. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 391 s. ISBN 80-7204-130-4.
3. RÖRING, K. Entwicklungen bei hochkorrosionsbeständigen Stahlgussorten. In: Proceedings of the International steel casting symposium. Linz: Vöest Alpine Stahl Linz, 1992, p. 89-106.
4. TURGDOGAN, E.-T. Fundamentals of Steelmaking. London: The Institute of Materials, 1996. ISBN 1 86125 004 5.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 19.1.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou výroby, vlastnostmi, rozdělením a použitím vysokolegovaných chromových ocelí. Vzhledem k tomu, že mezi důležité vlastnosti těchto ocelí patří korozivzdornost, je část práce věnována problematice koroze a odolnosti vůči ní.

Poslední část se věnuje výrobě tohoto druhu oceli a zařízením pro výrobu těchto ocelí.

ABSTRACT

This thesis deals with the production, properties, diversification and use of high-alloyed chromium steels. Despite the fact that among the important properties of these steels is corrosion resistance, the part of the work is devoted to problems of corrosion and resistance against it.

The last part deals with production of this type of steel and device for production of such steels.

KLÍČOVÉ SLOVA

Vysokolegované chromové oceli, korozivzdorné oceli, žáruvzdorné oceli, koroze.

KEYWORDS

High-alloyed chromium steels, stainless steel, heat-resistant steel, corrosion.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVAJDA, Ondřej. *Výroba, vlastnosti a použití vysokolegovaných chromových ocelí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 47 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

POHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Výroba, vlastnosti a použití vysokolegovaných chromových ocelí** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....

Datum

.....

Jméno a příjmení bakaláře

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Antonínu Záděrovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

ZADÁNÍ

LICENČNÍ SMLOUVA

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH	6
1. ÚVOD	7
2. ROZDĚLENÍ VYSOKOLEGOVANÝCH CHROMOVÝCH OCELÍ	8
3. KOROZE	9
3.1 Druhy korozního napadení	10
4. KOROZIVZDORNÉ OCELI	13
4.1. Feritické oceli	15
4.2. Martenzitické oceli	19
4.3. Austenitické oceli	24
4.4 Austeniticko-feritické oceli	30
5. ŽÁROVZDORNÉ OCELI	33
6. ŽÁROPEVNÉ OCELI	36
7. VÝROBA	40
8. ZÁVĚR	44
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
10. SEZNAM POUŽITÝCH SKRATEK A SYMBOLŮ	47

1. ÚVOD

Základními požadavky u vysokolegovaných chromových ocelí jsou odolnost vůči korozi, žáruvzdornost a žárupevnost. Tyto vlastnosti přímo souvisí s oblastí použití těchto materiálů v mnoho odvětvích lidské činnosti jako například v chemickém, potravinářském, automobilovém průmyslu, kde mají tyto oceli nenahraditelné místo. V neposlední řadě roste význam vysokolegovaných ocelí i ve stavebnictví a bytové architektuře, jakožto vysoce moderního a funkčního prvku.

Nejobsáhlejším legujícím prvkem, jak už napovídá název, je chróm, který společně s dalšími legujícími prvky, např. nikl, mangan dusík a jiné, určují vlastnosti oceli.



Obr. 1 Výrobky z korozivzdorných ocelí Fotografie: Thyssen Krupp Nirosta [1]

2. ROZDĚLENÍ VYSOKOLEGOVANÝCH CHROMOVÝCH OCELÍ

Dle normy ČSN EN 10088 [2] se vysokolegované chromové oceli se dělí podle těchto hledisek:

- **Užitné vlastnosti:**

- | | |
|------------------------------|---|
| Odolnost proti korozi | - oceli s dobrou odolností vůči působení prostředí (např.: atmosféra- vnitřní, vnější, průmyslová, mořská, atd.). |
| Žárovzdornost | - oceli odolné vůči oxidaci a účinkům spalín při teplotách přes 550°C . |
| Žáropevnost | - oceli odolávající deformacím při mechanickém zatížení a teplotách nad 500°C. |

- **Mikrostruktura:**

- | | |
|----------------------------------|---|
| Feritické oceli | - oceli s větším množstvím chromu a nízkým obsahem uhlíku |
| Martenzitické oceli | - klasické martenitické oceli mají vysoký obsah uhlíku, ale jsou vyráběny i oceli s nízkým obsahem uhlíku, jako supermartenzitické a martenziticko-austenitické |
| Austenitické oceli | - základní složení 18% chromu a 8% niklu |
| Duplexní oceli | - vysoký obsah chromu a nižší obsah niklu |
| Precipitačně vytvrditelné | - po rozpouštěcím žhánání a kalení, precipitují z martenzitické struktury intermetalické fáze, karbidy, nitridy, nebo fáze na bázi mědi |

- **Podle hlavních legovacích prvků**

- | | |
|--------------------|--|
| Chrom, nikl | - základní legovací prvky korozivzdorných ocelí |
| Molybden | - zvyšuje odolnost proti důlkové korozi |
| Mangan | - je austenitotvorný, zvyšuje rozpustnost dusíku, používá se jako náhrada niklu |
| Uhlík | - oceli s obsahem uhlíku 0,03% lépe odolávají mezikrystalové korozi, kde se uhlík nespojuje s chromem a nevzniká karbid chromu |
| Dusík | - stabilizuje austenit, zvyšuje pevnost a odolnost vůči důlkové korozi |
| Stabilizace | - přidáním titanu, niobu nebo zirkonu se zamezí precipitaci karbidů chromu |
| Síra | - snižuje vrubovou houževnatost a odolnost proti korozi |

3. KOROZE

Koroze se rozumí samovolné chemické nebo elektrochemické rozrušování kovů nebo slitin. Děje se tak nejčastěji působením kapalných nebo plyných okolních prostředí.

Koroze podléhají všechny materiály jak kovové, tak i nekovové, organické i anorganické, například polymery, sklo keramika atd. [3]



Obr. 2 Rez [4]

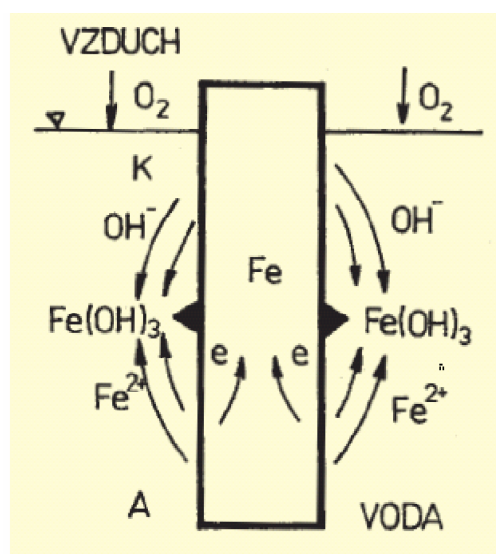
Chemická koroze

Chemická koroze vzniká prostředí plynů a nevodivých kapalin, za normálních i zvýšených teplot a tlaků. Koroze se projevuje vždy vytvořením vrstvy produktu koroze přímo v místě, kde došlo k reakci. [5]

Elektrochemická koroze

Podstatou koroze jsou elektrochemické děje obdobné jako u galvanického článku. Anodová reakce určuje povahu oxidace, dochází ke koroznímu rozpuštění kovu. Katodová reakce má redukční charakter a většinou kov katody neporušuje. Vznikající korozní zplodiny snižují rychlost koroze, vzniká pasivita kovu. [3]

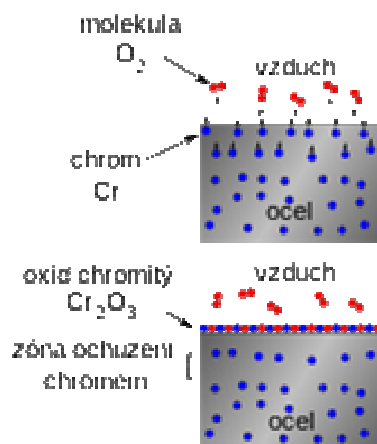
Obr. 3 Schéma elektrochemické koroze v důsledku různého provzdušnění [6]



Pasivita je způsobena oxidačním charakterem korozního prostředí, vznikají oxidy Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 nebo k němu dochází polarizací vnějším zdrojem stejnosměrného proudu. [6]

Pasivita

Schopnost materiálu pasivovat je základní předpoklad jeho korozivzdornosti a dává oceli dobrou odolnost proti všeobecné korozi. Pasivace povrchu je závislá na přítomnosti dostatečného množství oxidačního činidla, na povrchu se vytvoří velmi tenký povlak oxidu. V místě, kde je pasivní vrstva nejednotná, popřípadě poškozená může docházet ke korozi. [7]



Obr. 4 Mechanismus pasivace korozivzdorných ocelí [8]

3.1 Druhy korozního napadení

Různé druhy koroze vznikají za různých podmínek a v různých prostředích a proto je rozdělujeme na několik typů koroze. Znalost těchto druhů koroze je třeba při výběru vhodné korozivzdorné oceli. [3]

• Celková koroze

Vzniká rovnoměrně na celém povrchu oceli. I přes někdy poměrně vysokou rychlost koroze, se nejedná o zvlášť nebezpečný druh, protože se nachází pouze na povrchu a zasažení je většinou předvídatelné. [3]

• Bodová koroze

Podmínkou vzniku bodové koroze je postačující koncentrace agresivních aniontů a oxidačních činidel v prostředí, korozní potenciál musí přesahovat kritickou hodnotu pro začátek bodové koroze. [3]

Při tomto druhu koroze dochází k lokálnímu zasažení povrchu, na kterém vznikají důlky, nezřídka s velmi úzkým hrdlem. [9]

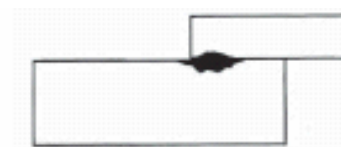


Obr. 5 Bodová koroze [9]

• Štěrbínová koroze

Vzniká v kapilárách a v místech, kde není dostatečný pohyb korozního prostředí. Důležitý faktor představuje z části uzavřený prostor (štěrbina), ve kterém je od zbylého objemu z části odloučeno menší množství elektrolytu. [3]

Na vznik koroze má dále vliv tvar a hloubka štěrbin. Doba vzniku štěrbinové koroze je v praxi docela dlouhá. [3]

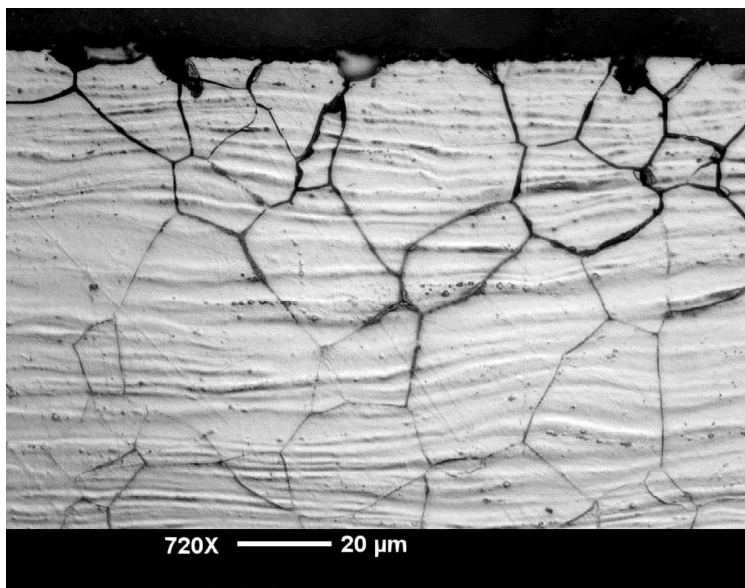


Obr.6 Štěrbínová koroze [9]

• Mezikrystalová koroze

Nepostihuje celý povrch součásti jako ostatní druhy koroze ani její části. Vzniká pouze za určitých podmínek, přednostně podél hranice krystalu. Na tuto korozi jsou náchylné především slitiny, u kterých dochází ke změně struktury na hranici zrn. A to při stárnutí, ohřevu, zpracování nebo například při svařování. Problémy nastávají často u korozivzdorných ocelí, a u slitin hliníku a niklu.

Této korozi se předchází bezchybným tepelným zpracováním, vyhovujícím složením a u korozivzdorných ocelí stabilizací, snížením obsahu uhlíku a dvoufázovou strukturou. [3]



Obr. 7 Mezikrystalová koroze [8]

• Koroze za napětí

Jedná se o velmi rizikový a škodlivý druh koroze, vznikající i v méně agresivních prostředích. Nebezpečná je z důvodu velmi rychlého a nepředvídaného vzniku trhlin, tvořících se vlivem této koroze, a proto je těžké tuto vadu odhalit včas, ještě před poškozením součásti.

Tato koroze může vzniknout u korozivzdorných ocelí při nepatrných koncentracích chloridových iontů, za zvýšené teploty. [3]



Obr. 8 Koroze z napětí [9]

• Vibrační koroze

Vibrační koroze může vznikat při současném mechanickém namáhání a tangenciálním kmitavém pohybu. Velikost vibračního opotřebení je určena vlastnostmi dynamického namáhání povrchu při vysokém tlaku. Vzniklé oxidační částice, sdružující se na dotýkajících se plochách povrchu, mají poměrně malou trajektorii pohybu a nepřetržitý kontakt s plochami. [3]

Na rozdíl od atmosférické koroze, se zvyšující se relativní vlhkostí se vznik vibrační koroze zmenšuje, protože vlhkost mění součinitel tření mezi plochami. [3]

• Vodíková křehkost

Přítomnost vodíku v kovové mřížce může mít za následek velmi velké poškození, které je identifikovatelné vločkovitostí a křehnutím. Dále při zvýšených teplotách k vodíkové korozi popřípadě oduhlíčením.

Vodíková koroze vzniká reakcí s některým prvkem (například uhlíkem) za středně vysokých teplot. Pokud prostupuje atomový vodík kovem, můžou vznikat místní deformace. [3]

- **Kavitace**

Důvod vzniku kavitace je vznikání a zanikání bublin plynu v spojitě proudící kapalině. Tyto bubliny vznikají v oblastech, kde klesá tlak níže, než je tenze par kapaliny, to je například u zúženého profilu a zanikají v oblastech s vyrovnaným tlakem.

Při kavitaci vznikají v kapalině rázy, jejichž opakování vede k únavě materiálu, a jsou určujícím faktorem kavitace. Kavitace se řadí mezi korozní a mechanické poškození. [3]

- **Extrakční koroze**

Při extrakční korozi korodují z větší části pouze jedna chemická složka. Strukturní mřížka se mění v důsledku změny koncentrace korodující složky v místě napadení.

Tato koroze může být celková, důlková a na hranici zrn. [3]

4. KOROZIVZDORNÉ OCELI

Jako první na odolnost slitin chromu a železa v lučavce královské upozornil francouzský vědec Pieere Berthier v roce 1821. Později v roce 1838 na odolnost těchto slitin vůči korozi R. Mallet, a později v roce 1857 Fremy, oba tyto vědci se vzájemně shodli na tom, že vysoký obsah uhlíku má v prostředí koncentrovaných ocelí opačný vliv. [10]

K největšímu rozvoji a výzkumu korozivzdorných ocelí došlo začátkem 20. století.

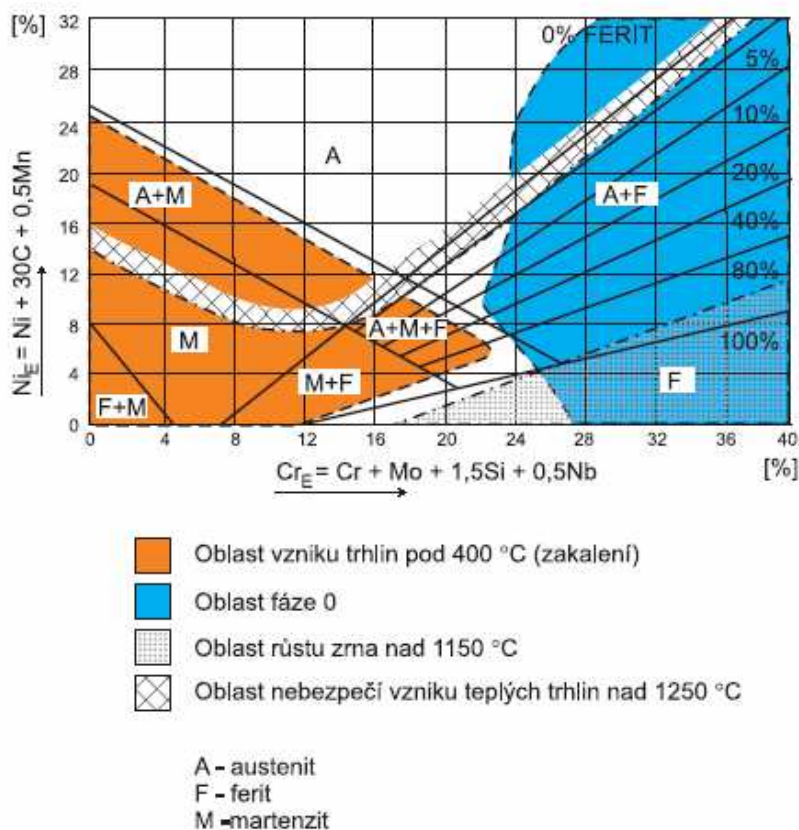
Za zmínku stojí práce Philipa Monnartza z roku 1911, ve které popisuje vlastnosti a použití slitin železa a chromu. Dalším z řady vědců zabývajících se problematikou korozivzdorných materiálů byl Harry Brearley, který vynalezl v roce 1912 a následně zavedl do výroby martenzitickou ocel, která byla jako první ze všech korozivzdorných ocelí využita v praxi a to na výrobu přístrojů. [10]



Obr. 9 Harry Brearley [11]

Schäfflerův diagram

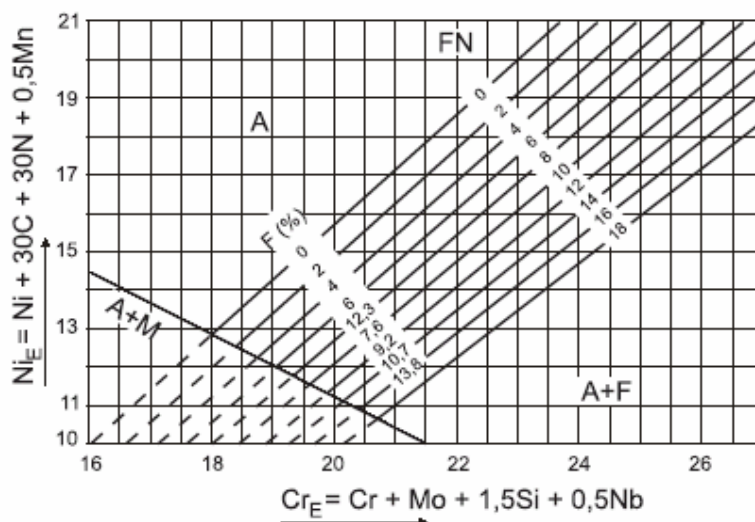
Schäfflerův diagram popisuje působení chemického složení na strukturu oceli. Struktura těchto ocelí je závislá na obsahu prvků, které zužují, respektive rozšiřují oblast austenitu. Pro skupinu prvků uzavírající oblast gama se zavádí pojem ekvivalent chromu a jde o feritotvorné prvky mezi ně patří: Si, Mo, V, Ti, Al, a Nb. Prvky rozšiřující ekvivalent niklu jsou austenitotvorné prvky a sem patří: Ni, Mn, N, Cu. [12]



Obr. (10) Schäfflerův diagram [13]

De Longův diagram

De Longův diagram rozšiřuje Schafflerův diagram, je v něm zařazen i dusík jako významný austenitotvorný prvek. Je možno ho použít pro austenitické chromniklové oceli legované dusíkem. Naopak není vhodný pro použití u oceli s vysokým procentem manganu. [13]



Obr. 11 De Longův diagram [13]

Rovnovážný diagram Fe - Cr

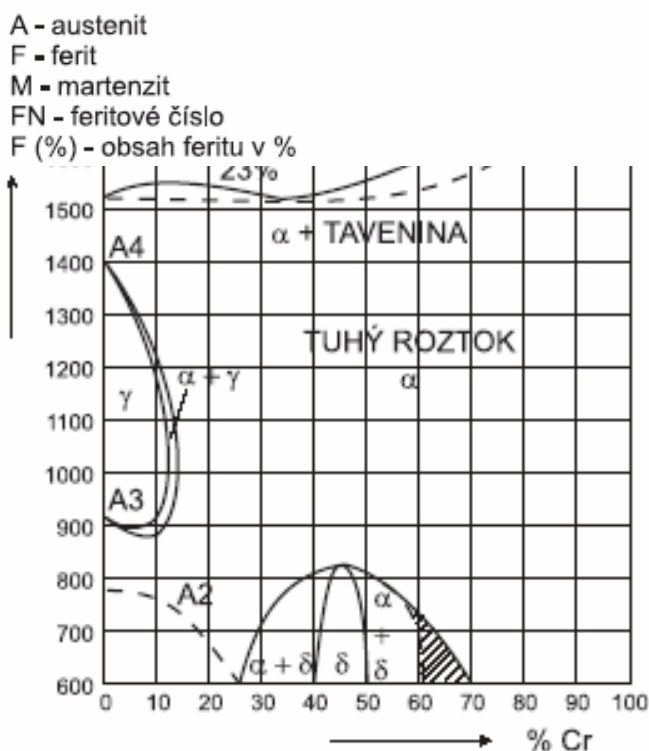
Struktura vysokolegovaných korozivzdorných ocelí je závislá na jejich chemickém složení. Pro přiblížení struktury je možné použít diagram Fe-Cr. [14]

Při obsahu chrómu kolem 12% se uzavírá oblast γ a tím při chladnutí nedochází k rekrystalizaci a struktura je potom feritická. Pokud je obsah uhlíku vyšší, než je jeho rozpustnost ve feritu, vznikají při chladnutí karbidy.

U ocelí s obsahem chrómu nižším jak 12% se obvykle transformuje austenit na martenzit, tyto oceli jsou samokalitelné. Část feritu může během chladnutí překrystalizovat v přechodovém obsahu chrómu na austenit, čímž vzniká feriticko-martenzitická struktura.

Austenitotvorné prvky rozšiřují oblast γ a snižují teplotu martenzitické přeměny. Obr. (12) Rovnovážný diagram železo–chrom [13]

Při obsahu chrómu kolem 40 až 50 % je v soustavě oblast existence fáze Sigma, která je nežádoucí. [14]

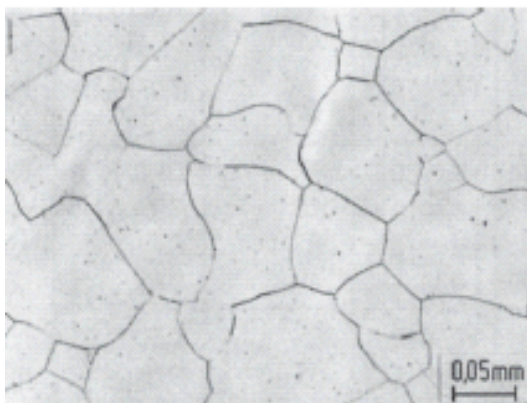


4.1 Feritické oceli

U feritických chromových ocelí je hlavním legujícím prvkem chrom, jehož obsah se pohybuje v rozmezí od 11,5 % do 30 %. Obsah uhlíku je u těchto ocelí maximálně 0,08% C. [5]

Při tuhnutí se z taveniny vylučuje chromový ferit, ve kterém je rozpustnost uhlíku nižší než 0,01 %. Po překročení této koncentrace je uhlík vylučován ve formě karbidů, které mohou způsobovat křehnutí oceli. Oceli, které mají vyšší obsah uhlíku, jsou při normální teplotě křehké. Tyto oceli se potom používají jako oceli žárovzdrnné [5,16]

U feritických ocelí se nevyskytuje, při ohřevu, přeměna z feritické na austenitickou a proto nevzniká při ochlazování martenzit. Z tohoto důvodu jsou tyto oceli nekalitelné. [16]



Obr. 13 Materiál 1.4511 [15]

Feritické korozivzdorné oceli se dělí těchto skupin:

Skupina I: Oceli s obsahem 11,5% až 13,5% chromu a obsahem uhlíku pod 0,08%. Přísadou feritotvorných prvků, například: hliníku, titanu nebo niobu, je v těchto ocelích potlačena martenzitická přeměna. Tyto oceli mají dobrou korozní odolnost v atmosféře, ve vodě a vodní páře, v ředěné kyselině dusičné a slabých organických kyselinách. Naopak nejsou vhodné pro silně znečištěné vody a atmosféry. [7]

Skupina II: Oceli s 16 % až 18 % chromu a obsahem uhlíku pod 0,1%. Jsou legované molybdenem a stabilizují se titanem nebo niobem. Stabilizací titanem se dosahuje vyšší odolnosti vůči mezikrystalové korozi. Při vyšších obsahích uhlíku dochází po ohřevu na teplotu nad 900 °C k částečné austenitické přeměně. Po tepelném zpracování je struktura oceli smíšená. Tyto oceli potom nazýváme poloferitické.

Oceli této skupiny dobře odolávají atmosférické korozi, říční a mořské vodě, kyselině dusičné, organickým kyselinám a roztokům solí. Dále jsou odolné znečištěným průmyslovým vodám a průmyslovým atmosférám. [7]

Skupina III: Oceli s obsahem chromu nad 20 % (nezřídka až 30%), podle použití se obsah uhlíku pohybuje v rozmezí 0,002 % až 0,2 %. Vlivem vysokého obsahu chromu mají tyto oceli ve srovnání s I. a II. skupinou vyšší korozní odolnost. Při kritických teplotách 600 až 800 °C jsou náchylné na křehnutí. [7]

Superferity Jedná se o ocel s čistě feritickou strukturou a velmi nízkým obsahem uhlíku a dusíku, jejichž součet koncentrací je mezi 0,015 až 0,025 % a bývají často stabilizovány titanem nebo niobem. Základním legujícím prvkem je chrom, který se pohybuje v rozmezí 18 – 29 %. Oceli se vyznačují dobrou svařitelností, tvárností, tažností a vrubovou houževnatostí. Dobře odolávají všem druhům koroze. Jejich nevýhodou je, že při dlouhodobému působení teplot mezi 315 – 595 °C může docházet ke křehnutí nebo tvorbě fáze sigma. [7]

Chemické složení feritických ocelí

Tabulka 1- Chemické složení (rozběr tavby) ^{a)} feritických ocelí odolných korozi [2]

Označení oceli		hmotnostní %											
Značka	Císelné označení	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S	N max.	Cr	Mo	Nb	Ni	Ti	Ostatní
X2CrNi12	1.4003	0,03	1,0	1,5	0,04	≤0,015 ^{b)}	0,03	10,5 až 12,5	-	-	0,3 až 1,0	-	-
X2CrTi12	1.4512	0,03	1,0	1,0	0,04	≤0,015	-	10,5 až 12,5	-	-	-	[6x(C+N)] až 0,65	-
X6CrNiTi12	1.4516	0,08	0,7	1,5	0,04	≤0,015	-	10,5 až 12,5	-	-	0,5 až 1,5	0,05 až 0,35	-
X6Cr13	1.4000	0,08	1,0	1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	-	12,0 až 14,0	-	-	-	-	-
X6CrAl13	1.4002	0,08	1,0	1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	-	12,0 až 14,0	-	-	-	-	Al: 0,1 až 0,3
X2CrTi17	1.4520	0,025	0,5	0,5	0,04	≤0,015	0,015	16,0 až 18,0	-	-	-	0,3 až 0,6	-
X6Cr17	1.4016	0,08	1,0	1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	-	16,0 až 18,0	-	-	-	-	-
X3CrTi17	1.4510	0,05	1,0	1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	-	16,0 až 18,0	-	-	-	[4x(C+N)+0,15] až 0,8 ^{c)}	-
X1CrNb15	1.4595	0,02	1,0	1,0	0,025	≤0,015	0,02	14,0 až 16,0	-	0,2 až 0,6	-	-	-
X3CrNb17	1.4511	0,05	1,0	1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	-	16,0 až 18,0	-	12xC až 1,0	-	-	-
X6CrMo17-1	1.4113	0,08	1,0	1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	-	16,0 až 18,0	0,9 až 1,4	-	-	-	-
X6CrMoS17	1.4105	0,08	1,5	1,5	0,04	0,15 až 0,35	-	16,0 až 18,0	0,2 až 0,6	-	-	-	-
X2CrMoTi17-1	1.4513	0,025	1,0	1,0	0,04	≤0,015	0,02	16,0 až 18,0	0,8 až 1,4	-	-	0,3 až 0,6	-
X2CrMoTi18-2	1.4521	0,025	1,0	1,0	0,04	≤0,015	0,03	17,0 až 20,0	1,8 až 2,5	-	-	[4x(C+N)+0,15] až 0,8 ^{c)}	-
X2CrMoTiS18-2	1.4523	0,03	1,0	0,5	0,04	0,15 až 0,35	-	17,5 až 19,0	2,0 až 2,5	-	-	0,3 až 0,8	(C+N) ≤ 0,04
X6CrNi17-1	1.4017	0,08	1,0	1,0	0,04	≤0,015	-	16,0 až 18,0	-	-	1,2 až 1,6	-	-
X5CrNiMoTi15-2	1.4589	0,08	1,0	1,0	0,04	≤0,015	-	13,5 až 15,5	0,2 až 1,2	-	1,0 až 2,5	0,3 až 0,5	-
X6CrMoNb17-1	1.4526	0,08	1,0	1,0	0,04	≤0,015	0,04	16,0 až 18,0	0,8 až 1,4	[7x(C+N)+0,1] až 1	-	-	-
X2CrNbZr17	1.4590	0,03	1,0	1,0	0,04	≤0,015	-	16,0 až 17,5	-	0,35 až 0,55	-	-	Zr ≥ 7x(C+N)+0,15
X2CrTiNb18	1.4509	0,04	1,0	1,0	0,04	≤0,015	-	17,5 až 18,5	-	[3xC+0,3] až 1	-	0,1 až 0,6	-
X2CrMoTi29-4	1.4592	0,05	1,0	1,0	0,03	≤0,010	0,045	28,0 až 30,0	3,5 až 4,5	-	-	[4x(C+N)+0,15] až 0,8 ^{c)}	-

^{a)} Prvky neuvedené v této tabulce se nesmí bez souhlasu odběratele úmyslně přidávat do oceli, vyjímky tvoří prvky, které jsou nezbytné k dohotovení tavby. Je třeba provést všechna přiměřená opatření, aby se zabránilo zanesení takových prvků do oceli ze šrotu a dalších surovin používaných během výroby, které by mohli ovlivnit mechanické vlastnosti a použití oceli.

^{b)} Pro tyče, dráty, profily, lesklé výrobky a odpovídající polotovary platí maximální obsah síry 0,03%. Jednotlivé rozsahy obsahu síry poskytují možnost zlepšení jednotlivých vlastností. Pro všechny výrobky určené k obrábění je doporučen a povolen obsah síry 0,015% až 0,03%. Pro svařitelnost je doporučený a dovolený řízený obsah síry 0,008% až 0,03%. Pro lešitelnost je doporučený řízený obsah síry maximálně 0,015%.

^{c)} Stabilizaci oceli je možné provést titanem nebo niobem nebo zirkonem. V souladu s atomovou hmotností těchto prvků a obsahem uhlíku a dusíku, bude přepočet následující: Nb (hmotnostní %) $\equiv$ Zr (hmotnostní %) $\equiv$ 7/4 Ti (hmotnostní %).

Fyzikální vlastnosti feritických ocelí

Teplotná roztažnost oceli klesá s rostoucím obsahem chrómu. To platí za předpokladu, že v oceli nevzniká austenit, který má větší tepelnou roztažnost. S rostoucím obsahem chrómu klesá v oceli elektrická vodivost a při nižších teplotách i tepelná vodivost. [3]

Mechanické vlastnosti feritických ocelí

Jedním z hlavních ukazatelů při volbě oceli je mez pevnosti v tahu, která se určuje pomocí tahové zkoušky. Důležité charakteristiky oceli jsou mez pevnosti, mez kluzu, tažnost a kontrakce. Minimální mez pevnosti se u feritických ocelí pohybuje v rozmezí 380 – 650 MPa při smluvní mezi kluzu 210 – 280 MPa. Minimální tažnost feritických ocelí se pohybuje v intervalu 18 – 25 %.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti několika korozivzdorných feritických ocelí v žíhaném stavu [3]

Druh oceli		Tvar výrobku ¹⁾ Tloušťka nebo průměr mm max.		Mez 0,2% ²⁾ podélně napříč		Pevnost v tahu N/mm ²	Tažnost ³⁾ % min.	Odolnost proti mezikrystalové korozi	
Zkratka	Materiál			N/mm ² min.				v dodaném stavu	ve svařov. stavu
X2CrNi12	1.4003	SV	6	280	320	450 / 650	20	ne	ne
		TV	12	280	320	450 / 650	20		
		P	25	250	280	450 / 650	18		
		D, T	100	260	-	450 / 600	20		
X2CrTi12	1.4512	SV	6	210	220	380 / 560	25	ne	ne
		T.V.	12	210	220	380 / 560	25		
X6Cr17	1.4016	SV	6	260	280	450 / 600	20	ano	ne
		TV	12	240	260	450 / 600	18		
		P	25	240	260	430 / 630	20		
		D, T	100	240	-	400 / 630	20		
X3CrTi17	1.4510	SV	6	230	240	420 / 600	23	ano	ano
		TV	12	230	240	420 / 600	23		
X3CrNb17		SV	6	230	240	420 / 600	23	ano	ano
X6CrMo17-1	1.4113	SV	6	260	280	450 / 630	18	ano	ne
		TV	12	260	280	450 / 630	18		
		D, T	100	280	-	440 / 660	18		

¹⁾ SV - za studena válcovaný pás; TV - za tepla válcovaný pás; P - plech; T - tyčová ocel; D - drát

²⁾ u válcovaného drátu platí jen hodnoty pevnosti v tahu

³⁾ pro pás v tloušťce < 3 mm A_{80mm}, jinak A₅

Křehnutí a vrubová citlivost

U feritických korozivzdorných ocelí nelze zvýšené pevnosti a tvrdosti dosahovat obvyklým způsobem: přeměnou alfa – gama – martenzit, ale jenom omezeně tepelným zpracováním, což nezřídka vede ke křehnutí a snižování houževnatosti a plastických vlastností. [3]

Mohou nastat tři druhy křehnutí feritických ocelí:

- *Křehnutí za vysokých teplot*: feritické oceli se středním až vysokým obsahem uhlíku a dusíku, které byly zahřáté nad teplotu 1000°C, jsou za normální teploty křehké. [3]
- *Křehnutí tvorbou fáze sigma*: objevuje se ve struktuře při teplotách mezi 600 °C až 800 °C u oceli, která obsahuje 15 % až 30 % chrómu, popřípadě některého dalšího prvku. [3]
- *Křehnutí 475°C*: při teplotách mezi 350 °C až 550 °C se projevuje zvýšenou tvrdostí a pevností při současném znatelném snížení tažnosti a odolnosti vůči rázu [3]

Citlivost na vruby

Pokles nastává u feritických korozivzdorných ocelí mezi 20 °C až 200 °C. Vrubová houževnatost závisí na chemickém složení, čistotě kovu, velikosti zrna a klesá s ostroť vřubu. Proto jsou standardní feritické oceli navzdory dobré tvárnosti a tažnosti vysoce náchylné vůči vřubu. Oceli přetavené ve vakuu, zbavené uhlíku a dusíku mají i při hrubozrnné struktuře oblast přechodu ke křehkému lomu posunutou pod 0 °C. [3]

Oblast použití feritický ocelí

Feritické korozivzdorné oceli našli díky své odolnosti a nízké tepelné roztažnosti uplatnění v mnoha průmyslových oborech:

13% feritické korozivzdorné oceli se používají v chemickém průmyslu například u potrubí čerpadel, sedla ventilů a v zařízeních na zpracování ropy. Dále se využívají v potravinářském průmyslu

17% feritické korozivzdorné oceli se používají v potravinářském průmyslu například při výrobě piva octu a zpracování mléka. Další oblast využití je v automobilovém průmyslu, architektuře, při výrobě kuchyňských a sanitárních potřeb a zařízení.

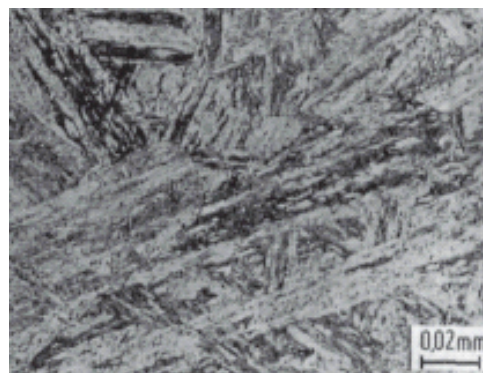
25% feritické korozivzdorné oceli používají se jako žáruvzdorné oceli pro použití za vysokých teplot. [7]



Obr. 14 Výfukové zařízení vyrobeno z feritické korozivzdorné oceli [15]

4.2 Martenzitické oceli

Martenzitické korozivzdorné oceli obsahují do 18% Cr a maximálně 1,5% C. Po zakalení tyto oceli vykazují martenzitickou strukturu. Nejlepší korozní odolnosti se dosahuje, tak jako u ostatních druhů korozivzdorných ocelí, dokonalým zpracováním povrchu, nejlépe leštěním. [7]



Obr.15 Materiál 1.4313 [15]

Obsah C v hmotnostních %	Tvrдость HRC
0,10	40
0,15	46
0,20	50
0,25	53
0,30	56
0,40	58
0,50	60

Tab. 3 Vliv obsahu uhlíku na tvrdost martenzitických korozivzdorných ocelí [15]

Martenzitické oceli bez přísady Ni obsahují 0,15 % až 0,45% C a 13 % Cr. K pasivaci povrchu dochází u těchto ocelí v podmínkách jako je atmosféra, voda, pára popřípadě v jiných mírně agresivních prostředích například ve slabých organických kyselinách při teplotě do 450°C [7]

Martenzitické oceli s niklem obsahují přibližně 17% chrómu 2% niklu a 0,2% uhlíku. Dobře odolávají mořské vodě, oxidujícím a anorganickým kyselinám. [7]

Supermartenzitické oceli reprezentují nový směr vývoje martenzitických korozivzdorných ocelí. Oceli se vyznačují nízkým obsahem uhlíku pod 0,15%, 11-13% Cr, 3,5 – 6,6 % Ni, 2-2,25% Mo a nízkým obsahem síry. Struktura je tvořena jemnozrnným popuštěným martenzitem bez feritu delta. Supermartenzitické oceli se vyznačují vysokou pevností, lepší houževnatostí a mezi další výhody patří jejich dobrá svařitelnost. Používají se například pro výrobu vodních turbín a pro potrubí k těžbě a dopravě vysoce agresivních plynů. [7]

Martenzitické oceli precipitačně vytvrditelné

Zvýšení mechanických vlastností se u těchto typů ocelí neprovádí kalením, legováním dusíkem ani tvářením. Hotový výrobek se vytvrzuje popouštěním za celkem nízké teploty, čímž nedochází k deformaci a příliš velké oxidaci. [3]

U těchto ocelí dochází během tepelného zpracování nejdříve k martenzitické přeměně a potom k precipitaci martenzitu. [16]

Podle polohy teploty počátku martenzitické přeměny M_s se tyto oceli dělí na :

Oceli s přímou martenzitickou přeměnou , které se kalí z teploty 1050°C, struktura po ochlazení je zcela martenzitická. Vytvrzení mezi 400 až 500°C vyvolává precipitační fázi, čímž se dosahuje pevnosti 1300 až 1500 MPa . Na konci tepelného zpracování se ocel precipitačně zpracuje popouštěním na teplotu M_s asi 200°C.

Oceli s nepřímou martenzitickou přeměnou jsou po rozpouštěcím žíhání úplně, nebo částečně austenitické. Ochlazením na teplotu -80°C se vyvolá martenzitická přeměna. To se provádí ihned po rozpouštěcím žíhání nebo po destabilizačním žíhání při 700 až 800°C . Požadovaných vlastností se dosahuje strukturním vytvrzením při 400 až 500°C . [3]

Díky své odolnosti vůči vzniku provozních a brusných trhlin jsou tyto oceli velmi vhodné pro exponované součásti v leteckém, kosmickém, lodním a zbrojním průmyslu. Martenziticko austenitické oceli nacházejí uplatnění v oblastech se zvýšenými požadavky na žárupevnost, dobrou plasticitu a zároveň dobrou korozní odolnost, jako je například u lopatek parních turbín, lodních hřídelů nebo listy rotoru u vrtulníku [3]

Chemické složení martenzitických a precipitačně vytvrditelných ocelí

Tabulka 4. Chemické složení (rozbor tavby)^{a)} martenzitických a precipitačně vytvrditelných ocelí [2]

Označení oceli		hmotnostní %										
Značka	Číselné označení	C ^{c)}	Si max.	Mn	P max.	S	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ostatní
X12Cr13	1.4006	0,08 až 0,15	1,0	≤1,5	0,04	≤0,015 ^{b)}	11,5 až 13,5	-	-	-	≤0,75	
X12CrS13	1.4005	0,08 až 0,15	1,0	≤1,5	0,04	0,15 až 0,35	12,0 až 14,0	-	≤0,60	-	-	
X15Cr13	1.4024	0,12 až 0,17	1,0	≤1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	12,0 až 14,0	-	-	-	-	
X20Cr13	1.4021	0,16 až 0,25	1,0	≤1,5	0,04	≤0,015 ^{b)}	12,0 až 14,0	-	-	-	-	
X30Cr13	1.4028	0,26 až 0,35	1,0	≤1,5	0,04	≤0,015 ^{b)}	12,0 až 14,0	-	-	-	-	
X29CrS13	1.4029	0,25 až 0,32	1,0	≤1,5	0,04	0,15 až 0,25	12,0 až 13,5	-	≤0,60	-	-	
X39Cr13	1.4031	0,36 až 0,42	1,0	≤1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	12,5 až 14,5	-	-	-	-	
X46Cr13	1.4034	0,43 až 0,5	1,0	≤1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	12,5 až 14,5	-	-	-	-	
X46CrS13	1.4035	0,43 až 0,5	1,0	≤2,0	0,04	0,15 až 0,35	12,5 až 14,0	-	-	-	-	
X38CrMo14	1.4419	0,36 až 0,42	1,0	≤1,0	0,04	≤0,015	13,0 až 14,5	-	0,6 až 1,0	-	-	
X55CrMo14	1.4110	0,48 až 0,6	1,0	≤1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	13,0 až 15,0	-	0,5 až 0,8	-	-	V: ≤0,15
X50CrMoV15	1.4116	0,45 až 0,55	1,0	≤1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	14,0 až 15,0	-	0,5 až 0,8	-	-	V: 0,1 až 0,2
X70CrMo15	1.4109	0,6 až 0,75	0,7	≤1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	14,0 až 16,0	-	0,4 až 0,8	-	-	-
X40CrMoVN16-2	1.4123	0,35 až 0,5	1,0	≤1,0	0,04	≤0,015	14,0 až 16,0	-	1,0 až 2,5	-	≤0,5	V ≤1,5 N: 0,1 až 0,3
X14CrMoS17	1.4104	0,1 až 0,17	1,0	≤1,5	0,04	0,15 až 0,35	15,5 až 17,5	-	0,2 až 0,6	-	-	-
X39CrMo17-1	1.4122	0,33 až 0,45	1,0	≤1,5	0,04	≤0,015 ^{b)}	15,5 až 17,5	-	0,8 až 1,3	-	≤1,0	-
X105CrMo17	1.4125	0,95 až 1,2	1,0	≤1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	16,0 až 18,0	-	0,4 až 0,8	-	-	-
X90CrMoV18	1.4112	0,85 až 0,95	1,0	≤1,0	0,04	≤0,015 ^{b)}	17,0 až 19,0	-	0,9 až 1,3	-	-	V: 0,07 až 0,12
X17CrNi16-2	1.4057	0,12 až 0,22	1,0	≤1,5	0,04	≤0,015 ^{b)}	15,0 až 17,0	-	-	-	1,5 až 2,5	-
X1CrNiMoCu12-5-2	1.4422	≤0,02	0,5	≤2,0	0,04	≤0,003	11,0 až 13,0	0,2 až 0,8	1,3 až 1,8	-	4,0 až 5,0	N: ≤0,02
X1CrNiMoCu12-7-3	1.4423	≤0,02	0,5	≤2,0	0,04	≤0,003	11,0 až 13,0	0,2 až 0,8	2,3 až 2,8	-	6,0 až 7,0	N: ≤0,02
X2CrNiMoV13-5-2	1.4415	≤0,03	0,5	≤0,5	0,04	≤0,015	11,5 až 13,5	-	1,5 až 2,5	-	4,5 až 6,5	Ti: N: ≤0,01 V: 0,1 až 0,5
X3CrNiMo13-4	1.4313	≤0,05	0,7	≤1,5	0,04	≤0,015	12,0 až 14,0	-	0,3 až 0,7	-	3,5 až 4,5	N: ≥0,02
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	≤0,06	0,7	≤1,5	0,04	≤0,015 ^{b)}	15,0 až 17,0	-	0,8 až 1,5	-	4,0 až 6,0	N: ≥0,02
X1CrNiMoALTi12-9-2	1.4530	≤0,015	0,1	≤0,1	0,01	≤0,005	11,5 až 12,5	-	1,85 až 2,15	-	8,5 až 9,5	Al: 0,6 a 0,8 Ti: 0,28 až 0,37 N: ≤0,01

Tabulka 4. Chemické složení (rozbor tavby)^{a)} martenzitických a precipitačně vytvrditelných ocelí [2] -pokračování

Označení oceli		hmotnostní %										
Značka	Číselné označení	C ^{c)}	Si max.	Mn	P max.	S	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ostatní
X1CrNiMoAlTi12-10-2	1.4596	≤0,015	0,10	≤0,1	0,01	≤0,005	11,5 až 12,5	-	1,85 až 2,15	-	9,2 až 10,2	Al: 0,8 až 1,1 Ti: 0,28 až 0,4 N: ≤0,02
X5CrNiCuNb16-4	1.4542	≤0,07	0,70	≤1,5	0,04	≤0,015 ^{b)}	15,0 až 18,0	3,0 až 5,0	≤0,6	5xC až 0,45	3,0 až 5,0	-
X7CrNiAl17-7	1.4568	≤0,09	0,70	≤1,0	0,04	≤0,015	16,0 až 18,0	-	-	-	6,5 až 7,8 ^{d)}	Al: 0,7 až 1,5
X5CrNiMoCuNb14-5	1.4594	≤0,07	0,70	≤1,0	0,04	≤0,015	13,0 až 15,0	1,2 až 2,0	1,2 až 2,0	0,15 až 0,6	5,0 až 6,0	-
X5NiCrTiMoVB25-15-2	1.4606	≤0,08	1,0	1,0 až 2,0	0,025	≤0,015	13,0 až 16,0	-	1,0 až 1,5	-	24,0 až 27,0	B: 0,001 až 0,01 Al: ≤0,35 Ti: 1,9 až 2,3 V: 0,1 až 0,5
^{a)} Prvky neuvedené v této tabulce se nesmí bez souhlasu odběratele úmyslně přidávat do oceli, výjimku tvoří prvky, které jsou nezbytné k dohotovení tavby. Je třeba provést všechna přiměřená opatření, aby se zabránilo zanesení takových prvků do oceli ze šrotu a dalších surovin používaných během výroby které by mohli ovlivnit mechanické vlastnosti a použití oceli. ^{b)} Pro tyče, dráty, profily, lesklé výrobky a odpovídající polotovary platí maximální obsah síry 0,03%. Jednotlivé rozsahy obsahu síry poskytují možnost zlepšení jednotlivých vlastností. Pro všechny výrobky určené k obrábění je doporučen a povolen obsah síry 0,015% až 0,03%. Pro svařitelnost je doporučený a dovolený řízený obsah síry 0,008% až 0,03%. Pro lešitelnost je doporučený řízený obsah síry maximálně 0,015%. ^{c)} Při objednání je možné dohodnout užší rozmezí obsahu uhlíku. ^{d)} Pro zlepšení tvárnosti za studena je možno zvýšit horní hranici na 8,3%												

Mechanické vlastnosti martenzitických ocelí

Martenzitické oceli se používají převážně kalené a popuštěné při 200°C až 300°C ke snížení pnutí. To vede k malému snížení mechanických vlastností a tvrdosti, v porovnání k stavu po zakalení. Martenzitické oceli jsou houževnaté i při nízkých teplotách. [3]

Fyzikální vlastnosti

Vlivem přítomnosti chrómu je v oceli velmi snížena tepelná vodivost. Elektrický odpor je vyšší, než je tomu u legovaných uhlíkových ocelí. Martenzitické korozivzdorné oceli jsou vždy feromagnetické, tepelné zpracování na to nemá žádný vliv. [3]

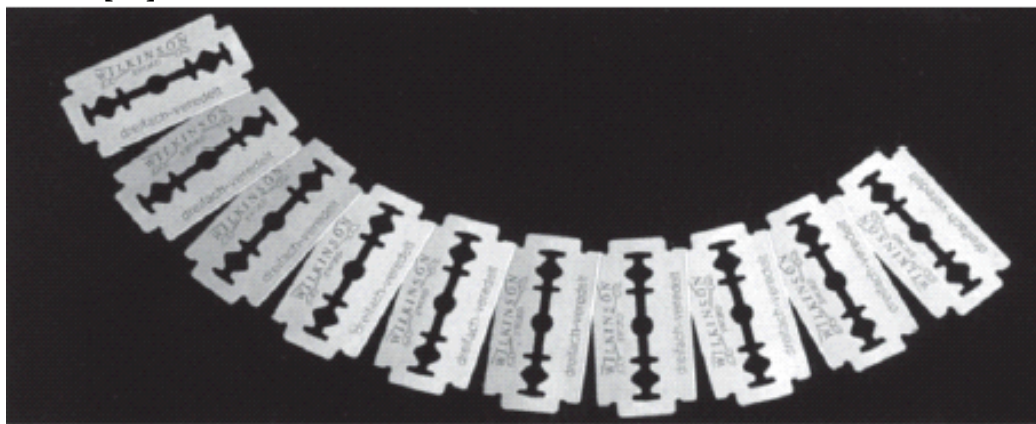
Křehnutí

Křehnutí po ohřevu na 350-550°C velmi ovlivňuje odolnost oceli vůči korozi a snižuje také tažnost, proto je třeba se těmto teplotám při popouštění po kalení vyhnout. U ocelí s obsahem uhlíku nad 0,2% se projevuje popouštěcí křehkost a proto se musí zvolit vhodný způsob ochlazování. [3]

Křehnutí způsobené vodíkem se může projevit po tepelném zpracování v některých atmosférách, po moření nebo pokovování. Toto lze odstranit pomocí žíhání na teplotu mezi 200 - 350°C [3]

Oblast použití martenzitických ocelí

Vlivem nízkého obsahu chrómu a niklu, jsou martenzitické korozivzdorné oceli vůči ostatním typům levnější. Vysoký obsah uhlíku má vliv na špatnou tvářitelnost a svařitelnost. Oproti tomu mají tyto oceli vysokou tvrdost a pevnost, která lze zvýšit tepelným zpracováním. [17]



Obr 16 Holící žiletky vyroben z martenzitické korozivzdorné oceli [15]

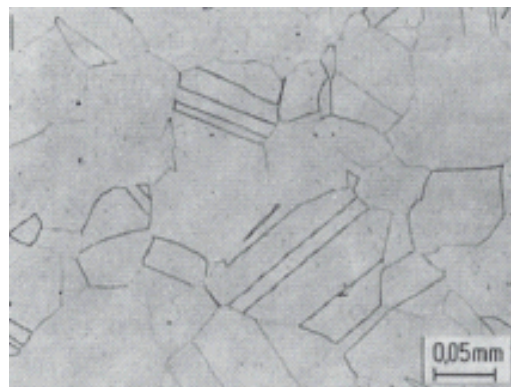
Z těchto důvodů se některé jakosti těchto ocelí používají v málo agresivních prostředích a u součástí u nichž je důležitá zvýšená odolnost proti opotřebení, například u součástí čerpadel nebo v nožích na výrobu čepelí. [17]

Moderní martenzitické oceli typu COR jsou, jak již bylo výše uvedeno, používány pro výrobu vodních turbín a pro potrubí k těžbě a dopravě vysoce agresivních plynů.

4.3 Austenitické oceli

Základním typem je chrom-niklová austenitická ocel s obsahem 18 % Cr a 9 % Ni a další legující prvky, jejichž obsah musí být kvůli zachování austenitické struktury vyvážený. U těchto ocelí nedochází k fázovým přeměnám a nejsou magnetické. [16]

Pevnost těchto ocelí lze zvyšovat jenom legováním. Při tepelném zpracování, popřípadě svařování a následném pozvolném ochlazení, se vylučují v oblasti kritických teplot 600 až 800 °C na hranici zrn karbidy. To může mít za následek vznik mezi krystalové koroze.[16]



Obr. 17 Materiál 1.4301 [15]

Austenitické oceli precipitačně vytvrditelné

Jedná se o austenitické oceli, které obsahují precipitačně vytvrzující prvky. Jejich koncentrace je volena tak, aby se při teplotě kolem 700°C vylučovaly z austenitu karbidy, nitridy popřípadě intermetalické sloučeniny a tím se podstatně zvýšila pevnost. [16]

Oceli s nepřímou austenitickou přeměnou se používají na výrobu např. plochých pružin. [3]

Austenitické precipitačně vytvrditelné oceli jsou použitelné na součásti pracující za vysokých teplot, jako jsou tryskové motory a turbínová kola, ale i v petrochemickém průmyslu za nízkých teplot. [3]

Vliv jednotlivých legujících prvků na vlastnosti austenitických ocelí [5]

Chrom je základním prvkem, který zajišťuje u oceli schopnost pasivace a odolnosti vůči oxidaci. S rostoucím obsahem chromu se zvyšuje odolnost vůči korozi v oxidačním prostředí.

Nikl za normálních teplot stabilizuje austenit a zvyšuje odolnost vůči korozi v prostředí redukčních kyselin.

Mangan je austenitotvorný prvek, je možné ho nahradit niklem. Koncentrace nad 3% snižuje náchylnost na praskání svarů. Mangan zhoršuje obrobitelnost

Dusík je austenitotvorný prvek stejně jako uhlík. Zvyšuje pevnost a vzájemně s Mo odolnost vůči bodové a šterbinové korozi.

Křemík, je prvek, jehož přítomnost má za následek praskání svarů. Při koncentraci 3 až 4 % odstraňuje náchylnost k mezikrystalové korozi

Molybden je to feritotvorný prvek, pro zachování austenitické struktury je nutno po přidání molybdenu zvýšit koncentraci jiného austenitotvorného prvku například niklu. Molybden zvyšuje žárovečnost, podporuje vylučování intermediální fáze a dále zvyšuje korozní odolnost ve všech prostředích kromě vroucích roztoků kyseliny dusičné.

Měď je slabě austenitotvorná, zlepšuje obrobitelnost a odolnost proti korozi v kyselině sírové. Mědí se legují vytvrditelné oceli.

Titan a niob díky vysoké afinitě k uhlíku tvoří c oceli karbidy, čímž klesá množství uhlíku v matrici – stabilizace oceli. Přidávají se do vytvrditelných ocelí.

Hliník zvyšuje žáruvzdornost. Společně s niklem tvoří intermediální fázi, používané k precipitačnímu vytvrzení

Síra, selen, fosfor a olovo zvyšují obrobitelnost, ale na druhou stranu snižují odolnost vůči korozi

Bór v malém množství 20 až 40 ppm zlepšuje tvařitelnost a zvyšuje žárovevnost. Naopak při větším množství tvařitelnost klesá a ocel je náchylnější k praskavosti svarů.

Chemické složení austenitických ocelí

Tabulka 5. Chemické složení (rozbor tavby)^{a)} austenitických ocelí odolných korozi [2]

Označení oceli		hmotnostní %											
Značka	Císelné označení	C	Si	Mn	P max.	S	N	Cr	Cu ^{a)}	Mo	Nb	Ni	Ostatní
X5CrNi17-7	1.4319	≤0,07	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,03	≤0,11	16až18	-	-	-	6,0až8,0	-
X10CrNi18-8	1.4310	0,03až0,15	≤2,0	≤2,0	0,045	≤0,015	≤0,11	16až19	-	≤0,80	-	6,0až9,5	-
X9CrNi18-9	1.4325	0,03až0,15	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,03	≤0,11	17až19	-	-	-	8,0až10,0	-
X2CrNi18-7	1.4318	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	0,1až0,2	16,5až18,5	-	-	-	6,0až8,0	-
X2CrNi18-9	1.4307	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	17,5až19,5	-	-	-	8,0až10,5	-
X2CrNi19-11	1.4306	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	18až20	-	-	-	10,0až12,0 ^{a)}	-
X5CrNiNi19-9	1.4315	≤0,06	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	0,12až0,22	18až20	-	-	-	8,0až11,0	-
X2CrNiNi18-10	1.4311	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	0,12až0,22	17,5až19,5	-	-	-	8,5až11,5	-
X5CrNi18-10	1.4301	≤0,07	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	17,5až19,5	-	-	-	8,0až10,5	-
X8CrNiS18-9 ^{a)}	1.4305 ^{a)}	≤0,1	≤1,0	≤2,0	0,045	0,15až0,35	≤0,11	17až19	≤1,0	-	-	8,0až10,0	-
X6CrNiTi18-10	1.4541	≤0,08	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	-	17až19	-	-	-	9,0až12,0 ^{a)}	Ti:5xCaž0,7
X6CrNiNb18-10	1.4550	≤0,08	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	-	17až19	-	-	10xCaž1,0	9,0až12,0 ^{a)}	-
X4CrNi18-12	1.4303	≤0,06	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	17až19	-	-	-	11,0až13,0	-
X1CrNi25-21	1.4335	≤0,2	≤0,25	≤2,0	0,025	≤0,010	≤0,11	24až26	-	≤0,20	-	20,0až22,0	-
X2CrNiMo14-12-2	1.4404	≤0,3	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	16,5až18,5	-	2,0až2,5	-	10,0až13,0 ^{a)}	-
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	≤0,3	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	0,12až0,22	16,5až18,5	-	2,0až2,5	-	10,0až12,5 ^{a)}	-
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	≤0,07	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	16,5až18,5	-	2,0až2,5	-	10,0až13,0	-
X1CrNiMoN25-22-2	1.4466	≤0,02	≤0,7	≤2,0	0,025	≤0,010	0,1až0,16	24až26	-	2,0až2,5	-	21,0až23,0	-
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	≤0,08	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	-	16,5až18,5	-	2,0až2,5	-	10,0až13,5 ^{a)}	Ti:5xCaž0,7
X6CrNiMoNb17-12-2	1.4580	≤0,08	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	-	16,5až18,5	-	2,0až2,5	10xCaž1,0	10,5až13,5	-
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	16,5až18,5	-	2,5až3,0	-	10,0až13,0	-
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	0,12až0,22	16,5až18,5	-	2,5až3,0	-	11,0až14,0 ^{a)}	-
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	≤0,05	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	16,5až18,5	-	2,5až3,0	-	10,0až13,0 ^{a)}	-
X3CrNiMo18-12-3	1.4449	≤0,035	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	≤0,08	17až18,2	≤1,0	2,25až2,75	-	11,5až12,5	-
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	17až19	-	2,5až3,0	-	12,5až15,0	-
X2CrNiMoN18-12-4	1.4434	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	0,1až0,2	16,5až19,5	-	3,0až4,0	-	10,5až14,0 ^{a)}	-
X2CrNiMo18-15-4	1.4438	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{a)}	≤0,11	17,5až19,5	-	3,0až4,0	-	13,0až16,0 ^{a)}	-
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	0,12až0,22	16,5až18,5	-	4,0až5,0	-	12,5až14,5	-
X1CrNiMoCuN24-22-8 ^{a)}	1.4652 ^{a)}	≤0,02	≤0,5	2až4	0,03	≤0,005	0,45až0,55	23až25	0,3až0,6	7,0až8,0	-	21,0až23,0	-
X1CrNiSi18-15-4	1.4361	≤0,015	3,7až4,5	≤2,0	0,025	≤0,01	≤0,11	16,5až18,5	-	≤0,20	-	14,0až16,0	-
X11CrNiMnN19-8-6	1.4369	0,07až0,15	0,5až1,0	5,0až7,5	0,03	0,2až0,3	0,2až0,3	17,5až19,5	-	-	-	6,5až8,5	-
X12CrMnNi17-7-5	1.4372	≤0,15	≤1,0	5,5až7,5	0,045	0,05až0,25	0,05až0,25	16až18	-	-	-	3,5až5,5	-

Tabulka 5. Chemické složení (rozbor tavby)^{a)} austenitických ocelí odolných korozi [2] –pokračování

Označení oceli		hmotnostní %											
Značka	Ciselné označení	C	Si	Mn	P max.	S	N	Cr	Cu ^{g)}	Mo	Nb	Ni	Ostatní
X2CrMnNiN17-7-5	1.4371	≤0,03	≤1,0	6,0až8,0	0,045	≤0,015	0,15až0,20	16,0až17,0	-	-	-	3,5až5,5	-
X12CrMnNiN18-9-5	1.4373	≤0,15	≤1,0	7,5až10,5	0,045	≤0,015	0,05až0,25	17,0až19,0	-	-	-	4,0až6,0	-
X8CrMnNiN18-9-5	1.4374	0,05až0,1	0,3až0,6	9,0až10,0	0,035	≤0,03	0,25až0,32	17,5až18,5	≤0,4	≤0,5	-	5,0až6,0	-
X8CrMNCuNB17-8-3	1.4597	≤0,1	≤2,0	6,5až8,5	0,04	≤0,03	0,15až0,3	16,0až18,0	2,0až3,5	≤1,0	-	≤2,0	B:0,0005 až 0,005
X3CrNiCu19-9-2	1.4560	≤0,035	≤1,0	1,5až2,0	0,045	≤0,015	≤0,11	18,0až19,0	1,5až2,0	-	-	8,0až9,0	-
X2CrNiCu19-10	1.4650	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	≤0,08	18,5až20,0	≤1,0	-	-	9,0až10,0	-
X6CrNiCuS18-9-2 ^{d)}	1.4570 ^{d)}	≤0,08	≤1,0	≤2,0	0,045	0,15až0,35	≤0,11	17,0až19,0	1,4až1,8	≤0,6	-	8,0až10,0	-
X3CrNiCu18-9-4	1.4567	≤0,04	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015 ^{e)}	≤0,11	17,0až19,0	3,0až4,0	-	-	8,5až10,5	-
X3CrNiCuMo17-11-3-2	1.4578	≤0,04	≤1,0	≤2,0	0,045	≤0,015	≤0,11	16,5až17,5	3,0až3,5	2,0až2,5	-	10,0až11,0	-
X1NiCrMoCu31-27-4	1.4563	≤0,02	≤0,7	≤2,0	0,03	≤0,01	≤0,11	26,0až28,0	0,7až1,5	3,0až4,0	-	30,0až32,0	-
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	≤0,02	≤0,7	≤2,0	0,03	≤0,01	≤0,15	19,0až21,0	1,2až2,0	4,0až5,0	-	24,0až26,0	-
X1CrNiMoCuN25-25-5	1.4537	≤0,02	≤0,7	≤2,0	0,03	≤0,01	0,17až0,25	24,0až26,0	1,0až2,0	4,7až5,7	-	24,0až27,0	-
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	≤0,02	≤0,7	≤1,0	0,03	≤0,01	0,18až0,25	19,5až20,5	0,3až1,0	6,0až7,0	-	17,5až18,5	-
X2CrNiMoCuS17-10-2 ^{d)}	1.4598 ^{d)}	≤0,03	≤1,0	≤2,0	0,045	0,1až0,25	≤0,11	16,5až18,5	1,3až1,8	2,0až2,5	-	10,0až13,0	-
X1CrNiMoCuNW24-22-6	1.4659	≤0,02	≤0,7	2,0až4,0	0,03	≤0,01	0,35až0,5	23,0až25,0	1,0až2,0	5,5až6,5	-	21,0až23,0	W:1,5 až 2,50
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	≤0,5	≤0,5	≤1,0	0,03	≤0,01	0,15až0,25	19,0až21,0	0,3až1,5	6,0až7,0	-	24,0až26,0	-
X2NiCrAlTi32-20	1.4558	≤0,03	≤0,70	≤1,0	0,02	≤0,015	-	20,0až23,0	-	-	-	32,0až35,0	Al:0,15 až 0,45 Ti[8x(C+N)] až 0,6
X2CrNiMnMoN25-18-6-5	1.4565	≤0,03	≤1,0	5,0až7,0	0,03	≤0,015	0,3až0,6	24,0až26,0	-	4,0až5,0	≤0,15	16,0až19,0	-

^{a)} Prvky neuvedené v této tabulce se nesmí bez souhlasu odběratele úmyslně přidávat do ocelí, výjimku tvoří prvky, které jsou nezbytné k dohotovení tavby. Je třeba provést všechna opatření, aby se zabránilo zanesení takových prvků do oceli ze šrou a dalších surovin používaných během výroby, který by mohli ovlivnit mech. vlastnosti a použití oceli.

^{b)} Pro tyče, dráty, profily, lesklé výrobky a odpovídající polotovary platí max. obsah síry 0,03%. Jedotlivé rozsahy obsahu síry poskytují možnost zelpšení jednotlivých vlastností. Pro všechny výrobky určené k obrábění je doporučen a povolen obsah síry 0,015%až0,3%. Pro svařitelnost je doporučený a povolený obsah síry 0,008%až0,3%.

Pro lešitelnost je doporučený řízený obsah síry maximálně 0,015%.

^{c)} Pro austenitické oceli určené k pēchování a protlačování za studena je povolen obsah Cu maximálně 1,0%.

^{d)} Pokud je třeba pro zvláštní účely, například pro válcování bezešvých trub za tepla minimalizovat obsah delta feritu nebo dosáhnout nízké magnetické permeability, je možné zvýšit maximální obsah Ni o: 0,5% (m/m): 1.4571 ; 1,00% (m/m): 1.4308, 1.4408, 1.4429, 1.4434, 1.4436, 1.4438, 1.4541, 1.4550; 1,50% (m/m): 1.4404

^{e)} Součástky zhotovené z automatových austenitických ocelí s volnou sírou se nemusí podrobit evropské směrnici 94/27 týkající se předmětů v kontaktu s lidskou kůží.

^{f)} Patentovaná značka oceli.

Vlastnosti austenitických ocelí

Austenitické korozivzdorné oceli je možné, díky nízkému tepelnému koeficientu, dobře svařovat všemi tavnými a odporovými způsoby, protože vzniká jenom úzká tepelně ovlivněná zóna podél sváru. Ale je nutno brát zřetel na vyšší tepelnou roztažnost. [17]

Tyto oceli patří k nejlépe tvářitelným korozivzdorným ocelím. Při tváření dochází k mechanickému zpevňování. [17]

Mechanické vlastnosti

Austenitické oceli se používají ve stavu po rozpouštěcím žíhání na teplotu 900°C až 1100°C a následném rychlém ochlazení. Po tepelném zpracování jsou austenitické oceli měkké a houževnaté. Mez kluzu se pohybuje v rozmezí 175 až 250 MPa a tažnosti 35 až 45 % viz tab. 6. Při tváření se tyto oceli rychle zpevňují.

Tab. 6 Mechanické vlastnosti normovaných korozivzdorných austenitických a austeniticko – feritických ocelí [15]

Druh oceli		Tvar výrobku ¹⁾ Tloušťka nebo průměr mm max.		Mez 0,2 % ²⁾		Pevnost v tahu N/mm ²	Tažnost ³⁾ % min (napříč)	Odolnost proti mezikrystalové korozi v	
Zkratka	Materiál			podélně	napříč			dodaném stavu	ve svařov. stavu
X5CrNi18-10	1.4301	SV	6	230	260	540/750	45	ano	ne
		TV	12	210	250	520/720			
		P	75	210	250	520/720			
		D, T	160	190	-	500/700			
X4CrNi18-12	1.4303	SV	6	220	250	500/650	45	ano	ne
		D, T	160	190	-	500/750			
X8CrNiS18-9	1.4305	SV	75	190	230	500/700	35	ne	ne
		D, T	160	190	-	500/750			
X2CrNi19-11 X2CrNi18-9	1.4306 1.4307	SV	6	220	250	520/670	45	ano	ano
		TV	12	200	240	520/670			
		P	75	200	240	500/650			
		D, T	160	180	-	460/680			
X2CrNiN18-10	1.4311	SV	6	290	320	550/750	40	ano	ano
		TV	12	270	310	550/750			
		P	75	270	310	550/750			
		D, T	160	270	-	550/760			
X6CrNiTi18-10	1.4541	SV	6	220	250	520/720	40	ano	ano
		TV	12	200	240	520/720			
		P	75	200	240	500/700			
		D, T	160	190	-	500/700			
X6CrNiNb 18-10	1.4550	SV	6	220	250	520/720	40	ano	ano
		TV	12	200	240	520/720			
		P	75	200	240	500/700			
		D, T	160	205	-	510/740			
X10CrNi18-8	1.4310	SV	6	250	280	600/950	40	ne	ne
		D, T	40	195	-	500/750			

Tab. 6 Mechanické vlastnosti normovaných korozivzdorných austenitických a austeniticko – feritických ocelí [15]- pokračování

Druh oceli		Tvar výrobku ¹⁾ Tloušťka nebo průměr mm max.		Mez 0,2 % ²⁾		Pevnost v tahu N/mm ²	Tažnost ³⁾ % min (napříč)	Odolnost proti mezikrystalové korozi	
Zkratka	Materiál			podélně	napříč			v dodaném stavu	ve svařov. stavu
X2CrNiN18-7	1.4318	SV	6	350	380	650/850	35	ano	ano
		TV	12	330	370	650/850	35		
		P	75	330	370	630/830	45		
X5CrNiMo 17-12-2	1.4401	SV	6	240	270	530/680	40	ano	ne
		TV	12	220	260	530/680	45		
		P	75	220	260	520/670	40		
		D, T	160	200	-	500/700	40		
X2CrNiMo 17-12-2	1.4404	SV	6	240	270	530/680	40	ano	ano
		TV	12	220	260	530/680	40		
		P	75	220	260	520/670	45		
		D, T	160	200	-	500/700	40		
X6CrNiMoTi 17-12-2	1.4571	SV	6	240	270	540/690	40	ano	ano
		TV	12	220	260	540/690	40		
		P	75	220	260	520/670	40		
		D, T	160	200	-	500/700	40		
X1CrNiMoTi 18-13-2	1.4561	PV	20		190	490/690	40	ano	ano
X1CrNiMoN 25-25-2	1.4465	PV	30		260	540/740	35	ano	ano
		T	160						
		D	20						
X2CrNiMo 17-13-3	1.4429	SV	6	300	330	580/780	35	ano	ano
		TV	12	280	320	580/780	35		
		P	75	280	320	580/780	40		
		D, T	160	280	-	580/800	40		
X2CrNiMo 18-14-3	1.4435	SV	6	240	270	550/700	40	ano	ano
		TV	12	220	260	550/700	40		
		P	75	220	260	520/670	45		
		D, T	160	200	-	500/700	40		
X3CrNiMo 17-13-3	1.4436	SV	6	240	270	550/700	40	ano	ne
		PV	12	220	260	550/700	40		
		P	75	220	260	530/730	40		
		D, T	160	200	-	500/700	40		
X2CrNiMnMo NbN25-18-5-4	1.4565	PV	30		420	800/950	35	ano	ano
		T	160						
		D	20						
X2CrNiMoN 17-13-5	1.4439	SV	6	290	320	580/780	35	ano	ano
		TV	12	270	310	580/780	35		
		P	75	270	310	580/780	40		
		D, T	160	280	-	580/800	35		
X1NiCrMoCu N25-20-5	1.4539	SV	6	240	270	530/730	35	ano	ano
		TV	12	220	260	530/730	40		
		P	75	220	260	520/720	40		
		D, T	160	230	-	530/730	40		
X1NiCrMoCu N25-20-7	1.4529	P	75	300	340	650/850	40	ano	ano
		D, T	160	300	-	650/850	40		
X2CrNiMo N22-5-3	1.4462	SV	6		480	660/950	20	ano	ano
		TV	12		480	660/950	25		
		P	75		480	640/840	25		
		D, T	160	450		650/880	25		

¹⁾ SC - za studena válcovaný plech; TV - za tepla válcovaný plech; P - plech; PV - plochý výrobek; D - drát; T - tyčová ocel
²⁾ u válcovaného drátu platí jen hodnoty pevnosti v tahu
³⁾ pro pás v tloušťce < 3 mm A_{80mm}, jinak A₃

Strukturní změny

Struktura austenitických korozivzdorných ocelí není při některých chemických složeních vždy stabilní. Kromě precipitačních pochodů z přesyceného tuhého roztoku uhlíku, nebo dusíku, dochází ke dvěma způsobům přeměny austenitu na martenzit. A to poklesem teploty pod teplotu počátku martenzitické přeměny a deformací za studena. Určujícím faktorem změn je obsah niklu, manganu, chromu, uhlíku a dusíku. [3]

Použití

Austenitické oceli patří mezi nejpoužívanější korozivzdorné oceli, díky velmi vysoké odolnosti vůči korozi a jejím vlastnostem. Používají po provedení rozpouštěcího žíhání při teplotě 1000 až 1150 °C. [15]

Austenitické korozivzdorné oceli se našly své nenahraditelné uplatnění u součástí vyráběných z části nebo zcela pomocí hlubokého tažení, například při výrobě kuchyňských dřezů a nádobí, sudů na pivo a nebo cisteren na převoz mléka. [17]

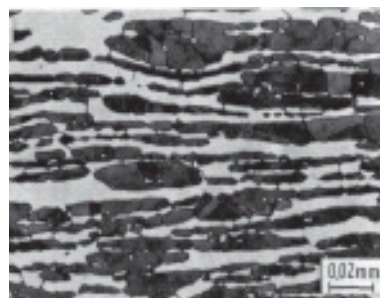


Obr. 18 Austenitická korozivzdorná ocel [18]

4.4 Austeniticko-feritické oceli

Jedná se o nový perspektivní materiál. Tyto oceli mají dvoufázovou strukturu složenou z austenitu a feritu. Obsah feritu se pohybuje v rozmezí 40 až 60 %, často se nazývají také oceli duplexní. U těchto ocelí je omezen obsah křemíku do 1 %, obsah fosforu do 0,035 % a obsah síry do 0,015 %. Obsah chromu je 21 až 28 % a obsah niklu 3,5 až 8 %. [5]

Duplexní oceli mají vyšší mez kluzu než austenitické, jsou dobře svařitelné a vyznačují se také dobrou obrobiteľností a tváriteľnosť. [5]



Obr. 19 Materiál 1.4462 [15]

Snahou vývoje korozivzdorných ocelí je zvýšit korozní odolnost v prostředí s obsahem chloridů a pro prostředí mořské vody.

Hlavní směry vývoje:

- Vysoká koncentrace prvků, které zvyšují odolnost vůči bodové korozi. Ta je dána hodnotou $PRE > 40$

$$PRE = \% Cr + 3,3 + Mo + 16 \text{ až } 30 \% N \quad (1)$$

- Obsah uhlíku menší než 0,03% (popřípadě 0,02%) u austenitických a duplexních ocelí obsah síry pod 0,003 %
- U ocelí tvářených legovat dusíkem až na hodnotu 0,45 % a na 0,025% o ocelí pro výrobu odlitků, pro zvýšení korozivzdornosti.
- Pomocí pochodů sekundární metalurgie dosahovat vysokých čistot ocelí [5]

Chemické složení austeniticko-feritické oceli

Tabulka 7. Chemické složení (rozbor tavby)^{a)} austeniticko-feritických ocelí odolných korozi [2]

Označení oceli		hmotnostní %										
Značka	Číselné označení	C max.	Si	Mn	P max.	S max.	N	Cr	Cu	Mo	Ni	W
X2CrNiN23-4 ^{*)}	1.4362 ^{*)}	0,03	≤1,0	≤2,0	0,035	0,015	0,05až0,2	22až24	0,1až0,6	0,1až0,6	3,5až5,5	-
X2CrNiCuN23-4	1.4644	0,03	≤1,0	≤2,0	0,035	0,015	0,05až0,2	22až24	1,0až3,0	0,1až0,6	3,5až5,5	-
X3CrNiMoN27-5-2	1.4460	0,05	≤1,0	≤2,0	0,035	0,015 ^{b)}	0,05až0,2	25až28	-	1,3až2,0	4,5až6,5	-
X2CrNiMoN29-7-2 ^{*)}	1.4477 ^{*)}	0,03	≤0,5	0,8až1,5	0,03	0,015	0,3až0,4	28až30	≤0,8	1,5až0,6	5,8až7,5	-
X2CrNiMoN22-5-3 ^{c)}	1.4462 ^{c)}	0,03	≤1,0	≤2,0	0,035	0,015	0,1až0,22	21až23	-	2,5až3,5	4,5až6,5	-
X2CrNiMoCuN25-6-3	1.4507	0,03	≤0,7	≤2,0	0,035	0,015	0,2až0,3	24až26	1,0až2,5	3,0až4,0	6,0až8,0	-
X2CrNiMoN25-7-2 ^{*)}	1.4410 ^{*)}	0,03	≤1,0	≤2,0	0,035	0,015	0,24až0,35	24až26	-	3,0až4,5	6,0až8,0	-
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	0,03	≤1,0	≤1,0	0,035	0,015	0,2až0,3	24až26	0,5až1,0	3,0až4,0	6,0až8,0	0,5až1,0
X2CrNiMoSi18-5-3	1.4424	0,03	1,4až2	1,2až2,0	0,035	0,015	0,05až0,1	18až19	-	2,5až3,0	4,5až5,2	-

^{a)} Prvky neuvedené v této tabulce se nesmí bez souhlasu oběratele umýšleně přidávat do oceli, výjimku tvoří prvky, které jsou nezbytné k dohotovení tavby. Je třeba provést všechna přiměřená opatření, aby se zabránilo zanesení tokových prvků do oceli ze šrotu a dalších surovin používaných během výroby, které by mohli ovlivnit mechanické vlastnosti oceli.

^{b)} Pro tyče, dráty, profily, lesklé výrobky a odpovídající polotovary platí maximální obsah síry 0,03%. Jednotlivé rozsahy obsahu síry poskytují možnost zlepšení jednotlivých vlastností. Pro všechny výrobky určené k obrábění je doporučen a dovolen obsah síry 0,015% až 0,03%. Pro svařitelnost je doporučený a dovolený řízený obsah síry 0,008% až 0,03%. Pro lešitelnost je doporučený řízený obsah síry maximálně 0,015%.

^{c)} Na základě dohody, tato značka může být dodávána s ekvivalentem odolnosti dĺvkové koroze (PRE = Cr + 3,3Mo + 16N) větším než 34.

^{*)} Patentovaná ocel.

Vlastnosti

Duplexní oceli mají velmi vysokou podolnost vůči korozi, především proti koroznímu praskání. Oproti běžným korozivzdorným ocelím vykazují duplexní vyšší pevnost v tahu než je tomu u čistě austenitických ocelí.

Při vysokém obsahu feritu zůstává tažnost dobrá po rozpouštěcím žíhání, ale naopak klesá vrubová houževnatost.

Při žíhání duplexních ocelí je možné sledovat dvě oblasti, při kterých probíhá vytvrzení

- v rozmezí teplot 700 až 1000 °C vyvolané vylučováním fáze sigma, zároveň lze pozorovat vysokou křehkost a proto je třeba se těmito teplotám vyhnout.

- v rozmezí teplot 350 až 550 °C vyvolané stárnutím při 475 °C, to je důležité pro zachování dobré tažnosti a houževnatosti, ale jenom při krátkých časových výdržích. [3]

Austeniticko-feritické oceli jsou vhodné k odlévání, protože nevznikají při tuhnutí trhliny. To dává předpoklady pro odlévání i tvarově složitých dílců s tenkou stěnou. U těchto ocelí dochází při odlévání ke zvýšené tvorbě oxidických plen, které zhoršují povrchovou jakost i zabíhavost oceli, což je důvod, proč se výroba odlitků z duplexních ocelí dosud příliš nerozšířila. Díky dobré svařitelnosti se dají tyto odlitky dobře opravovat navařováním. [3]

Použití

Velmi důležité zastoupení mají austeniticko-feritické oceli, díky své zvýšené pevnosti, v automobilovém průmyslu, kde je kladen velký důraz na bezpečnost, při zachování nízké hmotnosti dílu. [19]

Tyto oceli je vhodné pro použití v prostředí anorganických kyselin, kyseliny sírové, kyseliny fosforečné a v organických prostředích, mořské vodě a chloridech, díky své vysoké odolnosti vůči mezi krystalové, bodové, šterbinové korozi a proti koroznímu praskání. [3]

Další uplatnění nacházejí duplexní korozivzdorné oceli také v potravinářském průmyslu ve velmi agresivních prostředích, například při výrobě octu, hořčice a v sýrárnách [17]



Obr. 20 Výměník tepla z austeniticko-feritické oceli [17]

5. ŽÁROVZDORNÉ OCELI

Žárovzdorné oceli mají podobné složení jako korozivzdorné oceli a některé se jako oceli žárovzdorné také používají. A to převážně oceli feritické a austenitické, které mají vysokou odolnost vůči oxidaci a působení horkých plynů a spalin a teplotách vyšších jak 550 °C. Pokud obsah chrómu převyšuje 13% vzniká na povrchu oceli oxid Cr_2O_3 , který obsahuje malé množství železa a niklu, který zvyšuje přilnavost oxidu. Oxidační vrstvy vytvářejí také křemík a hliník. [3,14]

Žárovzdorné oceli dělíme dle struktury na:

Feritické oceli určujícím prvkem je chróm. Tyto oceli se legují hliníkem, to zvyšuje odolnost oceli vůči tvorbě okují. Feritické žárovevné oceli jsou odolné prostředí sirných plynů, ale jsou náchylné na křehnutí. [20]

Austenitické oceli jsou založeny na bázi niklu a obsahují až 24 % Cr. Tyto oceli mají vysokou tepelnou odolnost a houževnatost a malou náchylnost ke křehnutí a tvorbě okují. Jsou velmi dobře tvařitelné za studena a dobře svařitelné. [20]

Austeniticko – feritické oceli jsou rozdílné obsahem chrómu a niklu. Oceli s vysokým obsahem niklu nejsou vhodné pro prostředí s plynnými sloučeninami síry. [5]

Oblast použití žáruvzdorných ocelí

Žáruvzdorné oceli nacházejí uplatnění v různých odvětvích průmyslu, kde se používají v elektrárnách jako součásti kotlů, v petrochemickém průmyslu, v chemickém průmyslu při vysokoteplotním zpracování, v automobilovém průmyslu na ventily, v leteckém průmyslu a všude tam, kde je materiál vystaven zvýšeným teplotám. [20]

Chemické složení žáruvzdorných ocelí

Tabulka 8. Chemické složení (rozbor tavby)^{a)} feritických žáruvzdorných ocelí [2]

Označení oceli		hmotnostní %							
Značka	Číselné označení	C	Si	Mn max	P max.	S max.	Cr	Al	Ostatní
X10CrAlSi7	1.4713	max. 0,12	0,5 až 1,0	1,0	0,04	0,015	6,0 až 8,0	0,5 až 1,0	
X10CrAlSi13	1.4724	max. 0,12	0,7 až 1,4	1,0	0,04	0,015	12,0 až 14,0	0,7 až 1,2	
X10CrAlSi18	1.4742	max. 0,12	0,7 až 1,4	1,0	0,04	0,015	17,0 až 19,0	0,7 až 1,2	
X10CrAlSi25	1.4762	max. 0,12	0,7 až 1,4	1,0	0,04	0,015	23,0 až 26,0	1,2 až 1,7	
X18CrN28	1.4749	0,15 až 0,20	max. 1,0	1,0	0,04	0,015	26,0 až 29,0	-	N: 0,15 až 0,25
X3CrAlTi18-2	1.4736	max. 0,04	max. 1,0	1,0	0,04	0,015	17,0 až 18,0	1,7 až 2,1	Ti: [4(C+N)+0,2] až 0,8

^{a)} Prvky neuvedené v této tabulce se nesmí bez souhlasu odběratele úmyslně přidávat do oceli, výjimku tvoří prvky, které jsou nezbytné k dohotovení tavby. Je třeba provést všechna přiměřená opatření, aby se zabránilo zanesení takových prvků do oceli ze šrotu a dalších surovin používaných během výroby, které by mohli ovlivnit mechanické vlastnosti a použití oceli.

Tabulka 9. Chemické složení (rozbor tavby)^{a)} austenitických a austeniticko-feritických žáruvzdorných ocelí [2]

Označení oceli		hmotnostní %								
Značka	Číselné označení	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Ni	N	Ostatní
austenitické žáruvzdorné oceli										
X8CrNiTi18-10	1.4878	≤0,10	≤1,0	≤2,0	0,045	0,015	17,0až19,0	9,0až12,0	-	Ti: 5xC až 0,8
X15CrNiSi20-12	1.4828	≤0,20	1,5až2,5	≤2,0	0,045	0,015	19,0až21,0	11,0až13,0	≤0,11	-
X9CrNiSiNce21-11-2	1.4835	0,05až0,12	1,4až2,5	≤1,0	0,045	0,015	20,0až22,0	10,0až12,0	0,12až0,2	Ce: 0,03 až 0,08
X12CrNi23-13	1.4833	≤0,15	≤1,0	≤2,0	0,045	0,015	22,0až24,0	12,0až14,0	≤0,11	-
X8CrNi25-21	1.4845	≤0,10	≤1,5	≤2,0	0,045	0,015	24,0až26,0	19,0až22,0	≤0,11	-
X15CrNiSi25-21	1.4841	≤0,20	1,5až2,5	≤2,0	0,045	0,015	24,0až26,0	19,0až22,0	≤0,11	-
X12NiCrSi35-16	1.4864	≤0,15	1,0až2,0	≤2,0	0,045	0,015	15,0až17,0	33,0až37,0	≤0,11	-
X10NiCrAlTi32-21	1.4876	≤0,12	≤1,0	≤2,0	0,03	0,015	19,0až23,0	30,0až34,0	-	Al: 0,15až0,6 Ti: 0,15až0,6
X6NiCrNbCe32-27	1.4877	0,04až0,08	≤0,3	≤1,0	0,02	0,01	26,0až28,0	31,0až33,0	≤0,11	Al ≤0,025 Ce: 0,05až0,1 Nb: 0,6až1,0
X25CrMnNiN25-9-7	1.4872	0,20až0,30	≤1,0	8,0až10	0,045	0,015	24,0až26,0	6,0až8,0	0,2až0,4	-
X6CrNiSiNce19-10	1.4818	0,04až0,08	1,0až2,0	≤1,0	0,045	0,015	18,0až20,0	9,0až11,0	0,12až0,2	Ce: 0,03až0,08
X6NiCrSiNce35-25 ^{*)}	1.4854	0,04až0,08	1,2až2,0	≤2,0	0,04	0,015	24,0až26,0	34,0až36,0	0,12až0,2	Ce: 0,03až0,08
X10NiCrSi35-19	1.4886	≤0,15	1,0až2,0	≤2,0	0,03	0,015	17,0až20,0	33,0až37,0	≤0,11	-
X10NiCrSiNb35-22	1.4887	≤0,15	1,0až2,0	≤2,0	0,03	0,015	20,0až23,0	33,0až37,0	≤0,11	Nb: 1,0až1,5
austeniticko-feritické žáruvzdorné oceli										
X15CrNiSi25-4	1.4821	0,10až0,20	0,8až1,5	≤2,0	0,04	0,015	24,5až26,5	3,5až5,5	≤0,11	-

^{a)} Prvky neuvedené v této tabulce se nesmí bez souhlasu odběratele úmyslně přidávat do oceli, výjimku tvoří prvky, které jsou nezbytné k dohotovení tavby
Je třeba provést všechna přiměřená opatření, aby se zabránilo zanesení takových prvků do oceli ze šrotu a dalších surovin používaných během výroby, které by mohli ovlivnit mechanické vlastnosti a použití oceli
^{*)} patentovaná značka oceli

6. ŽÁRUPEVNÉ OCELI

Stejně jako žáruvzdorné oceli mají i žárovevné s korozivzdornými oceli mnoho společného, jak ve složení, tak i v některých vlastnostech.

Vlastnosti žárovevných ocelí

Žárovevnost materiálů je dána jejich schopností snášet namáhání i za dlouhodobě vysoké teploty, aniž by došlo k deformaci a k tečení. Tuto odolnost hodnotíme podle meze tečení R_T , což je tahové napětí, které za konstantní teploty působí na zkušební těleso. To vede za určitou dobu k jeho poměrnému prodloužení. Dalším indikátorem žárovevnosti, je mez pevnosti při tečení R_{mT} , kdy působením tahového napětí při konstantní teplotě dojde za určitou dobu k lomu zkušebního tělesa. [21]

Tyto oceli obsahují 10 až 12 % chrómu 0,25 % uhlíku a další legující prvky jako jsou Mo, V, W. Tyto prvky jsou karbidotvorné, podporují tvorbu stabilnějších karbidů a intermetalických fází, čímž se zvyšuje žárovevnost. Kalí se z teploty 1050 °C do oleje a popouštějí se při teplotě 700 – 750°C [21]

Použití

Vysokolegované žárovevné oceli se používají v zušlechtěném stavu, do teploty 625°C. Používají se na lopatky a rotory parních turbín, parovody atd.

Chemické složení žárovevných ocelí

Tabulka 10. Chemické složení (rozbor tavby)^{a)} austenitických žárovevných ocelí [2]

Označení oceli		hmotnostní %														
Značka	Číselné označení	C	Si	Mn	P max.	S max.	N	Al	Cr	Mo	Nb	Ni	Ti	V	W	Ostatní
X3CrNiMoBN17-13-3	1.4910	≤0,04	≤0,75	≤2,0	0,035	0,015	0,1 až 0,18	-	16,0 až 18,0	2,0 až 3,0	-	12,0 až 14,0	-	-	-	B: 0,0015 až 0,005
X7CrNiNb18-10	1.4912	0,04 až 0,1	≤1,0	≤2,0	0,045	0,015	-	-	17 až 19,0	-	10xC až 1,2	9,0 až 12,0	-	-	-	-
X6CrNiMoB17-12-2	1.4919	0,04 až 0,08	≤1,0	≤2,0	0,035	0,015	≤0,11	-	16,5 až 18,5	2,0 až 2,5	-	10,0 až 13,0	-	-	-	B: 0,0015 až 0,005
X6CrNiTiB18-10	1.4941	0,04 až 0,08	≤1,0	≤2,0	0,035	0,015	-	-	17,0 až 19,0	-	-	9,0 až 12,0	5xC až 0,08	-	-	B: 0,0015 až 0,005
X6CrNiWNB16-16	1.4945	0,04 až 0,1	0,3 až 0,6	≤1,5	0,035	0,015	0,06 až 0,14	-	15,5 až 17,5	-	10xC až 1,2	15,5 až 17,5	-	-	2,5 až 3,5	-
X6CrNi18-10	1.4948	0,04 až 0,08	≤1,0	≤2,0	0,035	0,015	≤0,11	-	17,0 až 19,0	-	-	8,0 až 11,0	-	-	-	-
X6CrNi23-13	1.4950	0,04 až 0,08	≤0,7	≤2,0	0,035	0,015	≤0,11	-	22,0 až 24,0	-	-	12,0 až 15,0	-	-	-	-
X6CrNi25-20	1.4951	0,04 až 0,08	≤0,7	≤2,0	0,035	0,015	≤0,11	-	24,0 až 26,0	-	-	19,0 až 22,0	-	-	-	-
X5NiCrAlTi31-20	1.4958	0,03 až 0,08	≤0,7	≤1,5	0,015	0,01	≤0,03	0,2 až 0,5	19,0 až 22,0	-	≤0,1	30,0 až 32,5	0,2 až 0,5	-	-	Co: ≤0,5 Cu: ≤0,5
X8NiCrAlTi32-21	1.4959	0,05 až 0,1	≤0,7	≤1,5	0,015	0,01	≤0,03	0,25 až 0,65	19,0 až 22,0	-	-	30,0 až 34,0	0,25 až 0,65	-	-	Co: ≤0,5 Cu: ≤0,5
X8CrNiNb16-13	1.4961	0,04 až 0,1	0,3 až 0,6	≤1,5	0,035	0,015	-	-	15,0 až 17,0	-	10xC až 1,2	12,0 až 14,0	-	-	-	-
X12CrNiWTiB16-13	1.4962	0,07 až 0,15	≤0,5	≤1,5	0,035	0,015	-	-	15,5 až 17,5	-	-	12,5 až 14,5	0,4 až 0,7	-	2,5 až 3,0	B: 0,0015 až 0,006
X12CrCoNi21-20	1.4971	0,08 až 0,16	≤1,0	≤2,0	0,035	0,015	0,1 až 0,2	-	20,0 až 22,5	2,5 až 3,5	0,75 až 1,25	19,0 až 21,0	-	-	2,0 až 3,0	Co: 18,5 až 21,0
X6NiCrTiMoVB25-15-2	1.4980	0,03 až 0,08	≤1,0	1,0 až 2,0	0,025	0,015	-	≤0,35	13,5 až 16,0	1,0 až 1,5	-	24,0 až 27,0	1,9 až 2,3	0,1 až 0,5	-	B: 0,003 až 0,01
X8CrNiMoNb16-16	1.4981	0,04 až 0,1	0,3 až 0,6	≤1,5	0,035	0,015	-	-	15,5 až 17,5	1,6 až 2,0	10xC až 1,2	15,5 až 17,5	-	-	-	-

Tabulka 10. Chemické složení (rozbor tavby)^{a)} austenitických žárovevých ocelí [2] –pokračování

Označení oceli		hmotnostní %														
Značka	Číselné označení	C	Si	Mn	P max.	S max.	N	Al	Cr	Mo	Nb	Ni	Ti	V	W	Ostatní
X10CrNiMoMnNbVB15-10-1	1.4982	0,07 až0,13	≤1,0	5,5 až7,0	0,04	0,03	≤0,11	-	14,0 až16,0	0,8 až1,2	0,75 až1,25	9,0 až11,0	-	0,15 až0,4	-	B:0,003 až0,009
X6CrNiMoTiB17-13	1.4983	0,04 až0,08	≤0,75	≤2,0	0,035	0,015	-	-	16,0 až18,0	2,0 až2,5	-	12,0 až14,0	5xC až0,8	-	-	B:0,0015 až0,006
X7CrNiMoBNb16-16	1.4986	0,04 až0,1	0,3 až0,6	≤1,5	0,045	0,03	-	-	15,5 až17,5	1,6 až2,0	Nb+Ta: 10xC až1,2	15,5 až17,5	-	-	-	B:0,05 až0,1
X8CrNiMoVNb16-13	1.4988	0,04 až0,1	0,3 až0,6	≤1,5	0,035	0,015	0,06 až0,14	-	15,5 až17,5	1,1 až1,5	10xC až1,2	12,5 až14,5	-	0,6 až0,85	-	-
X7CrNiTi18-10	1.4940	0,04 až0,08	≤1,0	≤2,0	0,04	0,015	≤0,11	-	17,0 až19,0	-	-	9,0 až13,0	5x(C+N) až0,8	-	-	-
X6CrNiMo17-13-2	1.4918	0,04 až0,08	≤0,75	≤2,0	0,035	0,015	≤0,11	-	16,0 až18,0	2,0 až2,5	-	12,0 až14,0	-	-	-	-

^{a)} Prvky neuvedené v této tabulce se nesmí bez souhlasu odběratele úmyslně přidávat do oceli, výjimku tvoří prvky, které jsou nezbytné k dohotovené tavbě. Je třeba provést všechna přiměřená opatření, aby se zabránilo zanesení takových prvků do oceli ze šrotu a dalších surovin používaných během výroby, které by mohli ovlivnit mechanické vlastnosti a použití oceli.

Tabulka 11. Chemické složení (rozbor tavby) martenzitických žárovečných ocelí [2]

Označení oceli		hmotnostní %													
Značka	Číselné označení	C	Si	Mn	P max.	S max.	N	Al	Cr	Mo	Nb	Ni	V	W	Ostatní
X10CrMoVNb9-1	1.4903	0,08 až 0,12	≤0,5	0,3 až 0,6	0,025	0,015	0,03 až 0,07	≤0,04	8,0 až 9,5	0,85 až 1,05	0,06 až 0,1	≤0,4	0,18 až 0,25	-	-
X11CrMoWVNb9-1-1	1.4905	0,09 až 0,13	0,1 až 0,5	0,3 až 0,6	0,02	0,01	0,05 až 0,09	≤0,04	8,5 až 9,5	0,9 až 1,1	0,06 až 0,1	0,1 až 0,4	0,18 až 0,25	0,9 až 1,1	B:0,0005 až 0,005
X8CrCoNiMo10-6	1.4911	0,05 až 0,23	0,1 až 0,8	0,3 až 1,3	0,025	0,015	≤0,035	-	9,8 až 11,2	0,5 až 1,0	0,2 až 0,5	0,2 až 1,2	0,1 až 0,4	≤0,7	B:0,005 až 0,015 Co:5,0 až 7,0
X19CrMoNbVB11-1	1.4913	0,17 až 0,23	≤0,5	0,4 až 0,9	0,025	0,015	0,05 až 0,1	≤0,02	10,0 až 11,5	0,5 až 0,8	0,25 až 0,55	0,2 až 0,6	0,1 až 0,3	-	B:≤0,0015
X20CrMoV11-1	1.4922	0,17 až 0,23	≤0,4	0,3 až 1,0	0,025	0,015	-	-	10,0 až 12,5	0,8 až 1,2	-	0,3 až 0,8	0,2 až 0,35	-	-
X22CrMoV12-1	1.4923	0,18 až 0,24	≤0,5	0,4 až 0,9	0,025	0,015	-	-	11,0 až 12,5	0,8 až 1,2	-	0,3 až 0,8	0,25 až 0,35	-	-
X20CrMoWV12-1	1.4935	0,17 až 0,24	0,1 až 0,5	0,3 až 0,8	0,025	0,015	-	-	11,0 až 12,5	0,8 až 1,2	-	0,3 až 0,8	0,2 až 0,35	0,4 až 0,6	-
X12CrNiMoV12-3	1.4938	0,08 až 0,15	≤0,5	0,4 až 0,9	0,025	0,015	0,02 až 0,04	-	11,0 až 12,5	1,5 až 2,0	-	2,0 až 3,0	0,25 až 0,4	-	-

^{a)} Prvky neuvedené v této tabulce se nesmí bez souhlasu odběratele úmyslně přidávat do oceli, výjimku tvoří prvky, které jsou nezbytné k dohotovení tavby. Je třeba provést všechna přiměřená opatření, aby se zabránilo zanesení takových prvků do oceli ze šrotu a dalších surovin používaných během výroby, které by mohli ovlivnit mechanické vlastnosti a použití oceli.

7. VÝROBA

Vysokolegované oceli se ve slévárnách vyrábí nejčastěji v elektrických obloukových pecích (EOP) a v elektrických indukčních pecích (EIP). V případě, že je slévárna vybavena prvky sekundární metalurgie, slouží většinou EOP jenom k tavení kovu, popřípadě k oxidaci. Další fáze: redukce a dohotovení se provádějí v zařízení sekundární metalurgie, které je umístěno mimo tavící agregát. [14]

Většina typů korozivzdorných ocelí ke tvářené má variantu oceli na odlitky. Vlastnosti ocelí na odlitky jsou dány především rychlostí ochlazování a chemickou heterogenitou, která vzniká při tuhnutí a chladnutí oceli. Vlastnosti těchto ocelí jsou od tvářených odlišné i při stejném chemickém složení tavebního vzorku. [14]

Vysokolegované oceli na odlitky mají některé specifické vlastnosti jako je např. korozivzdornost, odolnost vůči opotřebení, žáruvzdornost, žárupevnost, ale i houževnatost za velmi nízkých teplot. Těchto vlastností je dosahováno legováním na vysoké koncentrace především chromem, niklem a manganem. [14]

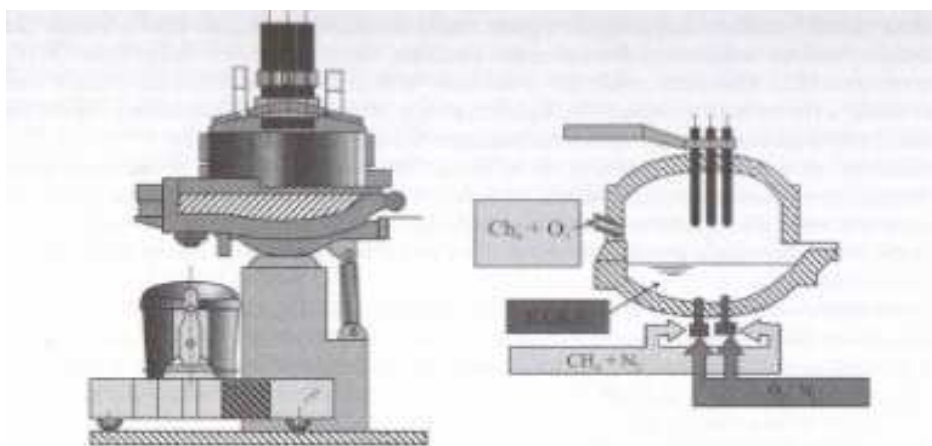
Výroba v zásaditých obloukových pecích (EOP)

Technologie výroby korozivzdorných ocelí vychází ze dvou základních koncepcí. První předpokládá tavení nelegované vsázky, kdy je kov metalurgicky zpracován (odfosfoření, odplynění a odsíření) a pak je na požadovanou koncentraci legující prvků delegován. Jedná se o tzv. matečné tavby.

Druhá technologie vychází z vsázky s obsahem chromu příp., chromu a niklu. Při tomto způsobu tavby se jako vsázka používá vratného legovaného a nelegovaného ocelového odpadu s ohledem na nízký obsah uhlíku a fosforu.

Tavenina nelze s ohledem na chemické složení (obsah Cr) odfosfořit ani odsířit. Během tavby se používá jednostrusková technologie s použitím kyslíku k oxidaci. Oxidace uhlíku umožňuje snížení obsahu vodíku a dusíku. Před zahájením dmýchání se musí dosáhnout teploty, při které je rovnovážná teplota aktivity kyslíku s uhlíkem nižší než s chromem.

[14]



Obr. 21 Schematické znázornění soudobých konstrukcí EOP (pec s půdním odpichem) vlevo, EOP (pec s hořák, zařízením na napěněnou strusku, půdními dmyšny – vpravo [14]

Nízkého obsahu uhlíku se dosáhne oxidací taveniny, při ekonomicky přijatelných ztrátách chromu a v další etapě tavení minimalizovat nauhličení grafitovými elektrodami, ze kterých postupně odpadávají zrnka grafitu na strusku.

Přítomnost fosforu u korozivzdorných ocelí je nežádoucí a odstranění oxidací je nemožné, protože oxid fosforečný má nízkou aktivitu a nepřevede se do strusky. Abychom

minimalizovali přítomnost fosforu v tavbě, je nutné používat pouze vsázku se známým složením. [14]

Po zahřátí na teplotu 1620 °C (obsah C ~0,5 %) se začne s dmýcháním plynného kyslíku. Začátek dmýchání má nastartovat uhlíkový var hned po oxidaci křemíku. Při poklesu uhlíku pod 0,1% množství oxidu uhelnatého začne klesat. Dmýchání se ukončuje, jakmile oxiduje chróm, to signalizuje houstnutí strusky. Obsah uhlíku na konci dmýchání se pohybuje v rozmezí 0,05 až 0,08%. Během oxidace klesá obsah chrómu v oceli o 2 až 3%.

Po ukončení oxidace se struska dezoxiduje dle potřeby přidavkem silikochromu, ferosilicia, silikokalcia a hliníkem, co nejdříve po ukončení dmýchání. [14]

Teplota kovu je na konci oxidace vyšší i než 1800 °C a je třeba lázeň, s ohledem na životnost pece, co nejdříve ochladit. Toho je dosaženo přísadou ferochromu při dolegování. A ostatních feroslitin a kovů, např. niklu nebo feromolybdenu (podle vyráběné jakosti oceli). Po dolegování a dosažení odpichové teploty se provede odpich do pánve společně s konečnou dezoxidací kovu v pánvi pomocí hliníku a vápníku (nejčastěji FeSiCa). [14]

Výroba v indukčních pecích (EIP)

V těchto pecí lze vyrábět i korozivzdorné oceli s obsahem uhlíku pod 0,05% , které by se v elektrických obloukových pecích nedali ekonomicky vyrábět. Ekonomičnost těchto pecí, oproti pecím obloukovým, roste s koncentrací legujících prvků v oceli. Na druhou stranu jsou kladeny vyšší nároky na chemické složení, kusovitost, znečištění nekovovými vměstkami a tím roste cena vsázky. Při zpracování vratného odpadu je výhodnější v indukčních pecích z důvodu nižšího propalu.. [14]

Výhody EIP oproti EOP: [14]

- možnost zpracování menšího množství kovu
- nižší obsah vodíku a dusíku v oceli
- nedochází k nauhličení, možnost vyrábět oceli s obsahem uhlíku pod 0,05%
- rychlá tavba
- tepelná a chemická stejnorodost taveniny v peci – přesné chemické složení
- nižší spotřeba legujících prvků – menší propal
- nižší spotřeba elektrické energie

Při plnění pece se nejprve na dno sype Ni a FeCr , následuje nelegovaný odpad a nakonec vratný materiál. Po roztavení se kontroluje, zda je všechen materiál roztaven a odebrá vzorek pro chemický rozbor, na jehož základě se tavba doleguje, čímž se dosahuje přesného chemického složení. K dezoxidaci se používá hliník popřípadě v kombinaci s silikokalcem. K stabilizaci se používá ferotitan nebo niob a tantal, které se vkládají do kelímku těsně před odpichem. Oceli stabilizované titanem mají nižší houževnatost a jsou hůře odlevatelné. Nižší pokles vykazují oceli stabilizované niobem a tantalem. [14]

Postupy sekundární metalurgie

Postup AOD (Argon-Oxygen Decarburation) – natavení se provede v obloukové peci a potom se kov odlévá do konvertoru. K dolegování je používán ferochrom s vyšším obsahem uhlíku (levnější) a vsázka obsahuje po roztavení cca 0,8 – 1 % uhlíku. V konvertoru se oduhličuje pomocí kyslíku a argonu. Na konci zpracování je dosaženo nízkých koncentrací uhlíku (i pod 0,03%) při nízkém propalu chromu z vsázky a to při použití levnějších vsázkových surovin (FeCr). Teplo na krytí tepelných ztrát a k ohřevu kovu vzniká oxidací uhlíku [3]

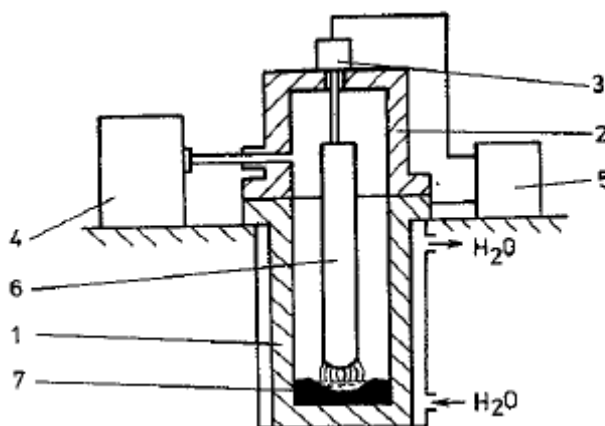
Postup CLU (Creusot-Loire-Uddeholm) – dmýchá se směs kyslíku a vodní páry, která po styku s roztaveným kovem dodá další kyslík pro rafinaci a vodík, který ředí oxid uhelnatý. Postup je principiálně podobný pochodu AOD s tím rozdílem, že místo argonu je dmýchán vodík. Metodou CLU lze rafinovat i litiny s chromem a vysokým obsahem uhlíku. [3]

Pochod VOD (Vakuum Oxygen Decarburisation)- tento pochod spočívá v oduhličování tekuté oceli kyslíkem v pánvi, která je umístěna ve vakuovém kesonu. Dnem pánve se dmýchá argon, který zvyšuje účinnost odplynění a homogenizaci oceli. Kyslík se dmýchá tryskou na hladinu kovu. Tento pochod se používá v kombinaci s EOP. Po oxidaci křemíku na hodnotu cca 0,2, začne oxidovat uhlík. Zavedením tohoto pochodu se dosahuje nižšího propalu chromu a nižšího obsahu uhlíku. [14]

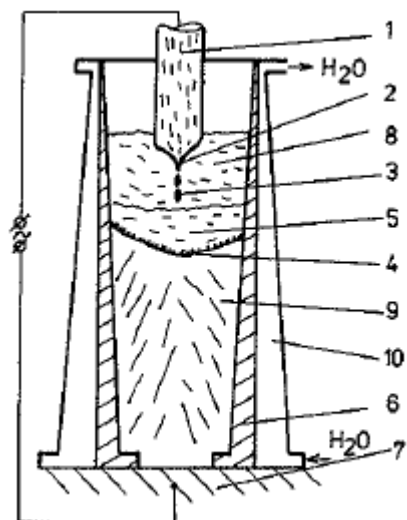
Vakuová indukční pec – skládá se z vakuové komory, která obsahuje indukční pec pro tavení pevné vsázky. Roztavený kov je možné odlévat do kokil nebo skořepinových forem. V současných vakuových pecích lze plnit vsázku, aniž by se přerušilo vakuum, to dovoluje polo plynulý provoz. Vysoké vakuum odstraňuje stopové prvky, škodlivé při tváření korozivzdorných ocelí za tepla. Ve vakuových indukčních pecích se vyrábějí vysokolegované korozivzdorné a žárovečné oceli. [3]

Oblouková vakuová pec VOP – principem metody výroby je působení vakua na plynule se odtavující a postupně krystalizující ocel. Výhodou metody je možnost řídit tuhnutí ocelového ingotu čímž se dosahuje stejnorodé a jemnozrnné struktury, která je vhodnější pro dobrou svařitelnost oceli. Nevýhodou je nemožnost dostatečného působení vakua na roztavený kov, čímž nedochází k dostatečné segregaci. [3]

Obr.22 Schéma vakuové pece s odtavnou elektrodou: 1- měděný krystalizátor, 2- pec, 3-nosič elektrody, 4-vakuová pumpa, 5- přívod proudu a regulace, 6 – odtavná elektroda, 7- ingot. [3]



Elektrostruskové přetavování (ESP) spočívá v odtavování elektrody, ponořené ve struskové lázni. Průchodem elektrického proudu dochází k odkapávání kovu z čela elektrody, kapky kovu prochází struskou do měděného krystalizátoru, kde tuhnou. Struska má velký vliv na intenzitu rafinace, k odsíření a dezoxidaci, tím k výraznému snížení množství nekovových vměstků. [3]



Obr.23 Schéma přetavování pod struskou: 1- elektroda, 2- místo natavování, 3- kapající natavený kov, 4- zóna tuhnutí, 5- natavený kov, 6- měděná chlazené forma, 7- měděné dno chlazené vodou, 8- struska, 9- ingot, 10- plášť chlazený vodou. [3]

8. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vypracovat literární rešerši zaměřenou na výrobu, vlastnosti a použití vysokolegovaných chromových ocelí, které jsou pro své základní vlastnosti používány jako korozivzdorné, žárovzdorné a žárovevné oceli.

S korozivzdornými ocelmi úzce souvisí problematika koroze, která je rozebrána v kapitole 3, kde jsou popsány druhy a mechanismy koroze. Znalost všech aspektů koroze je velmi důležitá při volbě vyhovující korozivzdorné oceli pro dané prostředí.

V dalších kapitolách jsou dle oblasti použití děleny vysokolegované oceli na korozivzdorné, žárovzdorné, žárovevné.

V kapitole korozivzdorné oceli je rozebráno dělení ocelí dle struktury. Protože každá korozivzdorná ocel má zpravidla odlišné jiné fyzikální i mechanické vlastnosti a oblast použití, byla každá skupina ocelí rozebrána samostatně. Dílčí část byla věnována vlastnostem a složení, kterými se liší jednotlivé typy vysokolegovaných ocelí.

V závěru práce je rozebrána problematika vysokolegovaných ocelí z hlediska výroby a tavení. Vzhledem k požadavkům na zpravidla nízký obsah uhlíku a vysoký obsah legujících prvků, je nutné používat některé z prostředků sekundární metalurgie. Použití sekundární metalurgie může vést i k významnému snížení nákladů na jejich výrobu, například tím že je používáno levnějších legujících surovin.

Vysokolegované oceli mají díky svým jedinečným vlastnostem nezastupitelné místo v mnoha oblastech strojírenské, chemického a potravinářského průmyslu a díky tomu jde jejich vývoj neustále dopředu. Cílem je výroba odolnějších ocelí a snaha o ekonomičtější způsoby výroby a snižování dopadu na životní prostředí.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VAN HECKE, Benoit. *Potenciál korozivzdorných ocelí pro tváření a tvarování* [online]. Hasselt: Euro inox, 2008 [cit. 2012-04-18]. ISBN 978-2-87997-220-6. Dostupné z: www.euro-inox.org/pdf/map/FormingPotential_CZ.pdf
- [2] ČSN EN 10088-1. *Korozivzdorné oceli: Část 1-Přehled korozivzdorných ocelí*. Listopad 2005. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [3] ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. 1999. vyd. Praha: Academia, 1999. 5485. ISBN 80-200-0671-0.
- [4] Koroze. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze>
- [5] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3
- [6] MARTINEC, Jiří a Jiří JANOVEC. *Korozivzdorné materiály. Spektrum: Obchodně technický zpravodaj* [online]. 2003, 1-2, s. 4-6 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: http://www.weldingportal.sk/cmrs/esab/Spektrum1_2_2003.pdf
- [7] BRENNER, Otakar. *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003, roč. 2003, č. 4, s. 84 [cit. 2012-04-17]. DOI: 030417. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy.html>
- [8] *Korozivzdorná ocel*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Korozivzdorn%C3%A1_ocel
- [9] ESAB VAMBERG. *Technická příručka: Svařování nerezavějících ocelí*. Vamberg, 2009. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/nerezy.pdf>
- [10] The Discovery of Stainless Steel: 'Who was the inventor of stainless steel?'. In: [Http://www.bssa.org.uk](http://www.bssa.org.uk) [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: http://www.bssa.org.uk/about_stainless_steel.php?id=31
- [11] BRITISH STAINLESS STEEL ASSOCIATION. BSSA. *The Discovery of Stainless Steel* [online]. 2007-2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.bssa.org.uk/about_stainless_steel.php?id=31
- [12] ZLÁMAL, Bronislav, Zdeněk HODIS a Ladislav ČELKO. *Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli: 3SV-08*. In: *Podklady pro studenty* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/3SV/08-KaZO-Podklady.pdf>
- [13] HAJDÍK, Jiří, Michal HEINRICH. *Svařování vysokolegovaných ocelí: 1.Část. Svět sváru*. 2007, č. 1, s. 18-19. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1_2007.pdf
- [14] ŠENBERGER, J., BUŽEK, Z., ZÁDĚRA, A., aj. *Metalurgie oceli na odlitky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2008. 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.

- [15] Korozivzdorné oceli: Vlastnosti. In: *Vlastnosti korozivzdorných ocelí* [online]. Brusel: Euro Inox, 2002 [cit. 2012-04-16]. ISBN 2-87997-082-2. Dostupné z: http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf
- [16] *Charakteristika jednotlivých skupin korozivzdorných ocelí* [online]. 2004. vyd. Bohdan Bolzano s.r.o, 2004[cit. 2012-04-19]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/charakteristika_korozivzdornych_oceli2.pdf
- [17] PARTINGTON, Eric. *Korozivzdorné oceli v potravinářském a nápojářském průmyslu* [online]. 2008. vyd. Ampney St.Mary: Euro inox, 2008[cit. 2012-04-18]. ISBN 978-2-87997-191-9. Dostupné z: www.euro-inox.org/pdf/map/StSt_in_FoodandBeverage_CZ.pdf
- [18] SOURMAIL, T. a H. K. D. H. BHADESHIA. Stainless Steels. In: *Stainless Steels* [online]. University of Cambridge, 2005 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/Stainless_steels/stainless.html
- [19] Duplexní nerezové oceli. In: *Elektrovek steel* [online]. 2009 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.evek.cz/duplex.html>
- [20] SHENK STAHL: Žáruvzdorné trubky. *SHENK STAHL* [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.schenk-stahl.de>
- [21] KŘÍŽ, Antonín. *Strojírenské materiály: Oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné*. 2005. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/sma.html>
- [22] *Citace.com* [online]. 2004-2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Cr _E	Chromový ekvivalent
Ni _E	Niklový ekvivalent
FN	Feritové číslo
m	Množství látky
S	Průřez
c	změna úbytku koncentrace
PRE	Pitting Resistance Equivalent
R _T	Mez tečení
R _{mT}	Mez pevnosti při tečení
AOD	Argon-Oxygen Decarburation
CLU	Creusot-Loire-Uddeholm
VOP	Oblouková vakuová pec
ESP	Elektrostruskové přetavování