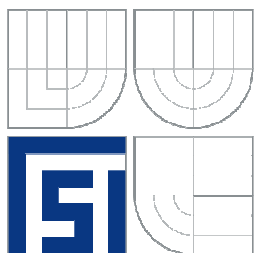


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA A VLASTNOSTI VYSOKOLEGOVANÝCH CHROMOVÝCH OCELÍ

MANUFACTURE AND PROPERTIES OF HIGH-ALLOYED CR STEELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID INVALID

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ANTONÍN ZÁDĚRA, Ph.D

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Invald

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 a vlastnosti vysokolegovaných chromových ocelí

v anglickém jazyce:

Manufacture and properties of high-alloyed Cr steels

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vysokolegované chromové a chromniklové oceli mají v konstrukčních celcích zcela nezastupitelné místo. Mimo základní vlastnost těchto ocelí, kterou je korozivzdornost, jsou tyto oceli často používány též jako oceli žárovzdorné a žárovevné.

Cíle bakalářské práce:

Provést rozdělení ocelí a popis jejich základních vlastností a použití, a to s ohledem na jejich strukturu, mechanické vlastnosti a cenu.

Seznam odborné literatury:

1. ŠENBERGER, J., 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. BŮŽEK, Z., aj. K otázce oxidačního přetavování Cr13Ni1 oceli na odlitky vodních turbín. In: Sborník - Teorie a praxe výroby a zpracování oceli. Ostrava: TANGER, 2004, s. 39–45.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Miroslav Příška, CSc.
Ředitel ústav

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou vlastností, výrobou, rozdělení a následné využití vysokolegovaných chromových ocelí. Jedna z větších částí bakalářské práce je věnována korozi, protože mezi důležité vlastnosti vysokolegovaných chromových ocelí je korozivzdornost. Poslední část práce se věnuje výrobě vysokolegovaných ocelí a zařízením pro výrobu těchto ocelí.

Klíčová slova

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

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the issue of properties, production, distribution, and use of high-alloyed chromium steels. One of the main part of the thesis is devoted to corrosion because corrosion resistance is important properties of high-alloyed chromium steel. The last part deals with high-alloy steels production and equipment for steel production.

Key words

High-chrome steel, stainless steel, corrosion and heat resistant steel.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

INVALID, David. *Výroba a vlastnosti vysokolegovaných chromových ocelí*. Brno 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 45 s. příloh. Vedoucí práce Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

24.5.2013

Datum

David Invald

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	9
1 ROZDĚLENÍ VYSOKOLEGOVANÝCH CHROMOVÝCH OCELÍ.....	10
2 KOROZE	11
2.1 Rozdělení podle mechanismu.....	11
2.2 Druhy korozního napadení	13
3 KOROZIVDORNÉ OCELI	16
3.1 Vliv jednotlivých legujících prvků na strukturu a vlastnosti oceli	18
3.2 Rozdělení korozivzdorných ocelí	19
3.2.1 Feritické oceli.....	20
3.2.2 Martenzitické oceli.....	25
3.2.3 austenitické oceli	29
3.2.4 Austeniticko – feritické oceli (duplexní oceli)	34
4 ŽÁRUVZDORNÉ OCELI.....	37
5 ŽÁRUPEVNÉ OCELI.....	38
6 VÝROBA VYSOKOLEGOVANÝCH CHROMOVÝCH OCELÍ.....	38
6.1 Výroba v zásaditých obloukových pecích (EOP).....	38
6.2 Výroba v indukčních pecích (EIP).....	40
7 ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
SEZNAM POŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	46

ÚVOD

Označení vysokolegované chromové oceli zahrnuje celou řadu materiálů, které kromě vyššího obsahu chromu (obvykle nad cca 12 %) obsahují další doprovodné a legující prvky. Použité chemické složení, respektive koncentrace prvků, jako je uhlík, chrom, nikl, molybden, dusík, měď a další, dává ocelím specifické fyzikální a mechanické vlastnosti. Hlavním znakem vysokolegovaných chromových ocelí je zejména jejich korozivzdornost, která ocelím dává odolnost vůči korozi jak v prostředí atmosféry, ale i v prostředí vody, mořské vody nebo v prostředí kyselin a silných zásad. Pro každé z těchto prostředí je často vhodný pouze některý typ korozivzdorné oceli s definovaným chemickým složením a strukturou.

V závislosti na chemickém složení mohou mít vysokolegované oceli různou strukturu, která jim propůjčuje nejen specifické fyzikální, ale i mechanické vlastnosti. To umožňuje využívat mechanické vlastnosti korozivzdorných ocelí v širokém rozmezí podle potřeby. Některé korozivzdorné oceli jsou používány též jako žáruvzdorné a žáropevné.

S výrobky z vysokolegovaných chromových ocelí se setkáváme ve svém životě všichni velice často. Jejich využití zasahuje např. do potravinářského průmyslu (nerezové nádoby), automobilového průmyslu (ventily válců, výfukové systémy atd.) medicíně nebo i šperkařství (šperky z chirurgické oceli). Velice významně jsou korozivzdorné oceli zastoupeny i v architektuře a stavebním průmyslu nebo v chemickém a petrochemickém průmyslu (korozivzdorné i žáropevné oceli).



Obr. 1 Výrobky z nerezové oceli, speciálních slitin, titanu, zirkonu a odolných materiálů.
Fotografie Sandvik Materials Technology [1]

1 ROZDĚLENÍ VYSOKOLEGOVANÝCH CHROMOVÝCH OCELÍ

Rozdělení vysokolegovaných chromových ocelí se v praxi nejčastěji provádí podle chemického složení resp. struktury nebo podle účelu použití.

- podle použití:

Korozivzdornost

- odolnost proti korozi (např. elektrochemická), probíhá většinou v atmosféře, ve vodě a různých chemických látkách; [2]

Žáruvzdornost

- odolávají oxidaci a působení spalin při teplotách 550°C; [3]

Žárupevnost

- oceli jsou odolné deformacím při mechanickém zatížení a teplotách 600 – 650°C; [4]

- podle chemického složení resp. struktury:

vysokolegované chromové oceli

- základním prvkem chrom, který se pohybuje mezi 8 -30 %, podle obsahu chrómu je pak rozdělujeme dále; [2]

chrom-niklové austenitické oceli

- rozdělujeme je na nestabilizované, stabilizované chromniklové oceli a přísadou molybdenu; [2]

chrom-manganové austenitické oceli

- rozdělujeme je na chrom-mangan-nikl-dusíkové oceli a chrom-mangan-dusíkové oceli. Legující prvky je nikl, mangan, dusík a měď; [4]

vytvrditelné korozivzdorné oceli

- struktura je tvořena 30 % austenitu a zbytek tvoří chromový, ve kterém jsou vyloučeny drobné precipitáty; [2]

dvoufázové oceli

- tyto oceli tvoří přechod mezi chromovými korozivzdornými oceli a austenitickými chrom – niklovými oceli; [2]

2 KOROZE

Koroze je samovolné a postupné rozrušení kovů nebo nekovových organických i anorganických materiálů (např. horniny a plasty), vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím. Probíhá nejčastěji v atmosféře nebo jiných plynech, ve vodě a v jiných kapalinách, zeminách a různých chemických látkách, které jsou v materiálovém styku. [5]



Obr. 2 Koroze [6]

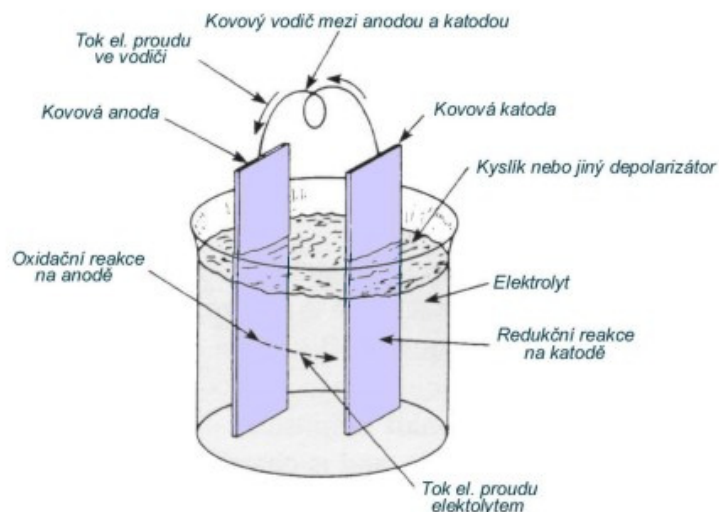
2.1 Rozdělení podle mechanismu

Chemická koroze

Tato koroze vzniká v plynných prostředích za normálních a zvýšených teplota v elektricky nevodivých kapalných prostředích. Produkty chemické koroze zpravidla vytvářejí vrstvy přímo v místech, kde k reakci došlo. [7]

Elektrochemická koroze

Touto korozí máme na mysli proces znehodnocování materiálů, při kterém vzniká elektrický proud, tedy ve vodivém prostředí – elektrolyt (roztoky kyselin, solí). Probíhá podobně jako děje v galvanickém článku dvěma na sobě závislými reakcemi (anodickou a katodickou). Tyto reakce mohou být od sebe místně odděleny. Elektrochemická koroze je tedy oxidačně-redukční. Anodická (oxidační) reakce je zdrojem elektronů, zatímco katodická (redukční) reakce stejné množství spotřebovává buď vybíjením iontů vodíkem, nebo redukcí kyslíku rozpuštěného v elektrolytu. Pro tyto reakce se používá názvu depolarizace vodíková nebo depolarizace kyslíková. [7]



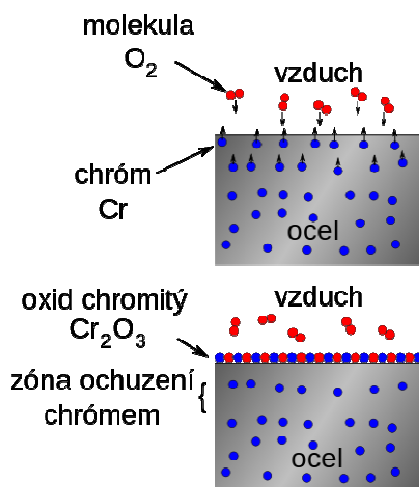
Obr. 3 Elektrochemická koroze (jednoduchý elektrický článek) [8]

Při korozním ději může vzniknout na povrchu ochranná vrstva, pak se hovoří o pasivitě.[5]

Pasivita

Pasivita představuje stav poměrně vysoké korozní odolnosti materiálu způsobeným zbrzděním anodového děje ionizací kovu v určité potenciální oblasti, ve které kov nekoroduje. [7]

Některé kovy pasivují velice snadno jako je například chrom, který má významný sklon k pasivitě i ve slitinách se železem. K pasivaci jsou náchylné také titan, hliník a další kovy. [7]



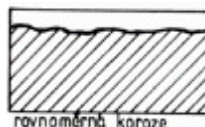
Obr. 4 Mechanismus pasivace korozivzdorných ocelí [9]

2.2 Druhy korozního napadení

- Rovnoměrná

Rovnoměrně rozpouští celý povrch a dochází ke stejnosměrnému úbytku kovu. [5]

Tato koroze patří k nejběžnějším typům koroze kovových materiálů. Lze ji předvídat a také kontrolovat a lehce odhadnout životnost součásti. Rychlost rovnoměrné koroze se vyjadřuje v $[\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}]$ nebo $[\text{mm} \cdot \text{rok}^{-1}]$. S časem korozní rychlost rovnoměrné koroze klesá. [10]



Obr. 5 Rovnoměrná koroze [11]

Lze jí zabránit nebo omezit dobrou volbou materiálů či ochranných povlaků, nebo katodickou ochranou. Všechny tyto postupy mohou být použity samostatně nebo v kombinaci. [10]

- Nerovnoměrná

Probíhá pouze na některých místech na povrchu materiálu. Zatímco na určitých místech vznikají mělké důlky nebo skvrny zbývající povrch není korozně napaden. Znakem této koroze je, že jeho hloubka skvrny $h \ll$ šířka skvrny s . Při delším působení se může přejít na rovnoměrnou korozi. [10]

Na rozdíl od rovnoměrného napadení se hůře předpovídá a selhání součásti dochází v kratší době. [5]

Vzniká při nestejnosměrném korozním napadení povrchu kovu. Příčinou nerovnoměrného korozního napadení mohou být rozdílné makroskopické vlastnosti materiálu, místní změny složení a teploty korozního prostředí, různé rychlosti proudění prostředí a transport korozních produktů na různá místa na povrchu. [10]

- Bodová

Bodová (pittingová, důlková) koroze se nejčastěji týká materiálů, které mají v daném korozním prostředí schopnost pasivace, to znamená, že vytváří tenké vrstvy oxidů chránící povrch před dalším korozním napadením. Typickými materiály se schopností pasivace jsou korozivzdorné oceli, hliník a jeho slitiny. Toto korozní napadení se soustředí do několika málo bodů, kde vznikají úzké hluboké důlky. Tyto důlky mají hloubku $h \gg$ průměr bodu s . Ostatní povrch nemusí být vůbec napaden. [10]

Bodová koroze vzniká často za přítomnosti chloridových iontů a to v místech, kde je narušena homogenita pasivační vrstvy, nebo korozního prostředí. Tyto chloridové ionty dále narušují pasivační vrstvu a usnadňují autoalkalytické rozpouštění kovu. [10]



Obr. 6 Bodová koroze [11]

- Mezikrystalická koroze

Postihuje úzkou oblast ležící na hranicích zrn. Jednotlivá zrna materiálu mají menší odolnost proti korozi než vlastní zrna materiálu. Dochází tak k porušení materiálu a ztrátě pevnosti nebo rozpad na jednotlivá zrna. Je špatně viditelná při běžné kontrole povrchu, viditelná je až na metalografických výbrusech. Zvláštní případem, který se může objevit u chromových nebo chromoniklových korozivzdorných ocelí je tzv. transkrystalová koroze, při níž korozní napadení přechází z mezikrystalického prostoru na samotné zrno. [10]



Obr. 7 Mezikrystalová koroze [11]

- Extrakční koroze

U této koroze koroduje převážně jen jedna chemická složka slitiny, toto napadení se označuje jako extrakční koroze. Strukturní mřížka homogenních tuhých roztoků se v místě napadení mění v důsledku koncentračního spádu chemické složky extrahované slitiny v místě koroze. Napadení extrakční korozí může být po celém povrchu rovnoměrně a nerovnoměrně pronikat do hloubky slitiny, ale může však být i místní, vytvářet důlky nebo probíhat na hranici zrn. [12]

- Štěrbínová koroze

V jemných štěrbinách nebo v místech se špatnou výměnou korozního prostředí vzniká tato koroze. [10]

Úzká štěrbina zvyšuje agresivitu okolního roztoku, který je ve styku s volným povrchem. Čím je štěrbina více otevřená a málo hluboká, tím menší bude pravděpodobnost vzniku štěrbinové koroze. Inkubační doba bývá u této koroze velmi dlouhá. [13]



Obr.8 Štěrbínová koroze [11]

- Koroze za napětí

Je to porušení materiálu neboli prasknutí vyvolané kombinací účinků tahových pnutí, korozního prostředí a zvýšené teploty. [4]

Podle způsobu šíření trhlin se rozděluje na korozní praskání mezikrystalické, transkrystalické a smíšené. Největší znakem tohoto korozního praskání je větvení na čele trhliny. Pro vznik tohoto praskání je zapotřebí materiál náchylný ke koroznímu praskání, specifické korozní prostředí a přítomnost tahového napětí. [5]

- Vibrační koroze

Vzniká obvykle na styčných plochách kovových materiálů, které konají vzájemný kmitavý pohyb o malé amplitudě při určitém specifickém tlaku. Jde o opotřebení ploch, které jsou však v důsledku oxidačních pochodů mnohem výraznější než při rovnocenném tření bez působení prostředí. [13]

- Kavitace

Příčinou tohoto poškození je tvorba a zánik plyných nebo parních bublin v proudící kapalině. Bubliny vznikají v místě poklesu tlaku pod hodnotu par kapalin například v zúžení a následně prudce zanikají v místech, kde dochází vyrovnání tlakových poměrů. tímto procesem vznikají rázy, které poškozují materiál. Kavítace se projevuje množstvím těsně sousedících důlků. Příkladem jsou lopatky turbín, čerpadel a lodních šroubů. [10]

- Vodíková koroze

U vodíkové koroze dochází ke kontaktu kovového konstrukčního materiálu s vodíkem. [13]

Může vzniknout v prostředí plyném za vysokých teplot nebo ve vodivém prostředí. V plyném prostředí vodík proniká do oceli, kde reaguje s karbidy a tím vznikají sloučeniny, které se hromadí na hranicích zrn a zvyšují tlak. Projevem bývají puchýře a trhliny. [10]

Ve vodivém prostředí vzniká vodík na katodických místech v rámci elektrochemických reakcí. Atomární vodík difundující do materiálu způsobuje pružnou deformaci mřížky a vede ke vzniku vodíkového křehnutí. [10]

3 KOROZIVDORNÉ OCELI

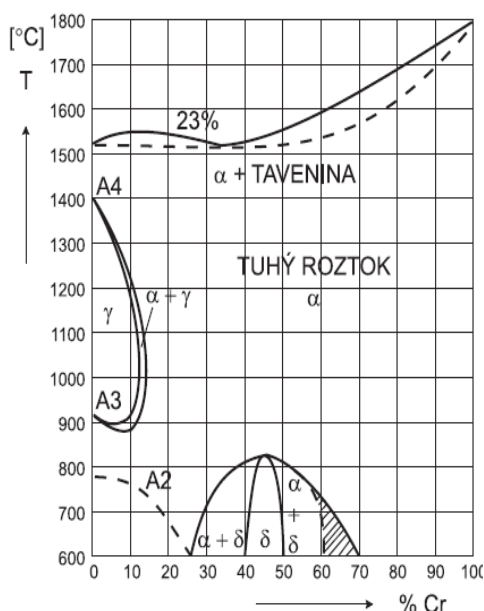
Jako první v roce 1821 v lučavce královské byla prokázána korozní odolnost slitiny železa s chromem francouzským vědcem Pierrem Berthierem, R. Malletem v korozním prostředí v roce 1838 a Frémyem v roce 1857 v prostředí koncentrovaných kyselin. Výzkum a vývoj se korozivzdorných ocelí s chromem a niklem se nejvíce rozeběhl během prvních dvaceti let 20. Století. [14]

Práce Philipa Monnartza z roku 1911 uvádí vlastnost slitin železa s chromem a jejich využití ve které naznačil dvě nejnižší meze obsahu chromu 12,5% pro odolnost proti kyselině dusičné za normální teploty a 14% při jejím varu. Další vědec, který se zabýval výzkumem korozivzdorných slitin, byl Harry Brearley z sheffileldských laboratoří. Ten objevil a následně zavedl v roce 1912 výrobu martenzitické korozivzdorné oceli s obsahem uhlíku 0,24%, chromu 12,8%. Benno Strauss a Eduard Maurer patentovali austenitickou korozivzdornou ocel v roce 1912 a o dva roky později vyrobili ocel s 20 % chromu 7% niklu a 0,25% uhlíku pro výrobu čpavku. Na konci 60 let byl další skok, kterým bylo kyslíko-argonové oduhličení ocelí. To umožnilo výrobu nízkouhlíkových ocelí s regulovaným množstvím dusíku. Od 70 let došlo k výrobě vysoce kvalitních ocelí a super–korozivzdorných ocelí. [15]

Korozivzdorné oceli patří mezi konstrukční kovové materiály, základním prvkem korozivzdorných ocelí je chrom, který dává těmto ocelím schopnost pasivace povrchu. Korozivzdornost ocelí, která závisí nejen na obsahu chromu v matici ale také na obsahu dalších prvků Ni, C, Mo, Mn., případně N a Cu. [16,17]

Zpravidla korozivzdorné oceli mají více než 12% Cr (až 30%) dále legující prvky hlavně Ni (až 30%), Mn (až 24%) a dalších prvků. Charakteristickými znaky jsou pro korozivzdorné oceli nízké obsahy S a P (max do 0,03%), a dále nízký obsah uhlíku nejčastěji v rozmezí 0,01 – 0,1%. [15]

Změnou chemického složení dochází k ovlivňování anebo změně vznikající struktury korozivzdorných ocelí a její teplotní stability. Struktura vysokolegovaných korozivzdorných ocelí je závislá na chemickém složení. V prvním přiblížení je možné při predikci výsledné struktury vycházet z rovnovážného diagramu Fe-Cr (obr. 9). [16]

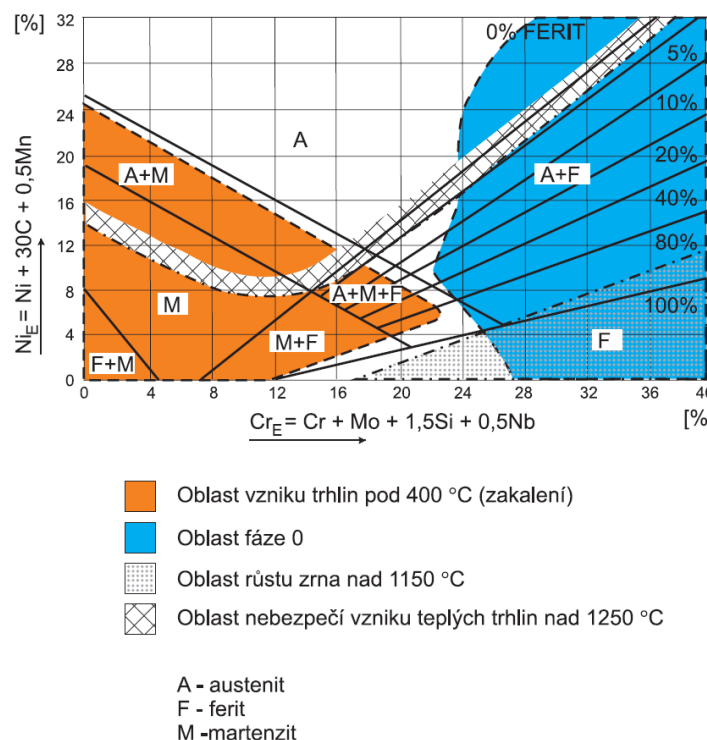


Obr. 9 Rovnovážný diagram Fe- Cr [18]

Při obsahu chrómu okolo 12 % se uzavírá oblast γ proto nedochází při chladnutí k rekrystalizaci. Konečná struktura ocelí je pak feritická. Oceli s menším obsahem chrómu než 12 % jsou samokalitelné a austenit transformuje na martenzit, ale v přechodové oblasti chrómu se může během chladnutí jen část feritu překrystalizovat na austenit, čímž vznikne struktura feriticko-martenzitická. [16]

Austenitotvorné prvky Ni, C, N, Mn rozšiřují oblast γ snižují teplotu martenzitické přeměny. Oceli vysokolegované Cr-Ni mohou mít i austenitickou strukturu i za pokojové teploty. Potom nikl přispívá ke zvýšení korozivzdornosti a je vedle chromu druhým nejdůležitějším prvkem. Při nižších koncentracích austenitotvorných prvků lze získat austeniticko feritickou strukturu a při vyšších koncentracích chromu se nachází v soustavě Fe-Cr oblast existence sigma fáze. Tato fáze při vylučování u korozivzdorných ocelí vede ke snižování houževnatosti. [16]

Struktura nerezavějících ocelí závisí na obsahu prvků, které oblast γ zužují (feritotvorné prvky Si, Mo, V, Ti, Al, a Nb) a dále rozšiřujících prvků (austenitotvorné prvky Ni, Mn, N, Cu). Pro tuto skupinu, které tuto oblast uzavírají, se zavádí pojem ekvivalent chrómu Cr_{ek} , který udává ekvivalentní působení prvků na rozsah oblasti γ k obsahu chrómu. Pro austenitotvorné prvky se zavádí pojem ekvivalent niklu Ni_{ek} . Zavedení těchto pojmů umožňuje vyjádřit vliv chemického složení na strukturu nerezavějících ocelí. Grafické znázornění vlivů jednotlivých prvků na konečnou strukturu udává tzv. Schaefflerův diagram (obr. 10). Tento diagram není rovnovážným diagramem, zobrazuje nám strukturu, kterou při daném chemickém složení získat v litém stavu. Lze ho také využít na odhadování výsledné struktury svarového kovu. [16,19]



Obr. 10 Schaefflerův diagram [18]

3.1 Vliv jednotlivých legujících prvků na strukturu a vlastnosti oceli

Chrom je nutnou přísadou pro odolnost proti oxidaci, s rostoucím obsahem chromu se zvyšuje korozní odolnost v oxidačním prostředí.[7]

Mangan u Cr-Ni ocelích zpevňuje austenit během opracování a na rozdíl od niklu nezvyšuje korozní odolnost oceli. Byl zaveden také jako náhrada za Ni při nedostatku na mezinárodním trhu, ale také z ekonomických důvodů. Tímto může snížit obsah niklu na polovinu na 4 % Ni přidáním 2 – 6 % Mn. Mangan se také používá pro zvýšení rozpustnosti dusíku v austenitu. Při koncentraci nad 3 % snižuje praskání svarů. Mangan zhoršuje obrobitelnost. [7]

Dusík u Cr-Ni ocelí zvyšuje pevnostní vlastnosti. Oceli legované dusíkem mají výbornou korozivzdornost. Rozpustnost dusíku je vzhledem k vysokým obsahům Cr podstatně vyšší, než je jeho rozpustnost v čistém železe nebo nelegovaných ocelí. Ale v tvářených ocelí je obsah dusíku v austenitických ocelí omezen na 0,2 % a to u značek s obsahem do 0,03 % uhlíku. Mohou se vytvářet endogenní bubliny, při vysokých obsahách dusíku. Zvyšuje pevnostní hodnoty a s Mo zvyšuje odolnost proti bodové a šterbinové korozi. [7]

Křemík – vyvolává praskavost svarů. V koncentraci 3 – 4 % zamezí náchylnosti k mezikrystalické korozi a zvyšuje odolnost proti korozi ve vroucí kyselině dusičné. [7]

Molybden – je feritotvorný prvek a při jeho přidání se musí zvýšit obsah niklu nebo jiného austenitického prvku, má-li být zachována austenitická struktura. Zvyšuje odolnost

proti korozi ve všech prostředích, zvyšuje žárovevnost a podporuje vylučování intermediálních fází. [7]

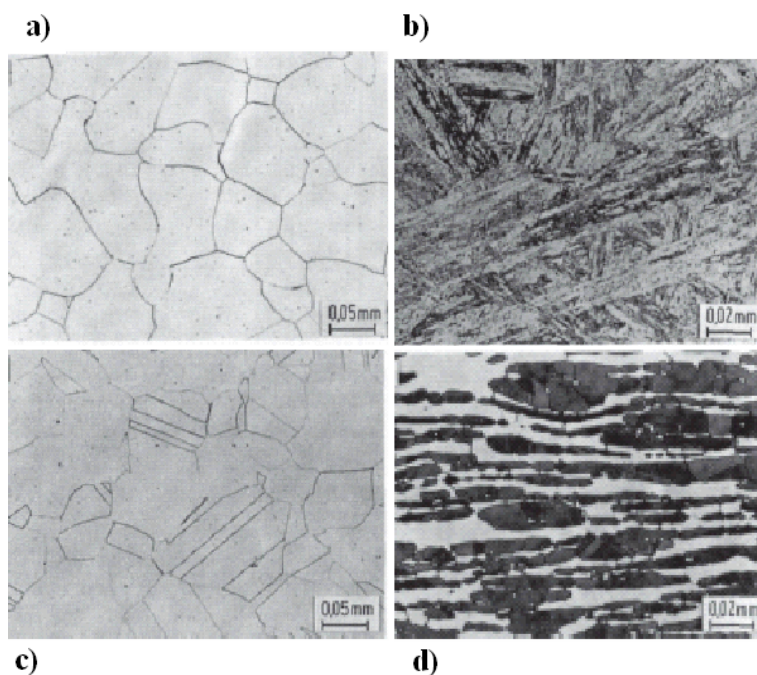
Měď – je slabě austenitotvorný prvek. Zvyšuje korozní odolnost v kyselině sírové a zlepšuje obrobiteľnosť. Používá se k legování vytvrditelných ocelí. [7]

Titan a niob snižují obsah uhlíku v matici – stabilizují ocel. Mají vysokou afinitu k dusíku a přidávají se do vytvrditelných ocelí. [7]

3.2 Rozdělení korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné oceli jsou rozděleny chemického složení dle normy EN 10088 do několika skupin podle struktury na: [7]

Struktura	Hlavní legující prvky
Feritická	Cr
Martenzitická	Cr, C, nebo Ni
Austenitická	Cr, Ni, Mo
Austeniticko – feritická	Cr, Ni, Mo, (vyšší obsahy chromu a nižší Ni než u austenitických ocelí)



Obr. 11 Příklad typických struktur u korozivzdorných ocelí [20]:

- a) materiál s feritickou strukturou
- b) materiál s martenzitickou strukturou
- c) materiál s austenitickou strukturou
- d) materiál s austeniticko-feritickou strukturou (duplexní ocel)

3.2.1 Feritické oceli

Feritické oceli obsahují 13 – 30 % Cr a pod 0,1 % uhlíku. Nejsou kalitelné a jejich pevnost je vyšší než u nelegované uhlíkaté oceli. Karbidy se rozpouštějí ve feritu při ohřevu, ale struktura se nijak nemění. Proto se křehkost feritických ocelí s vyloučenými karbidy a se zvyšující teplotou ohřevu snižuje. Zajímavou vlastností těchto ocelí je jejich odolnost proti koroznímu praskání a nevýhodou náchylnost ke křehnutí za teplot nad 900°C, křehnutí vlivem tvorby křehké fáze σ a křehnutí při 475 °C, které hodně ovlivňují mechanické vlastnosti. Teplota 475°C má praktický význam hlavně u svařování těchto ocelí. [16,17]

Feritické korozivzdorné oceli rozdělujeme do čtyř skupin :

- 1) 13 % chromové feritické oceli jsou legovány 11,5 – 13,5 % Cr s obsahem uhlíku je pod 0,08 %; [17]
- 2) 17 % chromové feritické oceli obsahující chrom od 16 – 18 % s obsahem uhlíku pod 0,08%; [17]
- 3) 25 % chromové oceli s různým obsahem uhlíku; [15]
- 4) Superferity – obsahující 18 – 29 % Cr a obsahem uhlíku + dusíku 0,015 – 0,025 %; [17]

Tab. 1 Chemické složení vysokolegovaných feritických ocelí [20]

Označení podle DIN	Mat. číslo	Chemické složení v %					Norma EN 10088	
		C	Cr	Mo	Ni	ostatní	díl 2	díl 3
X2CrNi12	1.4003	≤0,03	10,5/12,5		0,30/1,00	N _{0,03}	x	x
X2CrTi12	1.4512	≤0,03	10,5/12,5			Ti _{6x} (C+N) bis 0,65	x	
X2CrTi17	1.4520	≤0,025	16,0/18,0			N _{0,015} Ti _{0,30} /0,60	x	
X5CrNiMoTi15-2	1.4589	≤0,08	13,5/15,5	0,20/1,20	1,0/2,5	Ti _{0,3} /0,5		
X6Cr17	1.4016	≤0,08	16,0/18,0				x	x
X6CrMo17-1	1.4113	≤0,08	16,0/18,0	0,9/1,4			x	x
X3CrTi17	1.4510	≤0,05	16,0/18,0			Ti _{4x} (C+N) +0,15-0,80	x	
X3CrNb17	1.4511	≤0,05	16,0/18,0			Nb 12xC bis 1,00	x	
X6CrMoS17	1.4105	≤0,08	16,0/18,0	0,20/0,60		P _{0,040} S _{0,15} /0,35		x
X2CrMoTi18-2	1.4521	≤0,025	17,0/20,0	1,8/2,5		Ti _{4x} (C+N) +0,15-0,80 N _{0,03}	x	

- 1) 13 % chromové feritické oceli mají dobrou korozní odolnost v atmosféře, ve vodě, vodní páře, ve zředěné kyselině dusičné a slabých organických kyselinách, ale naopak nejsou vhodné pro silně znečištěné průmyslové vody, mořskou vodu a silně znečištěné průmyslové atmosféry. Užívají se hlavně v chemickém průmyslu, jako sedla ventilů, potrubí čerpadel, výměňkové trubky v zařízeních na zpracování ropy, nádrže. Lze je také použít v potravinářském průmyslu. Jejich tvárnost a svařitelnost je podmíněna a jejich nejvyšší korozní odolnost je dosahována při kvalitním povrchu. [17]
- 2) 17 % chromové feritické oceli mohou být legovány Mo a stabilizované Ti nebo Nb, které svým feritotvorným účinkem zamezují vzniku křehké dvofázové martenziticko – feritické struktury. V některých případech, při vyšších obsazích uhlíku, po ohřevu na teplotu 900 °C, dochází k částečně austenitické přeměně a

struktura je poté smíšená a označujeme jako poloferitické. Tyto oceli jsou korozně odolné proti atmosférické korozi, říční a mořské vodě, kyselině dusičné, zředěným organickým kyselinám a roztokům solí. Odolávají i znečištěné průmyslové atmosféře a průmyslovým vodám. Jsou velmi dobré proti odolnosti proti bodové korozi, koroznímu praskání v neutrálních nebo mírně kyselých roztocích. Také odolávají alkalickým prostředím za tepla, benzínu, studeným olejům, chladicím kapalinám bez chloridů a řadě pracích prostředků. Jejich využití je zejména v potravinářském průmyslu (zpracování mléka, piva, octa apod.) v automobilovém průmyslu, při výrobě kuchyňských potřeb, sanitárních zařízení, ve vzduchotechnice a v architektuře. [17]

- 3) Vysoký obsah chromu 25 % až 30 % zaručuje vyšší korozní odolnost se srovnáním s oceli 13 % a 17 % ale nevýhodou je náchylnost ke křehnutí vlivem vylučování křehké fáze σ v oblasti kritických teplot. Hlavní významem těchto ocelí s obsahem 0,1 až 0,2 % C jako žáruvzdorné pro použití za vysokých teplot. [17]
- 4) Při rozvoji metalurgických pochodů se umožnilo vyrobit ocel s čistě feritickou strukturou a nízkým obsahem C+N. Superferity obsahují 18 – 29 % chromu a C+N se pohybuje mezi 0,015 – 0,025 % a jsou většinou stabilizovány Ti nebo Nb. Mají dobrou svařitelnost, tvářitelnost, vyšší pevnostní hodnoty, dobrou tažnost a vrubovou houževnatost. Dobrá je velmi zlepšená odolnost proti rovnoměrné a mezikrystalové korozi a také odolnost proti koroznímu praskání za napětí, bodové a štěrbinové korozi. Rozdělují se do dvou skupin. První skupina neobsahuje nikl, ale obsahuje maximálně 0,025 % C+N. druhá skupina nikl naopak obsahuje a i také C+N jako u první skupiny. Tyto oceli je možné použít tam, kde selhávají běžné korozivzdorné oceli a bylo by nutné použít vysokoniklové slitiny nebo slitiny na bázi niklu. Superferity se používají na výměňkové trubky, kde přichází ocel do styku s vodami o vysokém obsahu chloridů, oxidačních kyselin a organických kyselin. Na zařízení odsolování mořské vody, elektrárny u mořského pobřeží a celá oblast chemického a petrochemického průmyslu. V poslední době jsou ale upřednostňovány místo superferitů austeniticko-feritickými oceli. [17]

Mechanické a fyzikální vlastnosti feritických ocelí

Jejich mechanické vlastnosti jsou velice dobré a v tomhle ohledu zauímají určitou střední pozici se srovnáním jinými druhy korozivzdorných ocelí. Mají vysokou mez kluzu oproti austenitickým ocelím a v podstatě stejnou tažnost a tvářitelnost jako uhlíkové oceli. Také modul pružnosti je u feritických ocelí při 20 °C vyšší než u austenitických ocelí. [21]

Feritické oceli mají oproti austenitickým ocelím výbornou tepelnou roztažnost, což je výhodné např. pro zátavy při výrobě obrazovek, elektronek. Dále mají i vyšší tepelnou vodivost, což umožňuje lépe a rovnoměrněji rozvádět teplo v objemu materiálu než například austenitické oceli. [12,21]

Tab. 2 Mechanické vlastnosti vybraných korozivzdorných ocelí v žháném stavu při pokojové teplotě (podle EN 10088) [20]

Druh oceli		Tvar výrobku ¹⁾ Tloušťka nebo průměr mm max.		Mez 0,2% ²⁾ podélně napříč N/mm ² min.		Pevnost v tahu N/mm ²	Tažnost ³⁾ % min.	Odolnost proti mezikrystalové korozi		
Zkratka	Materiál							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_{500N}, jinak A₅

Tab. 3 Fyzikální vlastnosti feritických [21]

Typ korozi- vzdorné oceli	Měrná hmotnost g/cm ³	Elektrický odpor Ω mm ² /m	Specifické teplo 0 ~ 100°C J/kg · °C	Tepelná vodivost 100°C W/m · °C	Koefficient tepelné rotažnosti		Youngův modul pružnosti x10 ³ N/mm ²
					0~200°C	0~600°C 10 ⁶ /°C	
409/410 10%-14% Cr	7.7	0.58	460	28	11	12	220
430 14%-17% Cr	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Stabilizované 430Ti, 439, 441	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Mo > 0,5% 434, 436, 444	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Jiné 17%-30% Cr	7.7	0.62	460	25	10.0	11.0	220
304	7.9	0.72	500	15	16	18	200
Uhlíková ocel	7.7	0.22	460	50	12	14	215

Tváření a tvarování feritických ocelí

Feritické oceli jsou vhodným materiálem na průmyslové i spotřební výrobky a to pro svoji dobrou korozní odolnost a žáruvzdornost a jejich dekorativní účinky. [21]

I když u austenitických ocelí jsou schopnosti lepší než u feritických tak např. tažitelnost u feritické oceli s 17 % chrómu, stabilizované titanem je vynikající. [21]

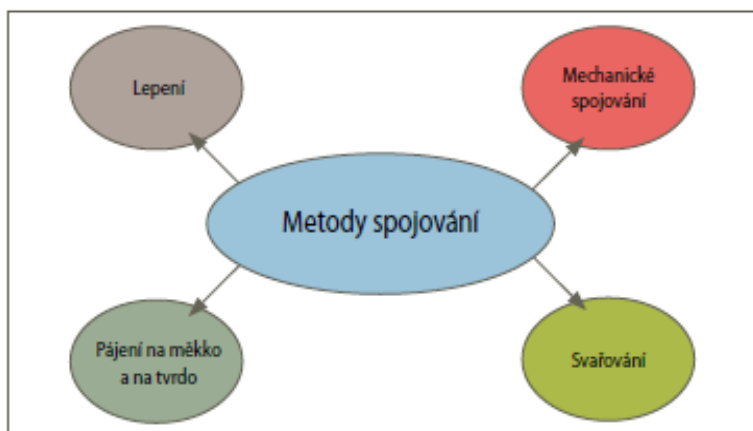


Obr. 12 Výlevka z oceli značky AISI 430 (obsahuje 16-18% Cr a pod 0,08% C), Japonsko [21]

Feritické oceli mají vyšší hodnoty LDR (mezní stupeň tažení označován K, zkratka Limiting Drawing Ratio), než oceli austenitické proto jsou nejvíce vhodné k hlubokému tažení. [17]. Mezní stupeň tažení je možné vypočítat podle vztahu (1). [22]

$$K = \frac{1}{M} = \frac{d_0}{d_1} = LDR \quad (1)$$

M – součinitel tažení, d_0 - maximální průměr polotovaru přetvářitelného do podoby válce v jediném kroku hlubokého tažení d_1 - průměr válce. [22]

spojuvání feritických ocelí

Obr. 13 Spojování feritických ocelí [21]

Svařování

Svařovací vlastnosti u korozivzdorných ocelí jsou ovlivňovány chemickým složením, metalurgickou strukturou a fyzikálními vlastnostmi. Feritické oceli mají výhodu nižší tepelné roztažnosti, nižší elektrického odporu a vyšší tepelné vodivosti. [21]

Feritické oceli jsou méně náchylné k mezikrystalové korozi v důsledku svařování. Toto platí pro stabilizované feritické oceli obsahující titan a niob, které na sebe vážou při svařování uhlík, který se nemůže slučovat s chromem na karbidy chromu. Naopak nestabilizované oceli mohou být ve svaru náchylné k mezikrystalové korozi z důsledku tvorby karbidů chromu. Tento jev se nazývá zcitlivění a závisí hlavně na obsahu uhlíku. Zcitlivění lze obnovit přezháním na teploty 600 – 800 °C. [21]

Pro zajištění korozní odolnosti svarového spoje musí mít přídavný kov vyšší obsah přísadových prvků Cr, Mo, Ti nebo Nb než svařovaná ocel. Důvodem je ubývání chromu v oblasti svaru. Musí se také dát pozor na to aby při roztaveném stavu byl svar chráněn před přístupem vzduchu jinak velmi oxiduje a ztrácí také korozní odolnost. To zamezí ochranným štítem čistého argonu nebo směsí argon – helium. [21]

Další riziko, které se může vyskytovat po svařování je riziko křehnutí (tvorbou nových fází a hrubnutí zrna). Jejich odstranění je v následující tabulce. [21]

Tab. 4 Svařování feritických ocelí: Náprava závad [21]

Skupina korozi-vzdorných ocelí	Konkrétní problém	Účinek	Příčina	Způsob odstranění
Nestabilizované značky	Zcitlivění	Malá korozní odolnost v oblasti svaru	Precipitace karbidů Cr na hranicích zrn	Žhánání na teploty 600-800 °C
Stabilizované značky	Hrubnutí zrna	Nízká houževnatost v oblasti svaru	Nadměrný růst zrna působený vysokou teplotou	Minimalizací tepelného příkonu při svaření
Značky z vysokým Cr a Mo	Křehnutí při 475 °C	Ke křehnutí dochází v pásmu teplot 400-540 °C	Rozklad matrice do 2 fází, v nichž jedna je bohatá na železo druhá na chrom	Ohřev na 600 °C a prudké ochlazení
Cr od 15%	Křehnutí tvorbou fáze sigma	Ke křehnutí dochází v pásmu teplot 550-800 °C	Tvorba fáze sigma v důsledku rozkladu feritu delta	Ohřev nad 800 °C a prudké ochlazení
Nestabilizované značky	Křehnutí tvorbou martenzitu	Ke křehnutí dochází u ocelí s nižším Cr a vyšším C	Tvorba martenzitu příliš rychlým ochlazením	Odstranění martenzitu dlouhodobým žhánáním na 600-700 °C

Lepení

Lepení se používá ke zpevnění mechanických spojů a ke spojování tenkých plechů z korozivzdorných ocelí. Lepení má spoustu výhod. Nemění vzhled ani geometrii, snadno a esteticky spojovat jakékoliv materiály, možno spojovat díly různé nebo proměnlivé tloušťky a zajistit tepelnou, elektrickou nebo zvukovou izolaci. Spoje ale vydrží obvykle do 200 °C a jsou citlivé na vlhkost. Lepení není tak pevné proto se používají hlavně u přeplátovaných spojů, kde je zatížení rozloženo na dostatečnou plochu. [21]

U korozivzdorných ocelí je třeba dbát po zdrsnění na čisté, suché a velmi dobře připravené povrchy jinak hrozí, že nebude dobře držet lepidlo. Lepenými spoji se setkáváme nejčastěji u výrobců autobusů a autokarů. [21]



Obr. 14 Lepení používané u výroby autobusů [21]

Pájení na měkko a na tvrdo

Tento způsob spojování kovových dílů v pevném stavu tavným přídavným kovem. Bod tání přídavného kovu musí být výrazně nižší než body spojovaných materiálů. Pájení na měkko se používá měkkých pájek s bodem tání nižším než 450 °C, naopak u pro pájení na tvrdo se taví při vyšších teplotách. [21]

Uvedené technologie spojování mají tyto praktické výhody:

Spoje mohou být dočasné nebo trvalé, ohřev i ochlazování probíhá pomalu, ohřev na nízké teploty, spojování dílů různých tloušťek, spotřebuje se méně tepla než u svařování. [21]

3.2.2 Martenzitické oceli

Martenzitické oceli obsahují chrom do 18 % a uhlík do 1,5 %. Mají tetragonální prostorově středěnou mřížku značenou alfa, která vzniká díky vysokému obsahu chrómu i při nízkých rychlostech ochlazování. Snižováním obsahu uhlíku v těchto ocelích je omezeno koncentrací do 0,08 %. Snížení obsahu pod 0,08 % uhlíku musí být kompenzováno přísadou niklu. Nad 5 % Cr jsou tyto oceli samokalitelné. Jsou korozně odolné v zakaleném stavu. Rozdělit je můžeme podle chemického složení na oceli chromové a

chromoniklové. Chromoniklové jsou legovány molybdenem. Korozní odolnost je nejvyšší u kvalitního, nejlépe leštěného povrchu. I u těchto ocelí je při použití nebezpečím křehnutí, které může vznikat při ohřevu na teplotu 350 – 550 °C zejména při obsahu uhlíku nad 0,2 %, nebo může být křehnutí způsobené vodíkem, které vzniká po tepelném zpracování v určitých atmosférách nebo při moření. [16,17]

Tab. 5 Vliv obsahu uhlíku na tvrdost martenzitických ocelí, kalených a popouštěných. [20]

Obsah C v hmotnosti %	Tvrdost HRC
0,10	40
0,15	46
0,20	50
0,25	53
0,40	56
0,70	58
1,00	60

Rozdělení martenzitických vysokolegovaných ocelí:

1) chromové

Obsahují 0,15 až 0,45 % C a cca 13 % Cr. Používají se převážně v atmosféře, vodě, páře a v dalších mírně agresivních podmínkách, kde dochází k pasivaci povrchu do 450 °C. Některé typy s obsahem do 0,2 % C se používají na lopatky turbín, čerpadla a armatury v chemickém a energetickém průmyslu. Oceli s obsahem 0,3 – 0,4 % C se používají na nože a chirurgické nástroje, které mají větší nároky na ořezuvzdornost a je vyžadována větší tvrdost. Při zvýšení obsahu chromu nad 15 % a uhlíku na 0,5 – 0,6 % a legování (Mo, V, W) se zvyšuje odolnost proti rovnoměrné a důlkové korozi. Tato ocel se používá v potravinářském průmyslu na nože a v chirurgii na součásti pracující v agresivním prostředí. Při dalším zvýšení chromu na cca 17 % a uhlíku na 1 % se dosáhne k zlepšení korozní odolnosti a používá se pro výrobu konstrukčních dílů pro chemický průmysl, které vyžadují vysoké nároky na ořezuvzdornost při vysoké korozní odolnosti. Nevýhoda ocelí s obsahem uhlíku nad 0,2 % je, že nejsou svařitelné. [17]

Tab. 6 chemické složení martenzitických ocelí dle normy ČSN EN 10283 [16]

Označení		Chemické složení v hmotnostních %									ekviva- lent ČSN
značkou	číslem	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Cu	
GX12Cr12	1.4011	0,15	1,00	1,00	0,035	0,025	11,50 13,50	max. 0,50	max. 1,00	–	422905
GX7CrNiMo12-1	1.4008	0,10	1,00	1,00	0,035	0,025	12,00 13,50	0,20 0,50	1,00 2,00	–	422904
GX4CrNi13-4	1.4617	0,06	1,00	1,00	0,035	0,025	12,00 13,50	max. 0,70	3,50 5,00	–	422960
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	0,06	0,80	1,00	0,035	0,025	15,00 17,00	0,70 1,50	4,00 6,00		
GX4CrNiMo16-5-2	1.4411	0,06	0,80	1,00	0,035	0,025	15,00 17,00	1,50 2,00	4,00 6,00		
GX5CrNi16-4*	1.4525	0,07	0,80	1,00	0,035	0,025	15,00 17,00	max. 0,80	3,50 5,50	2,50 4,00	

*V oceli GX5CrNi16-4 je omezen obsah N max. 0,05 % a obsah (Nb+Ta) max. 0,35 %.

2) chromoniklové

S obsahem 17 % chrómu, 2 % niklu a 0,2 % uhlíku se tyto oceli nazývají chromoniklové. Oceli se používají nejvíce na lopatky parních turbín a další součásti, které přicházejí do styku s vodou, párou a mořskou vodou. Tento typ oceli bez přísady niklu má obecně vyšší pevnost, dobré plastické vlastnosti a také podmíněnou svařitelnost. [17]

3) supermartenzitické

Je to nový trend ve výrobě martenzitických ocelí. Oceli mají nízký obsah uhlíku pod 0,015 %, 11 – 13 % Cr, 5,5 – 6,5 % Ni, 2 – 2,25 % Mo s velmi nízkým obsahem síry. Cr zajišťuje dostatečnou korozní odolnost a Ni zvyšuje korozní odolnost a také houževnatost zlepšuje. Mo zde hraje roli proti koroznímu praskání za napětí a zvýšení korozní odolnosti. Dalšími přísady jako třeba Cu, Ti, N, a V které optimalizují strukturu a také zvyšují korozní odolnost. Supermartenzitické oceli se používají na potrubí při těžbě a transportu plynů vysoké agresivity. Jsou použitelné jak pro prostředí sladkých plynů CO₂ (oxid uhličitý), tak pro plyny obsahující CO₂ (oxid uhličitý) s nízkým H₂S (sirovodíku). mají hlavně vysokou pevnost, zlepšenou houževnatost. [17]

Martenzitické oceli precipitačně vytvrditelné

Vytvrzování těchto ocelí je vyvoláno dvěma navazujícími pochody a to martenzitickou přeměnou a precipitací v martenzitu s relativně nízkou tvrdostí s ohledem na nízký obsah uhlíku. Tyto oceli lze rozdělit do dvou skupin podle polohy teploty počátku martenzitické teploty M_s vzhledem k normální teplotě. [12]

Oceli s přímou martenzitickou přeměnou

Tyto oceli se podrobují zakalení z teploty 1050°C, poté je jejich struktura zcela martenzitická. Vytvrzení mezi 400 – 500°C vyvolá precipitaci fází a dosahuje pevnosti 1300 – 1500 MPa. [12]

Rozhodujícím mechanismem zpevnění je martenzitická přeměna, která ovlivňuje obsah feritu a jeho stabilitu při teplotě vytvrzování. [12]

Vzhledem k tomu že teplotní interval martenzitické přeměny je maximálně 150°C, měla by být konečná požadovaná teplota M_s těchto ocelí kolem 200°C. [12]

Oceli s nepřímou martenzitickou přeměnou

Po ochlazení z vysokých teplot rozpouštěcího žíhání 1025 -1075°C, jsou buď úplně, nebo částečně austenitické. Martenzitická přeměna se vyvolá ochlazením na -80°C po rozpouštěcím žíhání přímo nebo destabilizačním žíháním při 700 – 800°C s následným ochlazením na vzduchu. Pro dosažení optimálních vlastností se dokončuje strukturním vytvrzením při 400 – 500°C. [12]

Tyto oceli nalézají použití pro exponované součásti leteckého, kosmického, loďařského a zbrojního průmyslu. Jsou vhodné pro výrobní nástroje na protlačování hliníku, formy na tvarování plastů gumy a lisovací nástroje. Mají nejen dobrou plasticitu, ale i odolnost proti korozi. Je také vhodný i pro náročné silně namáhané součásti v jaderné energetice. [12]

Tab. 7 Hodnoty mechanických vlastností a používané tepelné zpracování martenzitických korozivzdorných ocelí [16]

Označení		Tepelné zpracování		Tloušťka stěny	Mechanické vlastnosti			
Značkou	číslem	Kalení [°C]	Popouštění [°C]		Zkouška tahem			Zk. rázem v ohybu
				[mm] max.	R _{p0.2} [MPa] min.	R _m [MPa] min.	A [%] min.	KV [J] min.
GX12Cr12	1.4011	950-1050	650-750	150	450	620	15	20
GX7CrNiMo12-1	1.4008	1000-1050	620-720	300	440	590	15	27
GX4CrNi13-4	1.4617	1000-1050	590-620	300	550	760	15	50
		1000-1050	500-530	300	830	900	12	35
		1000-1050	660-680 560-620	300	500	700	16	50
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	1020-1070	580-630	300	540	760	15	60
GX4CrNiMo16-5-2	1.4411	1020-1070	580-630	300	540	760	15	60
GX5CrNi16-4	1.4525	1020-1070	560-610	300	750	900	12	20
		1020-1070	460-500	300	1000	1100	5	–

Tepelné zpracování

V závislosti na výrobě se martenzitické oceli dodávají v žíhaném stavu nebo zušlechťeném. Ve stavu žíhaném na měkko mohou být zpracovány výrobky tvarováním za tepla anebo za studena.(ohýbáním, ražením, lisováním, tažením), dříve než se provede zušlechťení. Pod zušlechťení spadá následné kalení a navazující popouštění na teploty 650-750 °C, kterým se snižuje pevnost, ale naopak zvyšuje tažnost. Dobrá korozní odolnost, která je předpokladem je také vhodná úprava povrchu, jaké dosáhneme mořením nebo jemným broušením a leštěním. Tyto oceli vyžadují velice vysokou odolnost proti opotřebení a trvanlivosti břitu. [20]

3.2.3 austenitické oceli

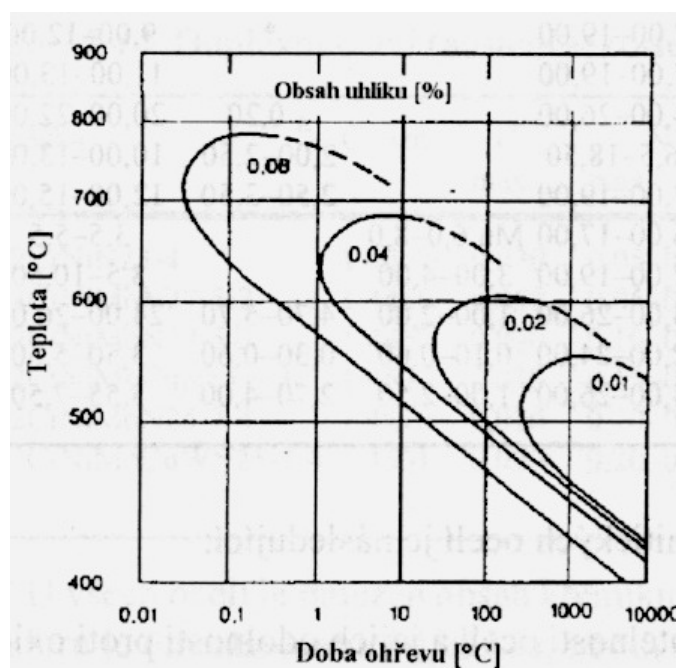
Nikl, mangan a popřípadě dusík podporují ve vysokolegovaných Cr ocelích austenitickou strukturu, která je stabilní nejen za normálních teplot, ale i za velmi nízkých minusových teplot. Nepřítomnost fázových změn činí tyto oceli citlivými k růstu zrna za vysokých teplot. Zhrubnutí zrna nevede však u austenitických ocelí ke křehnutí. Tažnost a houževnatost je u austenitických ocelí velmi významnou vlastností. [12]

Austenitické chrom – niklové oceli a vytvrditelné

Austenitická struktura vzniká při dostatečném obsahu austenitotvorných prvků, zejména Ni, Mn, N. Ve vhodném vyváženém množství austenitotvorných a feritotvorných prvků umožňuje udržet austenitickou strukturu i za normálních a záporných teplot. Jedny z prvních austenitických korozivzdorných ocelí obsahovaly 18 % Cr a 8 % Ni, ale pro zlepšení strukturní stability austenitu je v současnosti používán obsah 9 až 12 % Ni při obsahu 18 až 20 % Cr. [16]

Rozpustnost uhlíku v austenitu je 0,03 %, při vyšším obsahu uhlíku je potřeba austenitické Cr-Ni oceli podrobit rozpouštěcímu žíhání při teplotě 1050 °C a rychle ochladit. Tím se potlačí precipitace karbidů a získá austenitická struktura i u ocelí při obsahu uhlíku 0,1%. Oceli s vyšším obsahem uhlíku nejsou vhodné ke svařování. Vliv obsahu uhlíku, teploty a doby na zcitlivění nerezavějících ocelí k mezikrystalické korozi při ohřevu nám znázorňují tak zvané Rellasonovy diagramy. [7]

Pro zajištění svařitelnosti se musí stabilizovat Nb, Ta nebo Ti. Je možné je svařovat při obsahu uhlíku nad 0,03 %. Stabilizované oceli jsou nahrazovány svařitelnými oceli s nízkým obsahem uhlíku. [7]



Obr. 15 Rellasonovy diagramy [7]

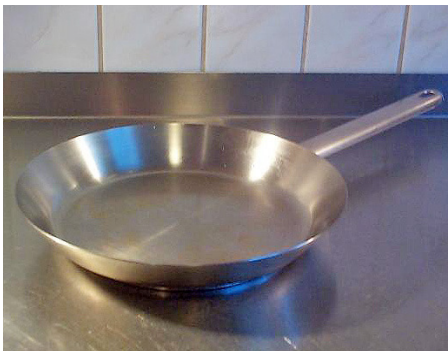
Austenitické chrom – manganové

Zde se pohybuje obsah manganu mezi 14 – 17 % a 12 – 30 % chromu. Je potřeba zde zvýšit obsah dusíku na 0,32 – 0,42 %, protože mangan zvyšuje rozpustnost dusíku v austenitu a obsah nikl se současně snižuje na koncentraci 1 - 2 %. Nikl se u některých ocelí považuje dokonce za nečistotu, která se dostává do ocelí při tavení. Protože vysoký obsah manganu způsobuje těžkosti při tavení a odlévání, taví se oceli této skupiny zřídka. [4]

Tepelně se zpracovávají rozpouštěcím žháním na teplotě 1100 °C s ochlazením do vody. Dusík rozpuštěný v austenitu zvyšuje mez kluzu, tak používání některých ocelí jako konstrukční je velice výhodná, ale až na problém při hlubokém tahu. Pevnost a mez kluzu je možné zvýšit tvářením za studena. [4]

Využití austenitických ocelí:

Tyto oceli se používají nejčastěji v potravinářském průmyslu ve strojírenství a při výrobě spotřebního zboží. V chemickém průmyslu naráží však na potíže, protože podléhají mezikrystalické korozi. Jejich odolnost proti celkové korozi je o něco nižší, ale v posledních letech byly vyvinuty oceli s maximálním obsahem uhlíku do 0,03 % a ty jsou odolné proti mezikrystalické korozi. [4]



Obr. 16 Použití austenitických ocelí v potravinářském průmyslu [23]

Tab. 8 Chemické složení austenitických ocelí podle normy ČSN EN 10283 [16]

Označení		Chemické složení v hmotnostních %									ekviva- lent ČSN*
značkou	číslem	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	N max.	
GX2CrNi19-11	1.4309	0,03	1,50	2,00	0,035	0,025	18,0 20,0	-	9,0 12,0	0,20	
GX5CrNi19-10	1.4308	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,0 20,0	-	8,0 11,0		422931
GX5CrNiNb19-11**	1.4552	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,0 20,0	-	9,0 12,0		
GX2CrNiMo19-11-2	1.4409	0,03	1,50	2,00	0,035	0,025	18,0 20,0	2,00 2,50	9,0 12,0	0,20	
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,0 20,0	2,00 2,50	9,0 12,0		422942
GX5CrNiMoNb 19-11-3**	1.4581	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,0 20,0	2,00 2,50	9,0 12,0		
GX5CrNiMo19-11-3	1.4412	0,07	1,50	1,50	0,040	0,030	18,0 20,0	3,00 3,50	10,0 13,0		
GX2CrNiMoN17-13-4	1.4446	0,03	1,00	1,50	0,040	0,030	18,0 20,0	4,00 4,50	12,5 14,5	0,12 0,22	

*Ekvivalenty ve starší ČSN mají povolený vyšší obsah uhlíku. **Oceli jsou stabilizované %Nb = 8 · [%C] až 1 %.

Vlastnosti austenitických ocelí

Základní fyzikální vlastnosti austenitických ocelí se týkají hustoty, tepelné vodivosti, měrného tepla, teplotní roztažnosti, elektrického odporu a termoelektrických vlastností. Zdůraznit je však třeba pokles za bodu tání za přítomnosti niklu v oceli. Austenitické oceli jsou po rozpouštění žíhání nemagnetické. [12]

Mechanické charakteristiky austenitických korozivzdorných ocelí závisí nejen na chemickém složení a tepelném opracování, ale i silně na stupni deformace za studena, úrovni tvrdosti a teplotě. Mez kluzu se pohybuje od 175 až do 250 MPa a mez pevnosti 500 – 700 MPa. Tažnost je mezi 40 – 50 %. [12]

Mají dobrou korozní odolnost v oxidačním prostředí a jsou špatně obrobitelné. Austenitické oceli mají největší korozivzdornost vůči martenzitickým a feritickým ocelím. Další zvýšení korozní odolnosti a mechanických vlastností je možné přísadou některých prvků např. zvýšení odolnosti proti kyselině sírové přidáním Cu, proti chlorovodíkové a chloridovým iontům přísadou Mo (2 – 4,5 %). Aby byla dosažena požadovaná korozní odolnost a mechanické vlastnosti, musí se přisazovat další legující prvky a pro zachování austenitické struktury musí být působení austenitotvorných a feritotvorných prvků vyvážené. Snaha nahradit nikl vedla k austenitickým ocelím, kde byl nahrazen nikl manganem nebo dusíkem. [7]

Tab. 9 Mechanické vlastnosti normovaných korozivzdorných ocelí austenitických ocelí a austeniticko-feritické oceli [20]

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
				N/mm ² min.					
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. 9 Mechanické vlastnosti normovaných korozivzdorných ocelí austenitických ocelí a austeniticko-feritické oceli - pokračování [20]

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
X2CrNi18-7	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	40		
		P	75	220	260	520/670	45		
		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	45		
		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 T D	30 160 20		260	540/740	35	ano	ano
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 T D	30 160 20		420	800/950	35	ano	ano
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	35		
		P	75	220	260	520/720	40		
		D, T	160	230	-	530/730	35		
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_{90mm} jinak A₂

3.2.4 Austeniticko – feritické oceli (duplexní oceli)

Tyto oceli obsahují cca 21 – 28 % Cr a 3,5 – 8 % Ni. Při daném chemickém složení oceli obsahují 40 -60 % feritu. V ocelích bývá omezen obsah křemíku do 1 %, obsah fosforu pod 0,035 % a síry pod cca 0,015 %. Tepelné zpracování je stejné jako u austenitických ocelí, ale mají větší mez kluzu než austenitické. Oceli jsou dobře svařitelné a mají dobrou odolnost proti mezikrystalické korozi. Jsou dobře obrobitelné při dobré houževnatosti. Korozní odolnost se snižuje v prostředích obsahujících aniony Cl, J, Br. [7]

Nevýhodou těchto ocelí je snížená strukturní stabilita, která omezuje použití těchto ocelí nad teplotu 300 °C. [17]

Charakterizovat vývoj nerezavějících ocelí je možné zvýšením odolnosti proti korozním prostředím obsahujícím chloridy a pro práci v mořské vodě. [7]

Hlavní směry vývoje:

- vysoká koncentrace prvků, které zvyšují odolnost proti bodové korozi, udává nám ji hodnota PRE > 40 (Pitting resistance Equivalent); [7]
- $PRE = \%Cr + 3,3 + Mo + 16 \text{ až } 30 \% N$; [7]
- obsah uhlíku pod 0,03 % (popřípadě 0,02 %) u austenitických a dvoufázových ocelí a obsah síry pod 0,03 %; [7]
- legování dusíkem až do 0,4% u tvářených ocelí a u ocelí na odlitky do 0,025 %; [7]
- vysoká čistota oceli pomocí pochody sekundární metalurgie; [7]
- výroba duplexní oceli; [7]

Podle PRE se rozlišují oceli na duplexní, super-duplexní a hyperduplexní. Tyto typy jsou pro náročnější aplikace. Všechny tyto typy představují vyhledávanou kombinaci vyšší pevnosti (oproti austenitickým ocelím) a dobré odolnosti proti korozi díky své dvoufázové mikrostruktuře, která se přibližně skládá z 50 % feritu a z 50 % austenitu. [24]

Vlastnosti duplexních ocelí

Pevností charakteristiky duplexních ocelí jsou zřetelně lepší, než u ryze austenitických ocelí a zvyšují se s obsahem feritu. Tažnost zůstává dobrou po rozpouštěcím žhání i při vysokých obsazích feritu. Jakmile se ferit stane ve struktuře oceli převažující se fází, klesá vrubová houževnatost. [12]

Při žhání duplexních ocelí lze pozorovat dvě teplotní oblasti, ve kterých probíhá vytvrzení:

- Mezi teplotami 700 - 1000°C vyvolané vylučováním fáze sigma, při níž lze sledovat křehkost, a proto není průmyslově využitelná a je zapotřebí se těmito teplotám vyhnout. [7]
- Mezi teplotami 350 – 550°C vyvolané stárnutím při 475°C, což je důležité pro zachování uspokojivé tažnosti a houževnatosti, ale jenom při krátkých časových výdržích. [7]

Austeniticko-feritické korozivzdorné oceli jsou vhodné na odlévání. Nevznikají trhliny při průběhu tuhnutí a dobrá slévateľnost umožňuje zhotovení kusů složitěho tvaru,

tenkého průřezu, což je mnohdy u korozivzdorných ocelí problematické. Duplexní oceli jsou na druhou stranu výrazně náchylné na oxidaci kovu během odlévání. [7]

Tepelné zpracování duplexních ocelí se skládá z rozpouštěcího žhání a ochlazování ve vodě. Mechanické vlastnosti je možno zvýšit tvářením v oblasti teplot 900 až 950°C. Mez kluzu se zvyšuje až na 420 - 480 MPa, plastické vlastnosti jsou vyhovující a také odolnost proti korozi pod napětím je vyšší, ale musíme i počítat, že po svařování se mění vlastnosti v okolí svaru. Jsou lépe obrobitelné než austenitické. [16,4]

Tab. 10 chemické složení austeniticko-feritických ocelí dle normy ČSN EN 10283 [16]

Označení		Chemické složení v hmotnostních %										
značkou	číslem	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	N	Cu	
GX6CrNiN26-7	1.4347	0,080	1,50	1,50	0,035	0,020	25,0 27,0	–	5,5 7,5	0,10 0,20	–	–
GX2CrNiMoN22-5-3	1.4470	0,030	1,00	2,00	0,035	0,025	21,0 23,0	2,50 3,50	4,5 6,5	0,12 0,20	–	–
GX2CrNiMoN25-6-3	1.4468	0,030	1,00	2,00	0,035	0,025	24,5 26,5	2,50 3,50	5,5 7,5	0,12 0,25	–	–
GX2CrNiMoCuN25-6-3-3	1.4517	0,030	1,00	1,50	0,035	0,025	24,5 26,5	2,50 3,50	5,0 7,0	0,12 0,22	2,75 3,50	
GX2CrNiMoN25-7-3*	1.4417	0,030	1,00	1,50	0,030	0,020	24,0 26,0	3,00 4,00	6,0 8,5	0,15 0,25	max. 1,00	
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	0,030	1,00	1,00	0,035	0,025	25,0 27,0	3,00 5,00	6,0 8,0	0,12 0,22	max. 1,30	

* ocel obsahuje navíc max. 1,00 % W

Použití

Na duplexní oceli připadá méně než 2 % z celosvětové výroby korozivzdorných ocelí, ale jejich podíl překvapivě velmi narůstá. Používají se hlavně při kombinaci mechanické pevnosti a vysoké korozní odolnosti. Takovým klasickým použitím jsou třeba odsolovací zařízení, ropný a plynárenský průmysl, ale i výroba celulózy a papíru. Také ve stavebnictví se můžeme těmito oceli setkat jako například mostní konstrukce, či přechody pro pěší v přímořských oblastech. [25]



Obr. 17 Výrobna papíru, Metso Paper, Vídeň (Rakousko) [25]

Tyto oceli nalézají použití také v prostředích anorganických kyselin, kyseliny sírové a fosforečné a v některých organických prostředích, mořské vodě i v chloridech pro svoji význačnou odolnost proti mezikrystalické, bodové a štěrbinové korozi a především pak proti koroznímu praskání. [12]

Duplexní oceli se používají také v automobilovém průmyslu, kde splňují snížení hmotnosti vozu vozů a jejich bezpečnostní řešení, ale také i vyřešení řady problémů spojeným s designem uspořádání vozu. [26]

4 ŽÁROUVZDORNÉ OCELI

Žárovzdorné oceli se v České republice se vyrábí jen ve specializovaných slévárnách. Mají vysokou odolnost proti oxidaci a korozi a dlouhodobé stále vlastnosti v horkých plynech. Odolnost proti oxidaci za vysokých teplot získávají legováním Cr, Si, Al, Ni. Při obsahu chrómu nad 13 % se tvoří oxid na povrchu obsahující železo a nikl. Nikl zlepšuje přilnavost vrstvy oxidů Cr, které ochraňují povrch před další oxidací. Podobně jako chróm vytvářejí oxidační vrstvy také hliník a křemík. [16]

Rozděluje je podle struktury na :

- Feritické – hlavním legujícím prvkem je chróm a jeho pozitivní účinek je posílen křemíkem a hliníkem. Nad 900 °C trpí oceli hrubnutím zrna s kombinací s křehnutím. [27]
- Austenitické – Obsahují minimálně 16,5% Cr s dostatečným množstvím Ni a Mn a také C (N) k dosažení austenitické struktury. [28]
 - Jsou náchylné na hrubnutí zrna při vysokých teplotách, mají zvýšené teploty a pevnost při tečení. Obrábění je mnohem obtížnější než u feritických ocelí. [27]
- Feriticko – austenitické - liší se obsahem chrómu a niklu. Značky s vysokým obsahem niklu se nehodí do prostředí s obsahem plynných sloučenin síry. [7]

Využití žárovzdorných ocelí

Žárovzdorná ocel se obecně používá v aplikacích, kde odolnost proti zvýšeným teplotám je velice důležitá. V průmyslových aplikacích zahrnujících pece, rošty, tepelné výměníky a spaloven, kde teploty mohou dosáhnout více jak 1100 °C. [29]

Tab. 11 chemické složení a mechanické hodnoty vybraných značek žárovzdorných ocelí [7]

Značka	Č. ozn.	Chemické složení oceli v [hm. %]				HB	$R_{p0.2}$	R_m	A
		C	Si	Cr	Ni	max.	min.	min.	[%]
Feritické žárovzdorné oceli									
X10CrAlSi7	1.4713	max. 0,12	0,50–1,00	6,00–8,00	–	192	220	420–620	20
X18CrN28	1.4749	0,15–0,20	max. 1,00	26,00–29,00		212	280	500–700	15
Austenitické žárovzdorné oceli									
X10CrNiTi18-10	1.4878	max. 0,10	max. 1,00	17,00–19,00	9,00–12,00	192	190	500–720	40
X15CrNiSi25-21	1.4841	max. 0,20	1,50–2,50	24,00–26,00	19,00–22,00	223	230	550–750	30
X10NiCrAlTi32-21	1.4876	max. 0,12	max. 1,0	19,00–23,00	30,00–34,00	192	200	450–680	30
X25CrMnNiN25-9-7	1.4872	0,20–0,30	Mn	24,00–26,00	6,00–8,00	311	500	850–1050	25
			8,00–10,0						
Austeniticko-feritické žárovzdorné oceli									
X15CrNiSi25-4	1.4821	0,10–0,20	0,80–1,50	24,50–26,50	3,50–5,50	235	400	600–850	16

5 ŽÁRUPEVNÉ OCELI

Žárupevné oceli se používají v rozmezí teplot 600 - 650°C, kdy kromě žárupevnosti požadují žáruvzdornost. Jejich vlastnosti a také chemické složení jsou velice podobné jako u žáruvzdorných ocelí. [4]

Celá řada variant těchto ocelí s upraveným chemickým složením a modifikovaným molybdenem, wolframem, vanadem, niobem, titanem je označována jako žárupevné oceli, které též oplývají odolností proti vodíkové korozi při teplotách nad 600°C se již nevyrovnávají austenitickým ocelím. [12]

6 VÝROBA VYSOKOLEGOVANÝCH CHROMOVÝCH OCELÍ

Nejčastější se ve slévárnách výroba vysokolegovaných ocelí provádí v elektrických obloukových pecích (EOP) a v elektrických indukčních pecích (EIP). V některých případech, když je slévárna vybavena prvky sekundární metalurgie, slouží EOP nebo EIP pouze k tavení případně k oxidaci a další fáze redukce a dohotovení probíhají již v některém zařízení sekundární metalurgie, které je umístěno mimo tavící agregát [16]

Větší množství typů korozivzdorných ocelí ke tváření se používá i jako ocel na odlitky. Vlastnosti litých ocelí na odlitky jsou dány podmínkami tuhnutí, tj. zejména rychlostí ochlazování a chemickou heterogenitou, která vzniká při chladnutí a tuhnutí oceli. Tváření a následujícím tepelným zpracováním lze snížit chemickou heterogenitu legovaných ocelí a zjemnit zrna. [16]

U korozivzdorných ocelí na odlitky je třeba zajistit minimální obsahy legujících prvků ve všech místech odlitky, s ohledem na korozivzdornost, čehož dosáhneme vyšší koncentrací legujících prvků. S ohledem na heterogenitu matrice je proto nutné oceli na odlitky legovat výše než oceli ke tváření. [16]

U vysokolegované oceli jsou požadovány specifické vlastnosti jako například korozivzdornost, odolnost proti opotřebení, odolnost proti oxidaci za vysokých teplot, vysoká houževnatost za velmi nízkých teplot. Těchto vlastností se docílí legováním na vysoké koncentrace, zejména chromem, niklem a manganem. [16]

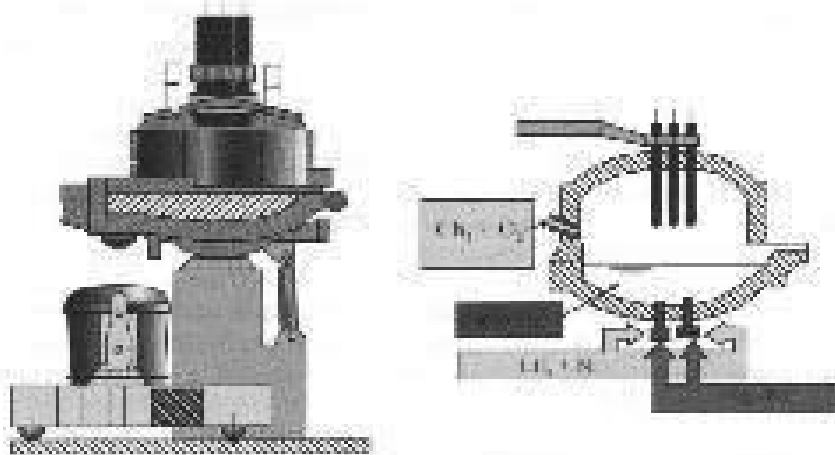
6.1 Výroba v zásaditých obloukových pecích (EOP)

Při výrobě vysokolegovaných ocelí v zásaditých obloukových pecích lze doporučit dvě technologie. První předpokládá tavení z nelegované vsázky, kdy kov je metalurgicky zpracován odfosfořením (odsířením a odplyněním), aby vratný materiál obsahoval co nejnižší obsah fosforu. Poté je na potřebovanou hranici dolegován legujícími prvky (chrom, mangan). [16]

Druhá technologie je z legované vsázky s obsahem chromu případně chromu a niklu. Výhodné je sestavit vsázku pouze z vratného materiálu a to z legovaného a nelegovaného ocelového odpadu s ohledem na zaručený nízký obsah uhlíku a fosforu. [16]

V obou případech se používá k oxidaci kyslík a jedno z nejdůležitějších úkolů je snížení obsahu uhlíku, což je u korozivzdorných ocelí obvykle nižší než 0,07 % obsahu uhlíku. Před zahájením dmýchání kyslíku je zapotřebí dosáhnout teplotu, při které je rovnovážná aktivita kyslíku s uhlíkem nižší, než s chromem. [16]

Obr. 18 Schématické znázornění konstrukcí EOP (pec s půdním odpichem) – vlevo, EOP (pec s hořáky) – vpravo [16]



K dosažení nízkých obsahů uhlíku je nutné oxidovat taveninu na co nejnížší obsah uhlíku při ztrátách chrómu, které jsou ekonomicky přijatelné a v další fázi tavby snížit minimum nauhličení grafitovými elektrodami. U obloukových pecí nelze zcela vyloučit nauhličení grafitovými elektrodami, protože při korozi povrchu grafitových elektrod dochází k odpadávání uvolněných zrn grafitu na strusku. Nauhličení lázně je pak větší, čím je menší poměr mezi hmotností tavby a hmotností grafitových elektrod a také čím déle trvá údobí do konce oxidace do odpichu. [16]

Fosfor je u korozivzdorných ocelí nežádoucím prvkem a jeho odstraněním oxidací ve formě oxidu fosforečného do strusky není možné s ohledem zejména na nízkou aktivitu FeO ve strusce. Proto je potřeba věnovat pozornost složením vsázky a používat jen suroviny o známém složení s nízkým obsahem fosforu. [16]

Lázeň se na začátku oxidace ohřívá na teplotu 1620°C s obsahem C 0,05%. Při vyhovující teplotě začne dmýchání kyslíku. Dmýcháním má nastartovat uhlíkový var ihned po oxidaci křemíku. Při obsahu uhlíku pod 0,01% klesá množství vznikajícího oxidu uhelnatého. Proces dmýchání se ukončí, jakmile začne tuhnout struska. Houstnutí strusky signalizuje oxidace chrómu. Na konci dmýchání dosahuje obsah uhlíku 0,05 - 0,08%. Po dosažení uhlíku pod 0,05 % je nutné dmýchání ukončit při teplotách 1900°C. Během oxidace klesá obsah chrómu o 2 - 3 %. [16]

Po ukončení oxidačního údobí se provádí redukce strusky prostřednictvím silikochromu, ferosicilia případně silikokalcia a dezoxidace kovu hliníkem. Dezoxidovat strusku je nutné hned po ukončení dmýchání, protože struska s vyšším obsahem oxidů chrómu rychle s poklesem teploty houstne a dezoxidace strusky se stává méně účinnou. [16]

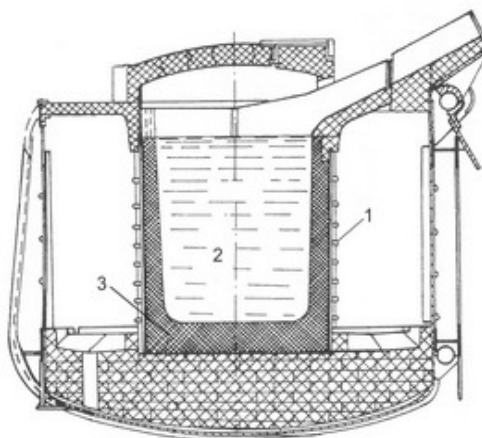
Do pece se přidává předpokládané množství ferochromu k dolegování, aby se lázeň ochladila, protože po oxidaci je dosaženo teploty lázně okolo 1850°C. Po dolegování a dosažení odpichovací teploty se provede následný odpich do pánve společně s konečnou dezoxidací kovu v pánvi pomocí hliníku. [16]

6.2 Výroba v indukčních pecích

Existují legované oceli, které nelze ekonomicky vyrábět v obloukových pecích (korozivzdorné oceli s obsahem uhlíku pod 0,05%), proto je tento sortiment možné vyrábět právě v indukčních pecích. [16]

Indukční pece mají oproti pecím obloukovým nižší zpracovací náklady na výrobu tekuté oceli. Rozdíl ve zpracovacích nákladech u obou pecních agregátů roste u legovaných ocelí s rostoucí koncentrací legujících prvků. Nevýhodou indukčních pecí jsou vyšší požadavky na chemické složení a kusovitost vsázky a na její znečištění nekovovými přísadami. Vyšší požadavky na jakost vsázky se samozřejmě mohou promítnout do ceny vsázky. [16]

Pro slévárnu je dobré mít oba typy elektrických pecí, indukční pece pak zpracovávají vlastní vratný materiál. Vratný materiál se zpracovává z důvodu nižších propalů ekonomičtější než v obloukových pecích. [16]



Obr. 19 Schéma elektrické indukční pece [30]

Na obr. 19 je uvedena elektrická indukční pec s vertikálně uspořádaným tavicím žlábkem - mřížovým induktorem (1) se přivádí střídavý proud, přechodem indukovaného proudu mezi (1) a kovem (2) v kelímku (3) se kov ohřívá a taví. [30]

Výhody EIP oproti EOP

Výroba oceli v kyselých obloukových pecích ve srovnání s pecemi zásaditými se vyznačuje až o 20% nižšími zpracovacími náklady, které vyplývají z kratší doby tavy, proto je jednodušší technologický postup vedení tavy. [16]

Proto dochází k úsporám:

- elektrické energie, které mohou být nižší až o 20%; [16]
- grafitových elektrod až o 25%; [16]
- mzdových nákladů; [16]

Dalšími úspory vznikají:

- nižší náklady na žáruvzdorný materiál; [16]
- nižší náklady na nekovové přísady; [16]
- nižší náklady na odvoz a deponování strusky (v kyselých obloukových pecích vzniká menší množství strusky); [16]

Postup tavení

Na dno pece se nejčastěji sype Ni a Cr a následuje nelegovaný odpad a vratný materiál až na konec. Na konci tavby se nedoporučuje přisazovat příliš hmotné kusy nebo pakety plechu na možné zamrznutí pece. Po roztavení se odebírá zkouška na chemický rozbor, ale také před tímto odběrem je potřeba zkontrolovat, zda je veškerá vsázka roztavena jinak dojde ke zkreslení výsledků. Na základě výsledků z odebírané zkoušky chemické analýzy se tavba doleguje. K dezoxidaci se používá jako při výrobě v obloukových pecích hliník, případně kombinace hliníku a silikokalcia. Pro stabilizaci se používá ferotitan, který se přidá buď těsně před odpichem po stažení strusky, nebo až do pánve. Tato ocel legovaná titanem se často špatně odlévá. Niob a tantal se používá také na stabilizaci. [16]

7 ZÁVĚR

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

Korozivzdorné oceli souvisí s pojmem koroze, kterou jsem také rozvedl v kapitole 2, kde jsou popsány nejčastější druhy a mechanismy koroze. V další kapitole byla uvedena stručná historie a rozdělení korozivzdorných ocelí. Rozdělení bylo provedeno na základě struktury oceli. Každá korozivzdorná ocel má jiné fyzikální vlastnosti, mechanické vlastnosti a oblasti použití, proto byla každá skupina rozebrána samostatně. V závěru byly shrnuty některé poznatky z oblasti výroby vysokolegovaných ocelí s využitím elektrických obloukových a indukčních pecí.

Vysokolegované oceli jsou světově v mnoha různých odvětvích používány a mají nezastupitelné místo díky svým vlastnostem. Vývoj těchto ocelí jde neustále dopředu a vyvíjí se další odolnější a ekonomicky levnější vysokolegované chromové oceli také s ohledem na životní prostředí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SANDVIK MATERIALS TECHNOLOGY. Výrobky z nerezové oceli, speciálních slitin, titanu, zirkonu a odolných materiálů [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.smt.sandvik.com/cz>
- [2] ROZDĚLENÍ KOROZIVZDORNÝCH MATERIÁLŮ [online]. 2012 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/files/01_kkm_rodeleni_korozivzdornych_materialu.pdf
- [3] EURO INOX. Žárovzdorné oceli odolné proti korozi [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: http://mobile.euro-inox.org/map/heat_resisting_stainless_steels/CZ_heat_resisting_stainless_steels.php
- [4] FREMUNT, Přemysl. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, 1996, 261 s. ISBN 80-858-6795-8.
- [5] Koroze. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-02-03]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze>
- [6] Chemické pokusy pro základní školy - III. díl: Koroze [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.iqmedia.cz/default.asp?s=pokusy>
- [7] PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
- [8] HOUDKOVÁ ŠIMŮNKOVÁ, Šárka, Radek Enžl ENŽL a Olga BLÁHOVÁ. Žárové nástřiky: Koroze [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.kmm.zcu.cz/CD/content/2.html>
- [9] Mecanisme passivation inox cs.svg. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Mecanisme_passivation_inox_cs.svg
- [10] ATLAS KOROZNÍHO NAPADENÍ A POVRCHOVÝCH ÚPRAV. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/_aktuality/Atlas_korozniho_napadeni.pdf
- [11] KOROZNÍ INŽENÝRSTVÍ. Druhy koroze [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/uvod.htm#obr5
- [12] ČÍHAL, Vladimír. Korozivzdorné oceli a slitiny. 1. vyd. Praha: Academia, 1999, 437 s. ISBN 80-200-0671-0.

- [13] Koroze a ochrana materiálů. [online]. [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: http://www.stefanmichna.com/download/opory/koroze_a_ochrana_materialu.pdf
- [14] The Discovery of Stainless Steel. [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: http://www.bssa.org.uk/about_stainless_steel.php?id=31
- [15] Korozivzdorná ocel. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Korozivzdorn%C3%A1_ocel
- [16] ZÁDĚRA, Antonín, Jaroslav ŠTENBERGER, Zdeněk BŮŽEK, Karel STRÁNSKÝ a Václav KAFKA. Metalurgie oceli na odlitky. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2008, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
- [17] Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály [online]. [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf
- [18] ČESKÝ SVÁŘEČSKÝ ÚSTAV, Ostrava. Technologie svařování: SVAŘOVÁNÍ VYSOKOLEGOVANÝCH OCELÍ [online]. [cit. 2013-02-04]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1_2007.pdf
- [19] ŠENBERGER, Jaroslav. Výroba legovaných ocelí v zásaditých obloukových pecích [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: www.zam.fme.vutbr.cz/~senberger/doc/prednaska_6.doc?
- [20] EURO INOX. Korozivzdorné oceli - vlastnosti [online]. [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf
- [21] EURO INOX. Řešení je feritické [online]. 2009 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: www.euro-inox.org/pdf/map/The_ferritic_solution_CZ.pdf
- [22] KATEDRA MECHANICKÉ TECHNOLOGIE. Hluboké tažení [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.345.vsb.cz/jirihruby/TTV/53AnHITah.pdf>
- [23] Korozivzdorná ocel: Austenitická korozivzdorná ocel. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Pfanne_%28Edelstahl%29.jpg
- [24] ESAB. Svařování duplexních nerezavějících ocelí: Úplný sortiment pro svařování všech duplexních ocelí a jejich svařovací postupy [online]. [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: http://products.esab.com/ESABImages/1_Duplex_nerezavejici_oceli.pdf

- [25] EURO INOX. Austeniticko-feritické (duplexní) oceli [online]. [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: http://mobile.euro-inox.org/map/austenitic-ferritic/CZ_austenitic-ferritic.php
- [26] ELECTROVEK STEEL. Duplexní nerezové oceli [online]. 2009 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.evek.cz/articles/2009/12/dvuhfaznaya-nergaveyushchaya-stal.html>
- [27] VERLAG DASHÖFER. Austenitické vysokolegované žáruvzdorné oceli [online]. 2011 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.dashofer.cz/download/pdf/svk/svk_ukazka1.pdf?wa=WWW13IX
- [28] OUTOKUMPU NIROSTA. Tepelně odolné oceli [online]. 2000 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://www.thyssenkrupp-nirosta.de/fileadmin/media/PDF/thermax_en.pdf
- [29] Masteel: Heat Resistant Steel. [online]. [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: http://www.masteel.co.uk/heat_resistant_steel.htm
- [30] INSTITUT GEOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ. Výroba železa a oceli: Historie výroby železa [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html
- [31] Citace.com [online]. 2004 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.citace.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Cr_{ek}	ekvivalent chrómu [-]
EIP	kyselá indukční pec
EOP	zásaditá oblouková pec
LDR	mezní stupeň tažení
Ni_{ek}	ekvivalent niklu [-]
PRE	Pitting restitance Equivalent [-]
H	hloubka [m]
s	šířka [m]

