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 POUŽITÍ ODLITKŮ Z VYSOKOLEGOVANÝCH OCELÍ

MANUFACTURE AND USE OF HIGH-ALLOY STEEL CASTINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE DAVID KOLÁČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. VÍTĚZSLAV PERNICA
SUPERVISOR

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Koláček

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 použití odlitků z vysokolegovaných ocelí

v anglickém jazyce:

Manufacture and use of high-alloy steel castings

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V oblasti vysokolegovaných ocelí zaujímají korozivzdorné oceli významné místo. Tyto oceli představují segment metalurgické výroby s nejrychlejším růstem. Práce se zaměří na přehled, vlastnosti a výrobu korozivzdorných ocelí s příklady využití odlitků z těchto materiálů.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je literární rešerše pojednávající přehledně o druzích, vlastnostech, možnostech výroby, zpracování korozivzdorné oceli a dále také přednostech využití odlitků z antikorozních ocelí v průmyslu na základě posledních publikací v odborné literauře.

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 80-7204-248-3.
3. ČÍHAL, V. Korozivzdorné oceli a slitiny. Praha: Academia, 1999. 438 s. ISBN 80-200-0671-0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vítězslav Pernica

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

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce shrnuje poznatky o materiálové problematice korozivzdorných ocelí na odlitky. V úvodu jsou rozebrány příčiny vzniku koroze, její vliv na kovový materiál a je zde vysvětlen samotný vznik korozivzdornosti. Následně se práce zaměřuje na rozdělení korozivzdorných ocelí podle struktury i chemického složení. Uvádí přehled jejich vlastností a možnosti jejich vhodného využití. Dále seznamuje s některými postupy výroby korozivzdorných ocelí na odlitky. Na závěr práce jsou uvedeny některé ukázky využití odlitků z korozivzdorných ocelí v praxi.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Korozivzdorné oceli, koroze, výroba odlitků, odlitky z korozivzdorných ocelí

ABSTRACT

This thesis includes material issue-knowledge of stainless steel cast. In the first part of thesis are analysed the causes of corrosion, its impact on metal material and is explained the creation of corrosion resistance.The next part of thesis introduces separation of stainless steel based on structure and chemical composition, explains its properties and its possibilities of using in practise. The thesis also explain some production processes of the stainless steel cast. In the final part of thesis are illustrated some possibilities of using stainless steel in practise.

KEY WORDS:

Stainless steel, corrosion, the production of cast, stainless steel cast

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLÁČEK, D. *Výroba a použití odlitků z vysokolegovaných ocelí.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vítězslav Pernica.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma VÝROBA A POUŽITÍ ODLITKŮ Z VYSOKOLEGOVANÝCH OCELÍ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu použité literatury a na základě konzultací pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24. 5. 2013 …….

David Koláček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Vítězslavu Pernicovi za jeho cenné připomínky, rady a ochotu spolupráce při řešení problematiky bakalářské práce. Dále bych také rád poděkoval všem rodinným příslušníkům, kteří mne podporovali při psaní bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT
PROHLÁŠENÍ
PODĚKOVÁNÍ
OBSAH
1. ÚVOD ... 8
2. HISTORIE KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ ... 9
3. KOROZE KOVŮ ... 10
3.1 Rozdělení korozního děje podle mechanizmu vzniku ... 10
3.1.1 Chemická koroze ... 10
3.1.2 Elektrochemická koroze ... 11
3.2 Ochrana proti korozi a vznik korozivzdornosti ... 12
4. OCEL A JEJÍ ROZDĚLENÍ A ZNAČENÍ ... 13
5. KOROZIVZDORNÉ OCELI ... 16
5.1. Martenzitické korozivzdorné oceli ... 18
5.1.1 Martenzitické korozivzdorné oceli bez niklu ... 19
5.1.2 Martenzitické korozivzdorné oceli s niklem ... 20
5.1.3 Supermartenzitické oceli ... 20
5.1.4 Přehled vlastností martenzitických korozivzdorných ocelí ... 20
5.2 Feritické korozivzdorné oceli ... 21
5.2.1 Feritické 13% chromové korozivzdorné oceli ... 21
5.2.2 Feritické 17% chromové korozivzdorné oceli ... 21
5.2.3 Feritické 25% chromové korozivzdorné oceli ... 22
5.2.4 Superferity ... 22
5.2.5 Přehled vlastností feritických korozivzdorných ocelí ... 22
5.3 Austenitické korozivzdorné oceli ... 23
5.3.1 Chromniklové austenitické korozivzdorné oceli ... 23
5.3.2 Chromniklmolybdenové austenitické korozivzdorné oceli ... 23
5.3.3 Chrommanganové austenitické korozivzdorné oceli ... 24
5.3.4 Austeniticko-feritické korozivzdorné oceli ... 24
5.3.5 Přehled vlastností austenitických korozivzdorných ocelí ... 24
5.3.6 Legující prvky a jejich vliv na vlastnosti austenitických korozivzdorných ocelí ... 25
6. VÝROBA ODLITKŮ Z KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ ... 26
6.1 Hlavní metalurgické úkoly při výrobě korozivzdorných ocelí ... 26
6.2 Výroba korozivzdorných ocelí v elektrických obloukových pecích (EOP) ... 27
6.3 Výroba korozivzdorných ocelí v elektrických indukčních pecích (EIP) ... 28
6.3.1 Přehled předností EIPK středofrekvenční ve srovnání s EOP ... 29
6.4 Sekundární metalurgie ... 30
7. POUŽITÍ ODLITKŮ Z KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ V PRAXI ... 32
8. ZÁVĚR ... 39
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY ... 40
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ ... 43

1. ÚVOD

Kovy doprovází vývoj lidstva již odpradávna a znalost kovů je doložena nesčetnými nálezy už ze starší doby kamenné. Znalost oceli, začneme-li ji sledovat od její historicky nejproslulejší podoby jako damascénské, je součástí lidského vývoje již několik tisíciletí. Od té doby již ve světě existuje více než 2000 druhů nejrůznějších ocelí, ale více než polovina jich byla vyvinuta teprve v několika posledních desetiletích.
Mezi nejmladší ocelové materiály patří korozivzdorné oceli. K jejich objevení došlo přibližně před 100 lety, ale od té doby si našly široké uplatnění. S jejich objevením docházelo v některých průmyslových odvětvích k renovacím, kdy původně využívané materiály byly nahrazovány právě korozivzdornými ocelemi. Týká se to především energetického, potravinářského a chemického průmyslu. V posledních letech se staly dokonce nedílnou součástí do té míry, že jsou zařízení v těchto odvětvích průmyslu přednostně vyráběny z korozivzdorných ocelí.
Předložená práce se zabývá výrobou, vlastnostmi a použitím korozivzdorných ocelí, které spadají do oblasti vysokolegovaných ocelí.

Obr. 1.1 Odlitky z korozivzdorných ocelí [1]

2. HISTORIE KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

Kdy lidé poprvé zpozorovali korozní napadení kovů nelze přesně určit, ale z dochovaných historických pramenů víme, že staří Egypťané znali některé kovy (měď, cín, železo, olovo, antimon) a využívali je pro nejrůznější potřeby, od zbraní a nářadí po zdobení a drobné šperky. Lze se tedy domnívat, že znali citlivost těchto kovů ke koroznímu napadení v některých prostředích. První zmínky o změně kovových materiálů, o kterých lze s určitostí říci, že si lidé byli vědomi korozního napadení, se pohybují okolo data 400 př.n.l. Dokazují to zápisky řeckého filozofa Platona, který popsal rez jako sloučeninu železa. Další zmínky existují od vědce Plinia a architekta Vitruvia, kteří poznamenávají, že Římané znali rez a problematiku korozi, když se zabývali ochranou stavebních konstrukcí. [2]

Jednou z nejznámějších starověkých metalurgických kuriozit je železný sloup v Dillí, vážící přibližně 6 tun, který lze datovat z 5. nebo 6. století (obr. 2.1). Z 98 % jej tvoří železo, ve kterém se nachází minimum sloučenin síry a větší obsah fosforu. Ten vytváří téměř na celém povrchu sloupu modročernou vrstvičku o tloušťce 0,05 mm, která chrání kovový materiál pod ní. Pouze malý kus od země mírně koroduje, změnu barvy lze pozorovat i na **obr. 2.1** (část sloupu, která je v zemi je silně zkorodovaná). Vědci prokázali, že sloup před zkorodováním výrazně chrání také suché a teplé podnebí, které v Dillí panuje, pro tehdejší slévače ovšem pouhá shoda náhod. Jelikož má sloup vysokou tepelnou kapacitu, tak i při nočním chladu se na jeho povrchu nesráží vlhkost a v kombinaci s modročernou vrstvičkou ho chrání proti zkorodování a tak lze tomuto sloupu přičíst stáří vyšší jak neuvěřitelných 1600 let. [3]

Obr. 2.1 Sloup v Dillí [4]

Teprve začátkem 15. století se s velikým rozvojem vodních staveb objevují informace o rozrušování kovů. Přibližně až o 200 let později, počátkem 17. století, byly z litiny stavěny například velké vodovody, které však byly extrémně ničeny korozí. Bylo nutné se s tímto výrazným problémem vypořádat a zvýšit korozní odolnost železných výrobků a tak došlo k zavedení cínování. V Čechách lze začátky využívání cínování železa datovat už od roku 1000 n.l. O další pokrok vedoucí k ochraně kovových materiálů se zasloužil anglický vévoda královského dvora Ruprecht, který chránil železo povlakem mědi. Od té doby bylo vysloveno nejrůznějšími vědci, inženýry a fyziky mnoho teorií (např. Lavoiser - kyslíková teorie, kde předpokládá, že hlavní podstatou tvorby rzi je kyslík) a provedeno nespočet pokusů, které vedly k tomu, že roku 1821 byla poprvé, anonymně a později roku 1830 De la Rivem, koroze popsána jako elektrochemický děj. Následně se vědci zaměřují více na konkrétní problémy (např. Faraday – vztah mezi Voltovým proudem a chemickými reakcemi) a asi od roku 1845 byl poprvé pevně zaveden pojem koroze, který pochází z latinského slova corrodere (lze přeložit jako rozhryzat nebo rozežírat). Roku 1882 Ackermann poukázal na to, že elektrochemicky pozitivní složky ve slitinách podporují sklon ke korozi a

naopak elektricky negativní složky sklon ke korozi zmírňují. Právě tento objev vedl některé vědce, považované za objevitele korozivzdorných ocelí, jako například Hadfielda, Strausse, Mauera, Tammanna, pozorovat odolnost slitin Fe-Cr proti korozi, při nejrůznějších obsazích chromu. První údaje o minimálním obsahu chromu ve slitinách, který zaručoval korozivzdornost, pak uvedl Tammann v roce 1923. Dalším objevem byla metoda sloužící ke snížení obsahu uhlíku ve slitinách, která vedla k rozsáhlému metalurgickému výzkumu slitin železa s chromem, tento výzkum je úzce spojen se jmény Strauss, Mauer, Guillet. Od těchto objevů již bylo lidstvo vzdáleno jen malý krůček k průmyslové výrobě korozivzdorných ocelí. [2]

3. KOROZE KOVŮ

Koroze kovů byla již od prvního použití kovových materiálů velikým problémem. Z převážné většiny je korozním prostředím atmosféra. S postupným vývojem nových technologií, ve kterých mají kovové materiály své významné zastoupení, jsou kladeny mnohem vyšší požadavky právě na odolnost kovu vůči korozi v nejrůznějších agresivních prostředích, počínaje od metalurgického, chemického až po potravinářský průmysl. [2]

Agresivita jednotlivých prostředí je odlišná a můžeme pozorovat její vlastnosti ať už mechanizmem koroze nebo intenzitou degradačních účinků. [5]

Korozí kovů, obecně z fyzikálně-chemického hlediska, rozumíme reakci, která ve své podstatě představuje chemický nebo elektrochemický děj uskutečňující se mezi kovovým materiálem a okolním prostředím. Tyto děje můžeme pozorovat nejen u kovových materiálů, ale i u materiálů nekovových, které jsou zastoupeny například plasty, keramikou a další. [5], [6]

Na základě těchto reakcí dochází postupně ke zhoršení původních vlastností kovu, až dojde k úplnému znehodnocení kovu. Tato změna původních vlastností může způsobit ztrátu funkčnosti kovu, okolního prostředí či celého systému, kterého jsou kov i prostředí součástí. [5], [6]

Aby se předešlo vzniku korozi, je nezbytná důkladná analýza a studie korozního napadení materiálu. Tato korozní napadení můžeme roztřídit z mnoha pohledů: podle korozního prostředí, podle vzhledu, podle místa vzniku, podle fyzikálních podmínek vzniku, podle korozních produktů, podle rozsahu poškození, podle rychlosti vzniku, podle druhu chemické reakce, podle hlavního poškozovacího děje a dalších) [2], [5]

3.1 Rozdělení korozního děje podle mechanizmu vzniku

3.1.1 Chemická koroze

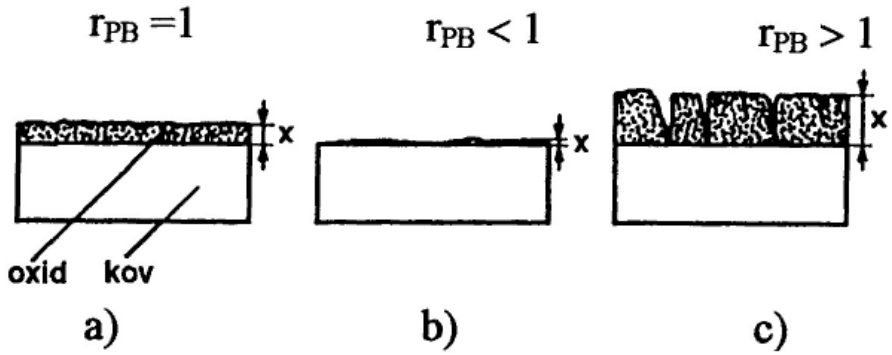
Pro chemickou korozi, při které oproti elektrochemické korozi dochází pouze k chemickým reakcím, jsou charakteristická elektricky nevodivá kapalná prostředí (organické kapaliny, např. ropa) a plynná prostředí za normálních teplot (např. atmosférické podmínky) tak i za vyšších teplot (např.: oxidace kovu v prostředí přehřáté páry). [5], [7]

Výsledkem chemické koroze bývá zpravidla vytvoření korozního produktu, tenké vrstvy tvořené nejčastěji oxidy kovů, ale také jinými sloučeninami (např.:

uhličitany, sírany nebo chloridy), která vzniká přímo v místě reakce. Tato vrstva může mít i ochranný charakter, který určíme z Pilling-Bedwordova čísla:

$$r_{PB} = \frac{V_m}{V_a}$$

kde V_m představuje molární objem oxidu korozního produktu a V_a představuje atomární objem kovu.[7]



Obr. 3.1 Tloušťka a charakter oxidické vrstvy v závislosti na hodnotě Pillingova-Bedwordova čísla. [7]

Pokud je $\mathbf{r_{PB}} < 1$, nevytváří se celistvá ochranná vrstva, vrstva nemá ochranný charakter (**b**), pokud je $\mathbf{r_{PB}} \geq 1$, vzniká povrchová vrstva, která je souvislá a má dobré ochranné vlastnosti (**a**), pokud je $\mathbf{r_{PB}} >> 1$, dochází k porušení celistvosti vrstvy, k jejímu praskání a odlupování, vrstva již dostatečně nechrání (**c**). [7]

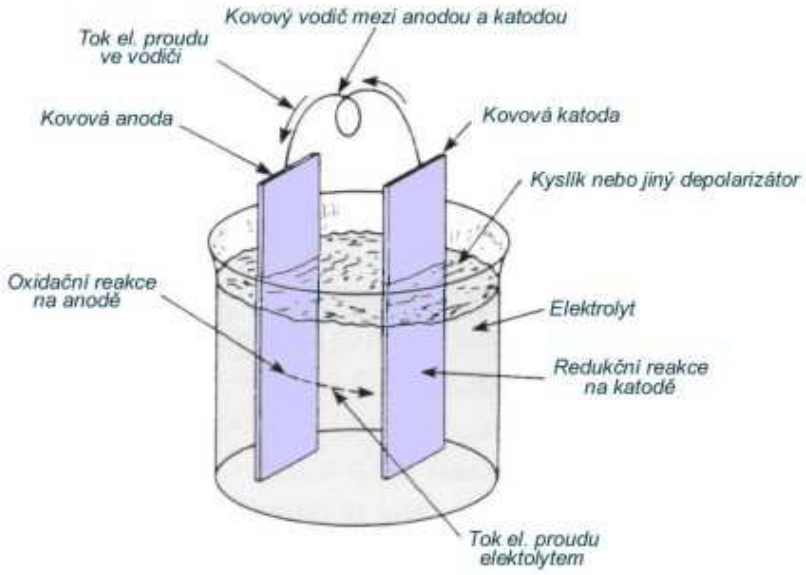
3.1.2 Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze je umožněna existencí iontů, které vzniknou rozpadem iontových látek na jednotlivé ionty neboli disociací, korozního prostředí. Elektrochemická koroze tedy většinou probíhá při styku kovu s elektricky vodivým kapalným prostředím neboli elektrolytem, tj. roztoky kyselin, zásad a solí. Elektrochemickou korozi tak lze určit jako proces znehodnocování materiálu, při kterém vzniká elektrický proud. Každá elektrochemická korozní reakce může být rozdělena na dvě dílčí reakce, anodovou a katodovou. [5], [8]

Při anodové reakci dochází k oxidaci kovu a tedy k vlastní korozi. Při katodické reakci jsou v roztoku redukovány některé oxidující složky korozního prostředí. Jestliže je anodová reakce zdrojem elektronů, pak katodová reakce musí stejné množství elektronů spotřebovávat, aby děj mohl pokračovat. [5], [8]

Při přechodu iontů kovů do roztoku vzniká v kovu přebytek záporných nábojů, protože elektrony, které v kovu zbyly, nepřecházejí do roztoku a zůstávají v kovu. To vyvolá vznik vzájemných přitažlivých sil. Pokud nenastane zrušení těchto vzájemných přitažlivých sil, neboli vybití, a kov zůstává záporně nabitý, dochází ke zpomalení koroze. V takovém případě lze říci, že děj rozpouštění kovu je zpolarizován. Aby mohl děj rozpouštění kovu pokračovat bez jakéhokoliv omezení, je nutno zrušit vzájemné přitažlivé síly elektronů a iontů kovu. Za tím účelem se provádí vybití neboli

depolarizace. Depolarizace docílíme například propojením obou elektrod vodičem, jak je tomu například na **obr. 3.2.** [6], [8]



Obr. 3.2 Princip průběhu elektrochemické koroze [9]

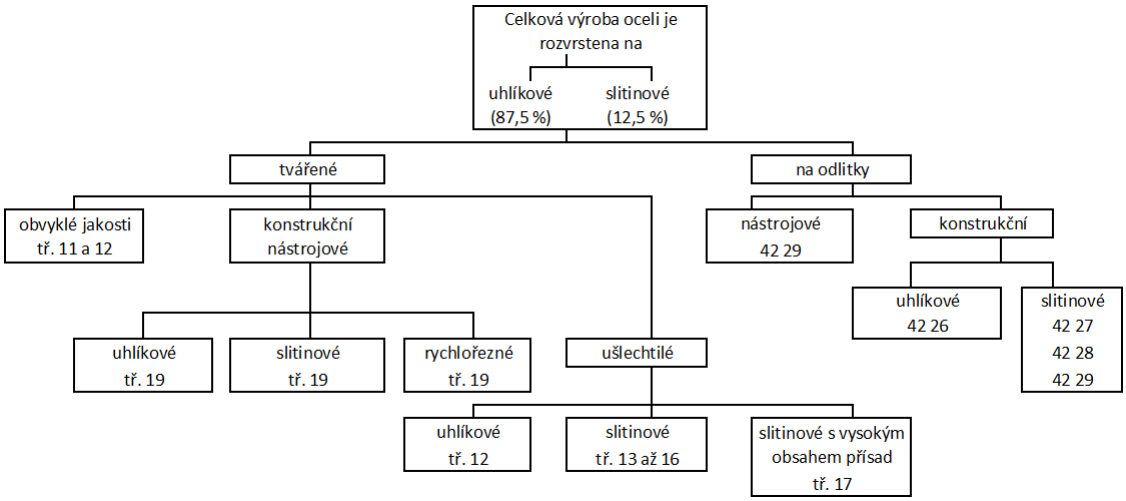
3.2 Ochrana proti korozi a vznik korozivzdornosti

Můžeme se setkat i s jiným jevem, který je zodpovědný za zpomalení nebo úplné zastavení korozního děje v prostředí s oxidačním charakterem, a to s pasivitou. Pasivita kovů je z hlediska protikorozní ochrany jevem velmi vítaným, projevuje se tenkou ochrannou povrchovou vrstvou, v místě korozního děje. Tato ochranná vrstva je tvořena většinou z velmi stabilních ušlechtilejších oxidů s vysokou korozní odolností. Tato vrstva zamezuje přímému kontaktu korozního prostředí s kovem, činní tak kov z celkového pohledu vůči korozním prostředí korozivzdorným. Ovšem i když je dosaženo pasivity korozivzdorných ocelí vůči celkové korozi, existují i různá specifická prostředí, ve kterých se lze setkat se vznikem některých lokálních druhů koroze (např.: štěrbinová koroze, bodová koroze, mezikrystalová koroze a jiné). [2], [5], [8]

Pro výrobu korozivzdorných ocelí používáme převážně chrom a to z důvodu jeho významnému sklonu k pasivitě i ve slitinách se železem. Abychom docílili co nejvyšší univerzálnosti nebo naopak co nejvyšší specifikaci korozivzdorné oceli (na základě důkladné analýzy korozního napadení) přidáváme do slitin Fe-Cr i jiné prvky, které vyznačují sklony k pasivitě. Takovými prvky jsou například molybden (Mo), nikl (Ni), měď (Cu) a křemík (Si). [2], [8]

4. OCEL A JEJÍ ROZDĚLENÍ A ZNAČENÍ

Ocel definujeme jako soustavu prvků, u které je hmotnostní procento železa (Fe) větší než u kteréhokoliv jiného prvku a zároveň vykazuje méně než 2,06 hmotnostního procenta uhlíku (C), přičemž může obsahovat i jiné (legující) prvky v různých hmotnostních procentech: mangan (Mn), síra (S), fosfor (P), chrom (Cr), wolfram (W), vanad (V), molybden (Mo), nikl (Ni) a další. Vždy ale platí, že hmotnostní procento železa je výrazně vyšší než hmotnostní procento ostatních prvků). [10]



Obr. 4.1 Rozdělení ocelí [11], [12]

Ocel rozdělujeme jednak podle její výroby a použití (**obr. 4.1**) tak i podle chemického složení. Rozdělení podle chemického složení je dále děleno na dvě základní skupiny, a to podle stupně legování na nelegované a legované oceli. Tyto skupiny se následně dělí do mnoha podskupin. [12]

Za nelegovanou ocel, často se můžeme setkat i s pojmem uhlíková ocel, považujeme takovou ocel, u které je přesně definováno maximální hmotnostní procento zastoupení jednotlivých legujících prvků. Pokud některý prvek obsažený v oceli zaujímá vyšší hmotnostní procento, než jak je uvedeno na **obr. 4.2**, tak se tato ocel řadí už do kategorie legovaných. [12]

Prvek	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	W	Co	Mo, V, Ti, Al, Nb, Zr, Pb
max. obsah [%]	0,9	0,5	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1

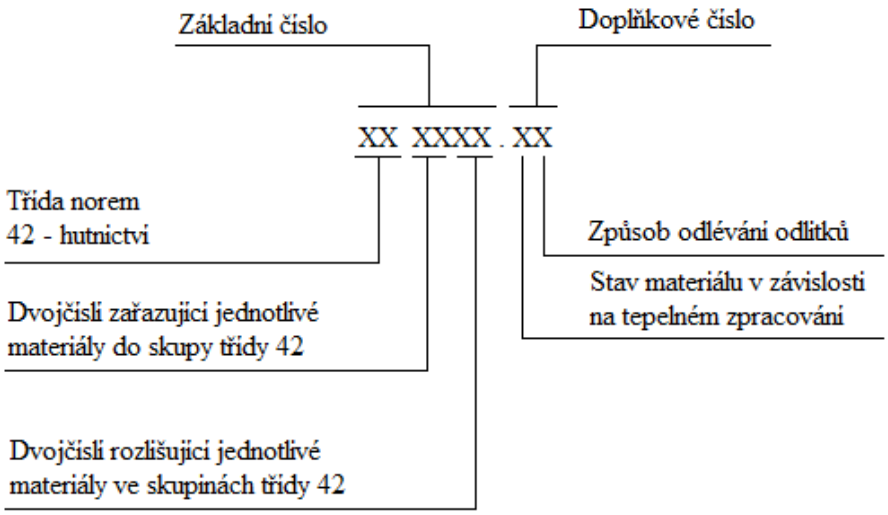
Obr. 4.2 Tabulka max. obsahu prvků v nelegovaných ocelích [12]

Nelegované oceli se rozdělují podle maximálního obsahu uhlíku na nízkouhlíkovou (do 0,25 % C), středněuhlíkovou (od 0,25 do 0,60 % C) a vysokouhlíkovou (nad 0,60% C). [12]

Legované oceli se rozdělují podle obsahu jednotlivých legujících prvků na nízkolegované (do 2,5 % obsahu legur), střednělegované (do 2,5 až 10 % obsahu legur), vysokolegované (nad 10 % obsahu legur). [10]

Tato práce je zaměřena na vysokolegované oceli určené na odlitky, upřesněno zejména na oblast korozivzdorných ocelí na odlitky. Oceli na odlitky jsou definovány normou ČSN 42 0006. [13]

Tato norma uvádí značení ocelí na odlitky. Číselné označení se skládá ze základního čísla, které je tvořeno šesti číslicemi a doplňkového čísla, které je tvořeno ze dvou číslic (**obr. 4.3**). [13]



Obr. 4.3 Schéma číselného označení podle normy ČSN 42 0006 [13]

Druhé dvojčíslí dále specifikuje, o jaký druh slitiny se jedná (**obr. 4.4**). Korozivzdorné oceli na odlitky se nacházejí ve vysokolegovaných ocelích na odlitky, proto se doplňuje norma na 42 29XX. [13]

Druhé dvojčíslí	Druh slitiny
23	Tvárné litiny
24	Šedé litiny a zvláštní slitiny železa na odlitky
25	Bílé, tvrzené a temperované litiny
26	Uhlíkové oceli na odlitky
27	Nízkolegované a střednělegované oceli na odlitky odlévané do pískových forem
28	Nízkolegované a střednělegované oceli na odlitky odlévané jiným způsobem než do pískových forem a slitiny pro trvalé magnety
29	Vysokolegované oceli na odlitky

Obr. 4.4 Význam druhého dvojčíslí normy ČSN 42 0006 [13]

Třetí dvojčíslí pak doplňuje specifické vlastnosti daného materiálu, u skupiny 26 má třetí dvojčíslí význam pořadového čísla nebo udává pevnost v tahu v desítkách megapascalů (MPa). Například ocel na odlitky s označením 42 2635 má pevnost v tahu 350MPa. U skupin 27, 28, 29 pak uvádí použité legující prvky (**obr 4.5**). [13]

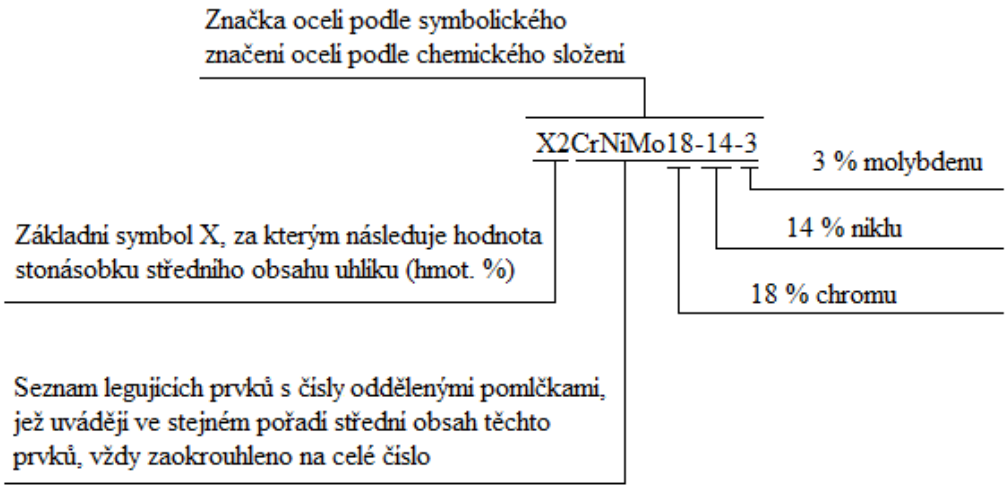
Skupina	Druh oceli	Dvojčíslí	Význam dvojčíslí
26	uhlíkové oceli do nepiskových forem	00 - 29	Pořadové číslo
	uhlíkové oceli do piskoých forem	30 - 99	Pevnost v tahu v 10 MPa
27	Nizko a středně legované oceli lité do piskových forem	00 - 19	Mn,Mn-Si, Mn-Ti
		20 - 39	Cr,Mn-Cr,Mn-V,Mn-Si-Cr,Mn-Cr-V
		40 - 49	Mo,Cr-Mo,Cr-Mo-V,Cr-Mo-V-W
		50 - 59	Ni,Cr-Ni,Ni-V,Cr-Ni-Mo,Cr-Ni-Mo-V,Cr-Ni-V-W
		70 - 79	Cr-Mo, Cr-Mo-W-Co
28	Oceli skupiny 27 do nepiskových forem	00 - 79	Stejné jako u skupiny 27
		80 - 94	Slitiny pro různé druhy magnetů
29	Vysokolegované oceli na odlitky	00 - 19	Cr (+Ni,Mo,V,W)
		20 - 29	Mn (+Cr)
		30 - 59	Cr-Ni, Cr-Mn-Ni (+Mo, V, W, Cu)
		90 - 99	Cr-W, Cr-V-W

Obr. 4.5 Význam třetího dvojčíslí normy ČSN 42 0006 [13]

Například u oceli s označením 42 2940, podle značení ČSN 42 0006 lze říci, že je to vysokolegovaná ocel určená na odlitky obsahující legující prvky CrNiMo. [12]

Pro označení ocelí lze užít jak českou normu, tak i normu evropskou. Za systém označování materiálů evropskou normou zodpovídá norma ČSN ECISS IC 10 a ČSN EN 10027, která je doplněna o dvě vydání. [13]

Oceli podle evropské normy lze označovat číselně nebo symbolicky. Přičemž symbolické značení ocelí se dělí podle použití anebo podle chemického složení.
Pro dobrou orientaci v níže uvedených značkách matriálů je nutno vysvětlit značení normy pro legované oceli se středním obsahem alespoň jednoho legujícího prvku nad 5 % (**obr. 4.6**). [14]



Obr. 4.6 Symbolické značení podle chemického složení dle ČSN EN 10027-1 [14]

Ze značky tedy vyplývá, že se jedná o chromniklmolydenovou korozivzdornou ocel s obsahem prvků 0,02 % uhlíku, 18 % chromu, 13 % niklu a 3 % molybdenu. [14]

5. KOROZIVZDORNÉ OCELI

Základním prvkem vysokolegovaných korozivzdorných ocelí, jinou terminologií nerezavějících ocelí, je chrom (Cr). Chrom se projevuje významným sklonem k pasivaci. Tuto vlastnost je schopen si přenést i do slitin ze železa. Aby bylo docíleno pasivační vlastnosti u korozivzdorných ocelí, je zapotřebí mít v tuhém roztoku vyšší obsah než 11,5 % chromu, přičemž chrom vyloučený v karbidech se nezapočítává, a také nízký obsah uhlíku, v rozmezí 0,01 – 0,1 %, obvykle se vyskytuje množství menší jak 0,08 % uhlíku. Jinak je tomu pouze u martenzitických korozivzdorných ocelí, u nich se pohybuje rozmezí hmotnostního procenta uhlíku od 0,2 do 1,5 % a to z důvodu požadavku kalitelnosti. [2], [15]

Vedle chromu, který je nezbytnou součástí korozivzdorných ocelí, se do ocelí přidávají i jiné legující prvky: nikl (Ni), molybden (Mo), křemík (Si), vanad (V), wolfram (W) a další. Tyto prvky ve spolupráci s chromem dodávají korozivzdorným ocelím specifičtější vlastnosti. [2]

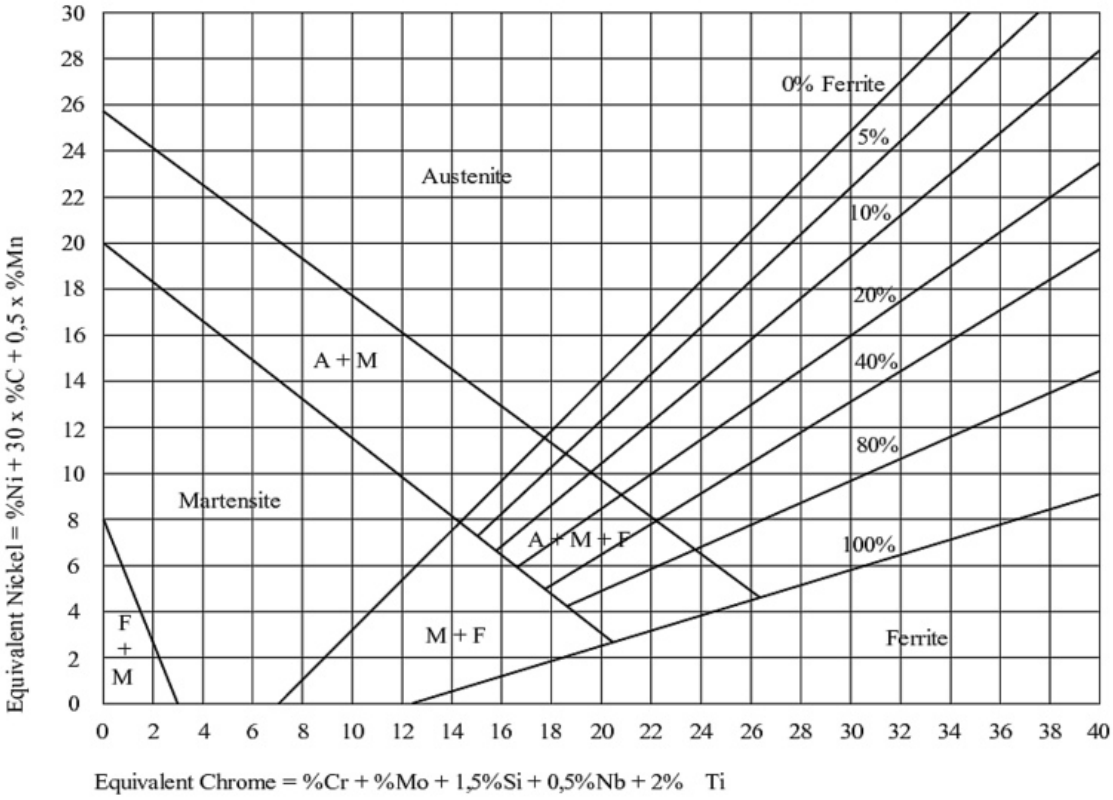
Korozivzdorné oceli můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin, které jsou navzájem svázané. Podle chemického složení a podle mikrostrukturního hlediska. [15]

Podle chemického složení:
- oceli chromové
- oceli chromniklové
- oceli chromniklmolybdenové
- oceli chrommanganové

Podle mikrostrukturního hlediska:
- martenzitické
- feritické
- austenitické
- duplexní:
  - feriticko austenitické

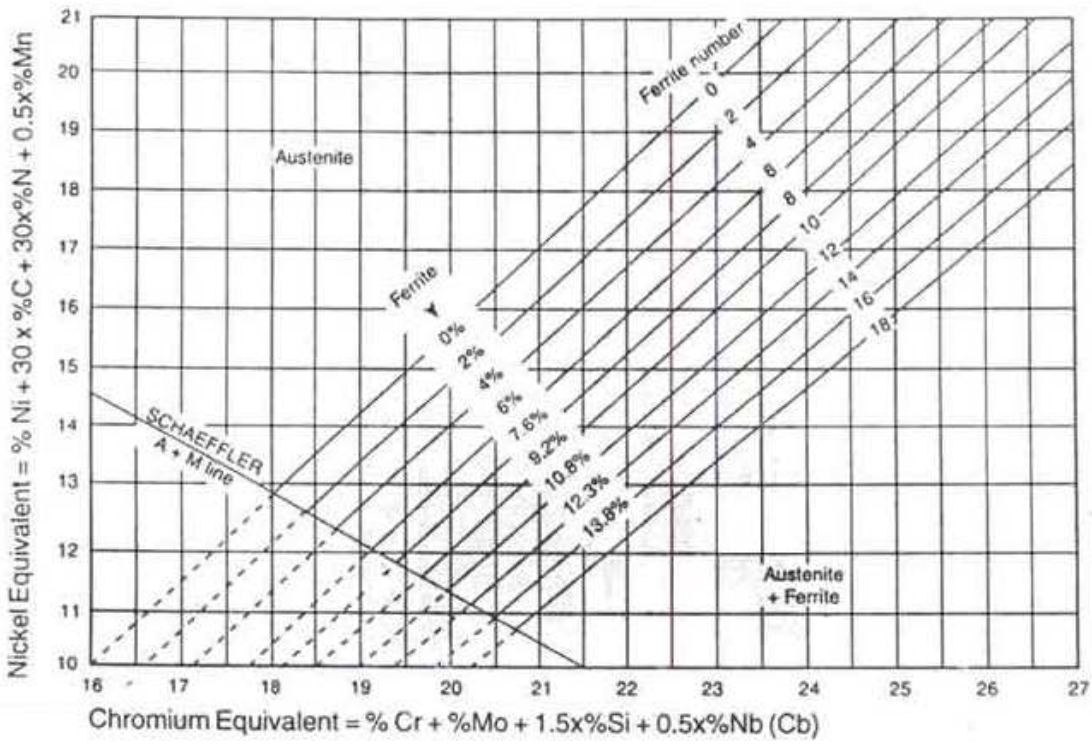
- martenziticko austenitické
- martenziticko feritické

Jak jsou obě skupiny rozdělení navzájem svázané lze pozorovat na tom, jak je možno například ovlivnit výslednou strukturu oceli za použití různých legujících prvků v různých množstvích. K tomu poslouží Schaefflerův diagram (**obr. 5.1**). Tento diagram vychází ze samotných vlastností jednotlivých legujících prvků. Pro osu X je zaveden pojem chromový ekvivalent, který se skládá z prvků, pro které je charakteristické, že jsou prvky feritotvornými, neboli uzavírají oblast gama, patří do nich: Cr, Si, Mo, V, Ti, Al, Nb. Pro osu Y je zaveden pojem niklový ekvivalent, ten se skládá z prvků, pro které je charakteristické, že jsou prvky austenitotvornými, neboli rozšiřují oblast gama, patří do nich: C, Ni, Mn, N, Cu. Diagram znázorňuje výslednou strukturu v závislosti na poměru chromového a niklového ekvivalentu. Lze tak u jednotlivých značek zjistit podle chemického složení jejich strukturu. Například značka X5CrNi18-10, obsahuje (bráno ve středních obsazích) 0,05 % uhlíku, 18 % chromu, 1,5 % manganu, 10 % niklu. Podle vzorce pro chromový ekvivalent vyjde číslo 18 a podle vzorce pro niklový ekvivalent číslo 13. Vynesením hodnot na osy x a y zjistíme, že značka má ryze austenitickou strukturu. [16], [17]



Obr. 5.1 Schaefflerův diagram [17]

Na stejném principu funguje i DeLongův diagram (**obr. 5.2**), který má také na svých osách chromový a niklový ekvivalent. Ve své podstatě je DeLongův diagram rozšířením Shaefflerova diagramu, je v něm navíc zakomponován prvek dusík (N), který je výrazně austenitotvorný, tudíž se objevuje ve vzorci niklového ekvivalentu. [16]



Obr. 5.2 DeLongův diagram [18]

5.1. Martenzitické korozivzdorné oceli

Jedná se o oceli s obsahem chromu až 18 % a uhlíku až 1,5 %. V některých případech se pro zlepšení vlastností martenzitických korozivzdorných ocelí přidává nikl do obsahu 6 %, a v dílčích množstvích Mo, V, W. Při ohřevu oceli nad austenitizační teplotu 950 – 1050 °C (teplota závisí na druhu oceli) získáme v oceli plně austenitickou strukturu, kterou když rychle ochladíme, neboli zakalíme, získáme strukturu martenzitickou. Pro tuto strukturu je charakteristická mimořádně vysoká tvrdost. Tvrdost oceli je o to větší, čím vyšší je obsah uhlíku (**obr 5.3**). [2], [6], [19]

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

Obr. 5.3 Vliv obsahu uhlíku na tvrdost martenzitických korozivzdorných ocelí [19]

Pro lepší názornost tvrdosti martenzitu lze porovnat orientační tvrdosti ostatních struktur (**obr 5.4**)

	Tvrdost [HRC]	Tvrdost [HV]	Tvrdost [HB]	Pevnost [MPa]	Krystalová mřížka
ferit	---	180	171	300	kubická prostorově centrovaná
austenit	22	250	238	550	kubická plošně centrovaná
martenzit	64	800	---	700	tetragonální
bainit	41	400	380	500	(ferit + cemntit)
perlit	---	230	219	400	(ferit + cemntit)
cementit	64	800	---	3000	orthorombická

Obr. 5.4 Tabulka tvrdostí jednotlivých struktur [20], [21], [22]

Chrom má v oceli nejen tu vlastnost, kdy jeho množství nad 11,5 % umožňuje tvorbu pasivní vrstvy, ale také výrazně snižuje kritickou rychlost ochlazování austenitu natolik, že na rozdíl od uhlíkových ocelí vzniká martenzit i tehdy, chladne-li ocel z teploty nad Ac_3 volně na vzduchu. O ocelích, které mají schopnost zakalení na vzduchu lze říci, že jsou samokalitelné. Pro sníženou kritickou rychlost ochlazování austenitu se chromové kalitelné korozivzdorné oceli prokalují i ve značných průřezech, proto lze o chromu říci, že u martenzitických korozivzdorných ocelí zvyšuje prokalitelnost. [2], [23]

Na rozdíl od vysokolegovaných samokalitelných manganových a niklových ocelí, lze chromové korozivzdorné oceli vyžíhat. Dlouhodobějším ohřevem na teplotu těsně pod Ac1 (600-630°C) získáme feritickou strukturu se zrnitými karbidy. Tímto žíháním lze odstranit i vnitřní pnutí, které vzniká při tuhnutí odlitku ve formě. [2]

5.1.1 Martenzitické korozivzdorné oceli bez niklu

Různé rozsahy obsahů uhlíku a chromu dělají korozivzdorné oceli specifičtější v jejich možnostech a použití. Od základní varianty X12Cr13 bez niklu jsou odvozeny varianty s rostoucím obsahem uhlíku až po obsah 1,2 %. Značky s vyšším obsahem uhlíku mají i vyšší obsah chromu, a to až do obsahu 19 %. Do ocelí s vyšším obsahem uhlíku a chromu je přidáván molybden. Oceli mají mez kluzu závislou na obsahu uhlíku. [2], [6]

Oceli o obsahu uhlíku v rozmezí 0,15 až 0,45 % a obsahu 13 % chromu vykazují nejlepší korozní odolnost v přírodních prostředích jako je atmosféra, voda, pára a v dalších mírně agresivních prostředích do teplot 450°C, například ve zředěné HNO_3 (kyselině dusičné) nebo ve slabé organické kyselině. Oceli s obsahem 0,2 % uhlíku se používají pro lopatky parních turbín, součástí čerpadel, armatury v chemickém a energetickém průmyslu. Oceli s obsahem uhlíku v rozmezí 0,3 až 0,4 % se používají pro součásti, které kladou vysoké požadavky na otěruvzdornost a tvrdost, například nože a chirurgické nástroje. [23], [24]

Oceli, o obsahu uhlíku v rozmezí 0,5 až 0,6 %, se zvýšeným obsahem chromu na 15 % a přidáním legujících prvků Mo, W a V, získají lepší odolnost proti rovnoměrné a důlkové korozi. Používají se pro výrobu nožů v potravinářském průmyslu, v chirurgii a na otěruvzdorné součásti pracujících v agresivních prostředích. [24]

Ocelím, o obsahu uhlíku přibližně 1 %, s navýšeným obsahem chromu na 17 %, zlepšíme výrazně korozní odolnost. Tyto oceli pak lze použít pro výrobu konstrukčních dílů pro chemický průmysl s vysokými nároky na otěruvzdornost při vysoké korozní odolnosti. [24]

Nevýhodou při použití ocelí s obsahem uhlíku nad 0,2 % je, že se nedají svařovat. Korozní odolnost všech typů korozivzdorných martenzitických ocelí je nejvyšší u kvalitního, nejlépe leštěného povrchu. [24]

5.1.2 Martenzitické korozivzdorné oceli s niklem

Oceli obsahující přibližně 17 % chromu, 2 % niklu při obsahu uhlíku 0,2 %. Pro dosažení specifických vlastností legujeme až do 6 % obsahu niklu. U martenzitických korozivzdorných ocelí s niklem, kde roli uhlíku přebírá právě nikl, zůstává schopnost zakalení zachována. Při nahrazení uhlíku niklem docílíme, že se při zakalení oceli neprojeví nepříznivé účinky zvýšeného obsahu uhlíku v podobě vylučování karbidů a vysokého nárůstu tvrdosti. Odolnost proti korozi se dá zvýšit přidáním molybdenu. Tyto oceli se vykazují dobrou korozní odolností převážně proti mořské vodě. Často jsou proto korozivzdorné oceli s příměsí niklu používány pro výrobu lopatek parních turbín a dalších součástí, které přichází s tímto prostředí do kontaktu. Dobrou korozní odolnost vykazují i v oxidujících anorganických kyselinách. Proti výše zmíněným martenzitickým ocelím bez niklu má tento typ ocelí vyšší pevnost, zlepšené plastické vlastnosti a podmíněnou svařitelnost. Ovšem mimo obsahy niklu 4 až 6 %, není možno svařovat zastudena bez předehřevu, aniž by neexistovalo nebezpečí vzniku prasklinek. [2], [23]

5.1.3 Supermartenzitické oceli

Tyto oceli představují nový vývojový trend v oblasti martenzitických korozivzdorných ocelí. Oceli mají novou konfiguraci prvků, především nízký obsah uhlíku pod 0,015 % a dále 11 - 13 % chromu, 5,5 - 6,5 % niklu, 2 - 2,25 % molybdenu a velmi nízký obsah síry. Do oceli se také přidávají další legující prvky a to měď, titan, niob a vanad. Obsah chromu okolo 12 % zaručuje dostatečnou korozní odolnost, s přidáním niklu se korozní odolnost zvyšuje a zlepšuje houževnatost. Legování molybdenu okolo 2% zaručuje odolnost proti koroznímu praskání za napětí a také vylepšuje celkovou odolnost vůči korozi. Prvky jako měď, titan, niob a vanad optimalizují strukturu a také se podílí na zvýšení korozní odolnosti. Tyto oceli mají vysokou pevnost, zlepšenou houževnatost a jsou dobře svařitelné. Převážně se používají pro potrubí, které slouží k transportu vysoce agresivních plynů (agresivita je dána obsahem oxidů uhličitých (CO_2), sulfanů (H_2S), teplotou a pH). [24]

5.1.4 Přehled vlastností martenzitických korozivzdorných ocelí

Martenzitické korozivzdorné oceli se používají převážně kalené a popuštěné tak, aby vyhovovaly potřebám použití. Při popouštění dochází k odstranění vnitřního pnutí, ke snížení tvrdosti oceli a nárůstu houževnatosti oceli. Vlivem vysokého obsahu chromu je v oceli značně snížena tepelná vodivost. Elektrický odpor je asi 5krát vyšší než u nelegované uhlíkové oceli. Martenzitické korozivzdorné oceli jsou vždy feromagnetické, ať jsou jakkoliv tepelně zpracovány. [2]

5.2 Feritické korozivzdorné oceli

Jedná se o oceli s velmi nízkým obsahem uhlíku, zpravidla je obsah uhlíku do 0,08 % a vysokým obsahem chromu až do 30 %. Feritické oceli s nízkým obsahem chromu, zasahují svým chemickým složením do oblasti feritu a austenitu. Austenit při chladnutí transformuje na martenzit a výsledná struktura tak může být feriticko-martenzitická. Vyloučený martenzit zvyšuje pevnost a tvrdost ocelí. [2], [24]

Abychom získali oceli při obsahu uhlíku do 0,08 % ryze feritické, je potřeba zajistit obsah chromu vyšší než 17 %. Feritické oceli totiž při ohřevu nemění svoji strukturu na austenitickou, a proto při ochlazení nevzniká martenzit. Z toho vyplývá, že ryze feritické korozivzdorné oceli jsou nekalitelné. [2], [6]

U feritických korozivzdorných ocelí s vyšším obsahem uhlíku může při pokojové teplotě a některých vyšších teplotách (350-550°C) nastat jev křehnutí. Při tuhnutí těchto ocelí se vylučuje z taveniny chromový ferit. Rozpustnost uhlíku v tomto chromovém feritu je nižší než 0,01 % a proto dochází k vylučování uhlíku ve formě karbidů, které pak mohou mít za následek křehnutí oceli. Ovšem karbidy se při ohřevu zpětně rozpouštějí ve feritu (struktura se ale nijak nezmění) a tak křehkost feritických ocelí s vyloučenými karbidy se zvyšující teplotou klesá, přičemž při ohřevu a ochlazování nedochází k objemovým změnám. Proto je velmi výhodně tyto typy ocelí využívat i jako žáruvzdorné. U ocelí s velmi nízkým obsahem uhlíku a obsahem chromu 24 až 30 % je křehnutí výrazně potlačeno. [2], [8]

Hlavní ukazatel vlastností feritických korozivzdorných ocelí je obsah chromu. Na základě toho můžeme rozčlenit jejich vlastnosti a oblast použití podle množství chromu v jednotlivých ocelích. [25]

5.2.1 Feritické 13% chromové korozivzdorné oceli

Obsah uhlíku je pod 0,08 %. Rozsah obsahu chromu je od 11,5 po 13,5 %. Jelikož je obsah chromu nižší jak 17 %, je umožněn vznik martenzitické struktury. Abychom tomu předešli, potlačujeme vznik martenzitické struktury přidáním feritotvorného prvku například hliníku, titanu nebo niobu. Vykazují dobrou korozní odolnost v atmosféře, v přírodní vodě a vodní páře, ve zředěné kyselině dusičné a slabých organických kyselinách. Naopak jejich použití není vhodné pro prostředí, kterými jsou například silně znečištěná průmyslová voda, mořská voda a silně znečištěná průmyslová atmosféra. Používají se na zařízení chemického průmyslu, jako jsou sedla ventilů, potrubí čerpadel, výměníkové trubky v zařízení na zpracování ropy, nádrže a kolony. Nedoporučují se používat v prostředích přesahující teplotu 320°C. [25]

5.2.2 Feritické 17% chromové korozivzdorné oceli

Obsah uhlíku je pod 0,1 %. Rozsah obsahu chromu je od 16 po 18 %. Mohou být legované molybdenem a stabilizované titanem nebo niobem. Feritické 17% chromové oceli jsou korozně odolné proti atmosférické korozi, říční a mořské vodě, kyselině dusičné, zředěným organickým kyselinám a roztokům solí. Dobře odolávají znečištěné průmyslové atmosféře a znečištěným průmyslovým vodám. Stabilizace titanem zlepšuje odolnost proti mezikrystalové korozi. Používají se v potravinářském průmyslu pro zpracování mléka, výrobě piva, octa apod. Další použití nacházejí v automobilovém průmyslu, při výrobě kuchyňských potřeb a sanitárních zařízení, ve vzduchotechnice a v architektuře. [25]

V některých případech, při vyšších obsazích uhlíku, po ohřevu na teplotu nad 900 °C dochází k přesunu v rovnovážném diagramu do oblasti se smíšenou strukturou austenitu a feritu. Tyto oceli pak mají směs vlastností kalitelných i feritických chromových ocelí. Takové oceli pak označujeme jako poloferitické. [2], [25]

5.2.3 Feritické 25% chromové korozivzdorné oceli

Oceli s velkým rozsahem obsahu uhlíku, pohybuje se u různých typů ocelí podle účelu použití v rozsahu od 0,02 až 0,2 %. Rozsah chromu je pak od 20 až do 30 %. Velmi vysoký obsah chromu zajišťuje mnohem vyšší korozní odolnost ve srovnání s korozivzdornými ocelemi uvedenými viz. výše (kap. 5.2.1 a 5.2.2). Patří tedy ke korozně nejodolnějším ze všech feritických ocelí. Nevýhoda vysokého obsahu chromu je ta, že způsobuje náchylnost ke křehnutí při teplotách 350-550°C. I přes tuto nevýhodu mají, 25% chromové oceli s obsahem uhlíku 0,1 až 0,2 %, význam v použití jako žáruvzdorné oceli za vysokých teplot. [25]

5.2.4 Superferity

Oceli s čistě feritickou strukturou s obsahem chromu pohybující se v rozmezí od 25 do 29 % a s velmi nízkým obsahem intersticiálních prvků (uhlíku a dusíku). Součet obsahu uhlíku a dusíku se pohybuje v rozmezí od 0,015 do 0,025 %. Modifikují se molybdenem v rozmezí od 0,5 až do 4 %, a obvykle jsou ještě stabilizovány titanem nebo niobem. Superferity lze rozdělit do dvou podskupin a to na superferity bez niklu a superferity s příměsí niklu, obě s maximálním obsahem intersticiálních prvků do 0,025 %. [6], [25]

Superferity se vyznačují dobrou svařitelností, tvářitelností, tažností, mají dobrou vrubovou houževnatost a dosahují vyšších pevnostních hodnot. Velmi důležitá je zlepšená odolnost proti rovnoměrné a mezikrystalové korozi, dále se vyznačují vysokou odolností vůči koroznímu praskání za napětí, bodové a štěrbinové korozi. Díky těmto vlastnostem je lze použít tam, kde selhávají běžné korozivzdorné oceli a bylo by nutné použití vysokoniklových slitin nebo slitin na bázi niklu. [6], [25]

Hlavní oblastí aplikace superferitů jsou výměníkové trubky, kde ocel přichází do styku s vodou o vysokém obsahu chloridů, dále prostředí oxidačních kyselin a organických kyselin, zařízení na odsolování mořské vody, elektrárny stojící u mořského pobřeží, odsiřovací zařízení, oblast výroby papíru a celulózy a celá oblast chemického a petrochemického průmyslu. V poslední době se ukazuje, že v řadě případů nebyla očekávání vkládaná do použití superferitů naplněna, jejich aplikace se omezují a jsou nahrazovány duplexními austeniticko-feritickými ocelemi. [25]

5.2.5 Přehled vlastností feritických korozivzdorných ocelí

Fyzikální vlastnosti feritických korozivzdorných ocelí se jen velmi málo liší od těch vlastností martenzitických ocelí. S rostoucím obsahem chromu klesá u feritických korozivzdorných ocelí tepelná roztažnost a elektrická vodivost. Při nízkých teplotách mají malou tepelnou vodivost, ovšem ta vzrůstá zároveň s teplotou. Magnetické vlastnosti feritických ocelí závisí na obsahu chromu i uhlíku. Při nízkém obsahu uhlíku lze feritické korozivzdorné oceli použít jako magneticky měkký materiál. [2]

5.3 Austenitické korozivzdorné oceli

U dvou typů korozivzdorných ocelí uvedených výše, byl chrom jediným slitinovým prvkem, který se vyskytoval v oceli ve vyšších obsazích. Oproti tomu u austenitických korozivzdorných ocelí, ve srovnání s výše uvedenými typy ocelí, jsou obsahy dalších legujících prvků, kterými jsou nikl, mangan, molybden, křemík, poměrně vysoké a neplní tak pouze tu funkci, kdy lze malou příměsí dosáhnout specifických vlastností. Ovšem jejich použití musí být správně vyvážené, aby bylo docíleno austenitické struktury (viz. Sheafflerův diagram **obr. 5.1**) Základním typem austenitických korozivzdorných ocelí je ocel obsahující 18 % chromu, 9 % niklu při obsahu uhlíku kolem 0,08 %, popřípadě obsahuje od 9 do 19 % manganu s možnou kombinací příměsi dusíku až do 0,5 %, jakožto náhradou za nikl. [2], [6], [26]

Úpravou chemického složení, co do obsahu uhlíku tak i legujících prvků, lze u austenitických korozivzdorných ocelí vylepšit následující vlastnosti: [6]

- celkovou korozní odolnost
- odolnost proti mezikrystalové korozi
- odolnost proti bodové a štěrbinové korozi
- odolnost proti koroznímu praskání
- mechanické vlastnosti
- obrobitelnost
- odolnost proti praskavosti svarů

Podrobnější účinky jednotlivých legujících prvků na vlastnosti austenitických korozivzdorných ocelích jsou uvedeny v kapitole 5.3.6.

Austenitické korozivzdorné oceli lze rozdělit podle chemického složení a podle struktury. Podle chemického složení je dělíme na chromniklové, chrommanganové a na chrommanganniklové a podle struktury je dělíme na ryze austenitické a austeniticko-feritické. [2]

5.3.1 Chromniklové austenitické korozivzdorné oceli

Oceli s obsahem chromu 12 až 25 %, niklu 8 až 38 % při obsazích uhlíku od 0,01 po 0,15 %, popřípadě dále legovány molybdenem, dusíkem a dalšími. Vyrábějí se ve dvou provedeních, a to jako nestabilizované a stabilizované titanem a niobem. Dobře odolávají v oxidačních prostředích (např. kyselině dusičné) a organickým kyselinám. Chromniklové oceli se staly nejvíce využívanými austenitickými korozivzdornými ocelemi v chemickém průmyslu a to převážně pro jejich všeobecné použití. Dalším průmyslovým odvětvím, kde mají široký záběr použití je potravinářský průmysl, kde vyhovují z hlediska hygienických předpisů. Nejpoužívanější značky z chromniklových ocelí jsou X5CrNi18-10 a X2CrNi18-10. [2], [26]

5.3.2 Chromniklmolybdenové austenitické korozivzdorné oceli

Oceli s obsahem chromu 12 až 22 %, manganu 5 až 12 %, niklu 3 až 8 % při obsazích uhlíku od 0,02 po 0,15 %, popřípadě dále legovány molybdenem, dusíkem a dalšími prvky, kde může být střední obsah molybdenu 2,25 %, 2,75 % 3,5 % a více. Stejně jako chromniklové oceli se chromniklmolybdenové oceli vyrábí ve dvou provedeních, nestabilizované a stabilizované titanem a niobem. Oceli se vyznačují významným vylepšením korozní odolnosti proti bodové a štěrbinové korozi, čím vyšší je obsah molybdenu tím je odolnost lepší. Rostoucí obsah molybdenu také vylepšuje

odolnost proti rovnoměrné korozi v prostředí neoxidujících anorganických kyselin (např. kyselina dusičná). Odolávají zředěné kyselině sírové a organickým kyselinám. Využití chromniklmolybdenových ocelí lze najít tam, kde oceli bez molybdenu nesplňují požadavky na korozní odolnost. Převážně se používají v prostředí obsahujícím halogenidy, takové jsou například průmyslové vody nebo média chladících systémů. [2], [26]

5.3.3 Chrommanganové austenitické korozivzdorné oceli

Oceli s obsahem chromu 10 až 18 %, manganu 14 až 25 %, při obsazích uhlíku od 0,02 po 0,08 %, popřípadě dále legovány molybdenem, dusíkem a dalšími prvky. Dříve se využívala chrommanganová ocel především z důvodu úspory Ni a nacházela své využití v méně agresivních korozních prostředích. Ovšem v posledních letech představují chrommanganové austenitické korozivzdorné oceli nový a významný trend. Vývoj těchto ocelí se zaměřuje na zvýšení obsahů chromu a manganu za současného zvyšování obsahu dusíku a s možným legováním molybdenu, kde se obsahy uhlíku pohybují v rozmezí od 0,02 po 0,08 % a dusíku od 0,2 po 0,3 %. U těchto ocelí se zvýšenými obsahy chromu a manganu je zajištěna stabilita austenitu, dosahují vyšší pevnosti, tažnosti a odolnosti proti opotřebení, to vše se zaručenou vysokou korozní odolností v mnoha oxidačních a redukčních prostředích. Chrommanganové oceli se používají na výrobu armatur a čerpadel pro chemická a potravinářská zařízení, pro přístrojovou techniku hlubokých vrtů kyselých rop a plynů, která musí být zcela nemagnetická a musí vzdorovat vysoce agresivnímu prostředí a podobně. [2], [26]

5.3.4 Austeniticko-feritické korozivzdorné oceli

Dominantní postavení ryze austenitických korozivzdorných ocelí je ovlivňováno čím dál častějším využíváním dvoufázových austeniticko-feritických ocelí z důvodu, kdy ryze austenitické oceli nemohou zaručit bezporuchový a bezpečný provoz. Obvykle austeniticko-feritické oceli obsahují 0,02 % uhlíku a 0,25 % dusíku a různé obsahy legujících prvků, kterými jsou chrom, nikl, molybden. Chemické složení těchto ocelí se volí tak, aby v matrici zůstalo až 50 % metastabilního austenitu, jehož zrna mají být rozmístěna ve feritické matrici rovnoměrně, přičemž obsah uhlíku těchto dvoufázových ocelí závisí na požadované odolnosti proti mezikrystalové korozi. [2], [23], [27]

Austeniticko-feritické oceli kombinují výhody obou struktur. Feritická struktura zaručuje odolnost proti koroznímu praskání a vylepšuje pevnostní hodnoty. Ale jelikož strukturní změny probíhají ve feritických oblastech, austenit není vůbec dotčen, dochází v rozmezí teplot 280 až 500 °C ve feritu k tvorbě fáze sigma, která způsobuje křehnutí a stárnutí materiálu. Z tohoto důvodu je použití těchto ocelí pro dlouhodobý provoz omezeno do teploty 250°C. [2], [27]

Austeniticko-feritické korozivzdorné oceli si našly své uplatnění zejména v chemickém průmyslu, protože mají velice podobné vlastnosti korozní odolnosti jako oceli chromniklové (kap. 5.3.1) a zároveň mají vyšší mez kluzu a nižší cenu. [23]

5.3.5 Přehled vlastností austenitických korozivzdorných ocelí [1]

Ze všech druhů korozivzdorných ocelí jsou austeniticko-feritické oceli nejvhodnější pro odlévání, protože při tuhnutí nevznikají v odlitku trhliny. To umožňuje odlévání i tvarově složitých a tenkostěnných součástí, ovšem na druhou stranu při odlévání dochází ke zvýšení oxidických plen, které zhoršují zabíhavost oceli i kvalitu

povrchu. Z tohoto důvodu se dosud výroba odlitků z austeniticko-feritických ocelí příliš nerozšířila, ale pro jejich dobrou svařitelnost lze tyto odlitky opravovat navařováním. Je nutno zdůraznit a upozornit na pokles bodu tání za přítomnosti niklu v oceli a jejich nízkou tepelnou vodivost. V porovnání s feritickými a martenzitickými ocelemi mají austenitické oceli podstatně vyšší součinitel teplotní roztažnosti a měrné teplo. Austenitické oceli jsou po rozpouštěcím žíhání nemagnetické. [2]

5.3.6 Legující prvky a jejich vliv na vlastnosti austenitických korozivzdorných ocelí [2], [6], [23]

Chrom (Cr), je to feritotvorný prvek, základní přísada všech korozivzdorných ocelí zajišťující pasivovatelnost oceli a jejich odolnost vůči oxidaci za vyšších teplot. S rostoucím obsahem chromu se vylepšuje korozní odolnost v oxidačních prostředích.

Nikl (Ni), je to austenitotvorný prvek, stabilizuje austenit za normální teploty, vylepšuje korozní odolnost v redukčních kyselinách.

Mangan (Mn), je to austenitotvorný prvek, při koncentraci nad 3 % snižuje sklon k praskání svarů. Zlepšuje rozpustnost dusíku, zhoršuje obrobitelnost.

Dusík (N), je to silně austenitotvorný prvek, vylepšuje pevnostní charakteristiky aniž by snižoval odolnost vůči mezikrystalové korozi (do obsahu 0,2 %). V kombinaci s molybdenem vylepšuje odolnost proti bodové a štěrbinové korozi.

Křemík (Si), je to feritotvorný prvek, vyvolává praskavost svarů, v koncentraci 3 až 4 % odstraňuje náchylnost k mezikrystalové korozi a vylepšuje odolnost proti celkové korozi ve vroucí vysoce koncentrované kyselině dusičné (koncentrace vyšší než 80 %).

Molybden (Mo), je to feritotvorný prvek, a po jeho přísadě je nutno zvýšit obsah některého austenitotvorného prvku (např. Ni) má-li být zachována austenitická struktura. Vylepšuje korozní odolnost ve všech prostředích vyjma vroucích roztoků kyseliny dusičné, především se vyznačuje výrazným vylepšením korozní odolnosti proti bodové a štěrbinové korozi.

Měď (Cu), je to slabě austenitotvorný prvek, vylepšuje korozní odolnost v prostředích kyseliny sírové. Při obsahu 3 až 4 % zlepšuje obrobitelnost.

Titan (Ti) a **niob (Nb),** jsou to karbidotvorné prvky, vysoká afinita k uhlíku zaručuje tvorbu karbidů v ocelích. Při tvorbě karbidů dochází ke snížení obsahu uhlíku v matrici, tento proces je znám jako stabilizace. Oba prvky se vyznačují rovněž vysokou afinitou k dusíku. Niob vyvolává praskavost svarů.

Síra (S), selen (Se), fosfor (P) a olovo (Pb), jsou to doprovodné prvky, při zvýšených obsazích vylepšují obrobitelnost, ale snižují korozní odolnost.

6. VÝROBA ODLITKŮ Z KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

Mezi nejrozšířenější tavící agregáty pro výrobu vysokolegovaných ocelí ve slévárnách patří zejména elektrická oblouková pec (EOP) a elektrická indukční pec (EIP). Ovšem rostoucí požadavky zákazníků na jakost kovových materiálů a snaha sléváren snížit výrobní náklady na výrobu tekutého kovu, vedou k zavádění některých sekundárních prvků metalurgie do provozu sléváren. Pojem sekundární metalurgie v sobě zahrnuje značný počet variant a technologických procesů (např.: hluboké oduhličení, hluboké odsíření, teplotní a chemická homogenizace a další), které probíhají mimo tavící agregát. V případě, že je ve slévárnách využíváno sekundární metalurgie, pak tavící agregáty EOP a EIP slouží pouze k tavení, případně oxidaci. Další následující procesy (redukce a dohotovení) se pak už odehrávají v některém ze sekundárních zařízení. [28], [29]

Většina korozivzdorných ocelí určených ke tváření má i svoji variantu oceli na odlitky. Tato varianta oceli na odlitky má sice stejné chemické složení jako ocel určená pro tváření, ale po odlití mají zpravidla horší mechanické vlastnosti. Vlastnosti ocelí na odlitky jsou především ovlivněny jejich rychlostí ochlazování a chemickou heterogenitou, která vzniká během jejich tuhnutí a chladnutí, o proti tomu u ocelí určených ke tváření lze ovlivňovat jejich vlastnosti deformačním zpevněním. Tvářením a následujícím tepelným zpracováním lze snížit také chemickou heterogenitu legovaných ocelí a zjemnit zrno. S ohledem na heterogenitu matrice u korozivzdorných ocelí na odlitky musíme zajistit minimum legujících prvků ve všech místech odlitku (aby byla zaručena požadovaná korozivzdornost) tak, že zvýšíme koncentraci legujících prvků. Z toho plyne, že je nutné legovat oceli na odlitky výše, než oceli určené pro tváření. [28], [29]

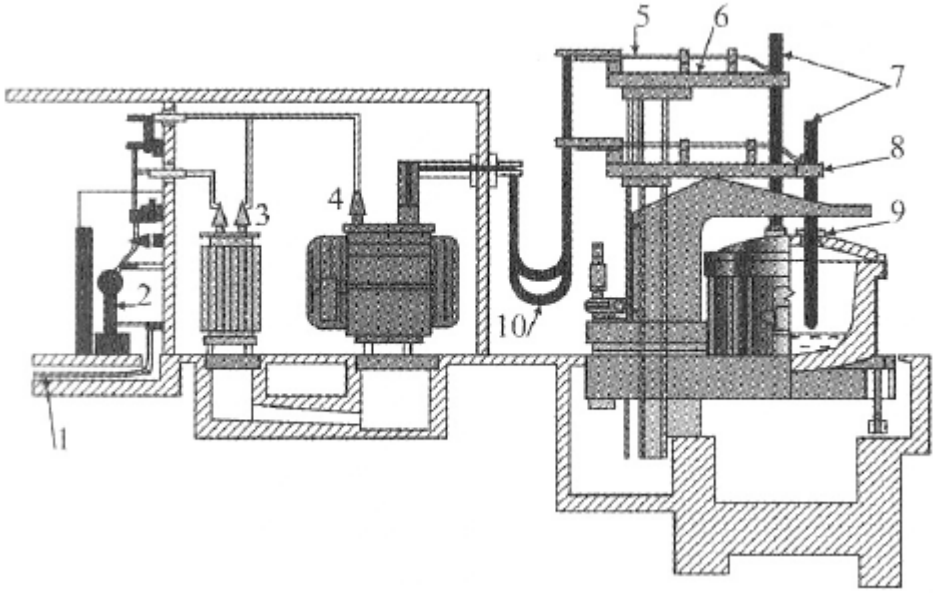
6.1 Hlavní metalurgické úkoly při výrobě korozivzdorných ocelí

Při výrobě korozivzdorných ocelí je jednou z nutností, vyjma některých martenzitických ocelí, splnit požadavek na nízký obsah uhlíku. Abychom docílili nízkých a velmi nízkých obsahů uhlíku, je nutné taveninu oxidovat na co nejnižší obsah uhlíku při ztrátách chromu, které jsou ještě ekonomicky přijatelné. V případě výroby korozivzdorné oceli v obloukové peci je nutno počítat s nauhličením oceli od grafitových elektrod. Během tavby dochází ke korozi samotné grafitové elektrody, což má za následek odpadávání uvolněných zrnek grafitu na strusku a nastává tak nauhličení oceli. Tento jev je pro výrobu korozivzdorné oceli velmi nežádoucí a proto je důležité, aby nauhličení grafitovou elektrodou bylo minimální. Můžeme jej například kontrolovat poměrem hmotností. Nauhličení je tím větší, čím je menší poměr mezi hmotností tavby a hmotností grafitových elektrod. [28]

Další nutností je výroba oceli s nízkým obsahem fosforu. Fosfor je totiž pro korozivzdorné oceli velmi nežádoucí prvek. Jeho odstranění oxidací a převedením ve formě oxidu fosforečného do strusky není možné s ohledem zejména na nízkou aktivitu oxidu železnatého (FeO) ve strusce. Technologie založené na odstranění fosforu jako fosfidu (sloučenina fosforu s nějakým méně elektronegativním prvkem či prvky, v tomto případě jako fosfid vápníku, označením Ca_3P_2) v redukčním prostředí zatím nejsou provozně zavedeny. Důležité je proto věnovat pozornost složení vsázky a používat pouze suroviny o známém složení s nízkým obsahem fosforu. Totéž platí pro ferochrom (feroslitina obsahující 60 až 75 % chromu a přibližně 4 až 10 % uhlíku, označením FeCr), který se používá pro dolegování ocelí. S ohledem na propal, hlavně

chromu, dochází během tavby ke zvýšení obsahu fosforu mezi první zkouškou a výsledným složením o 0,002 až 0,005 %. [28]

6.2 Výroba korozivzdorných ocelí v elektrických obloukových pecích (EOP)



Obr. 6.1 Elektrická oblouková pec, 1) kabel vysokého napětí, 2) hlavní vypínač, 3) tlumivka, 4) transformátor, 5) měděné pásnice vedoucí proud, 6) ramena držáků elektrod, 7) grafitové elektrody, 8) držáky elektrod, 9) chlazený kroužek, 10) vedení elektrické energie (lana) [28]

Výroba korozivzdorných ocelí, za dříve používaného postupu tavení, probíhala v několika periodách. První perioda byla oxidační, spalují se a do strusky přechází prvky afinní ke kyslíku, mezi které se řadí křemík i chrom. Následná perioda byla redukční, struska bohatá na oxidy železa byla nahrazena novou struskou z vápna, kazivce a přísady ferosilicia, což je perioda zahrnující i rafinaci lázně. Po té se do taveniny přidávají přísady ve formě slitinových prvků s menší afinitou ke kyslíku, tj. nikl a molybden, slitiny jako ferochrom a ferosilicium lze přidat do lázně až po té, co je zbavena oxidů chromu. Značnou nevýhodou tohoto postupu je ten fakt, že počáteční vsázka železného odpadu musí být v podstatě bez chromu. To vyloučilo odpad z korozivzdorných ocelí jako možnost počáteční vsázky a chrom musí být do taveniny dodáván jako ferochrom. Další komplikace do tohoto postupu přináší grafitová elektroda, která při kontaktu s lázní způsobuje nauhličování taveniny, je proto obtížné, získat výslednou taveninu s nízkým obsahem uhlíku, který je pro korozivzdorné oceli velmi důležitý. [2]

Pokrok ve výrobě korozivzdorných ocelí v EOP zaznamenal postup s dmýcháním čistého kyslíku taveninou, díky kterému je možno použít jako prvotní vsázku odpad z korozivzdorných ocelí s obsahem chromu 10 až 16 %, podle požadovaného obsahu uhlíku v oceli. Princip postupu s dmýcháním: [2]

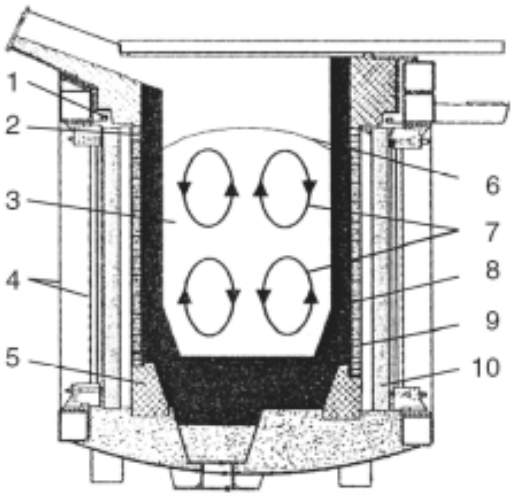
Ke konci tavení se vhání do lázně čistý kyslík, přičemž vysoce exotermické oxidační reakce vyvolají rychlý nárůst teploty na 1900 – 2000°C, tyto teploty jsou asi o 300°C vyšší, než teploty, kterými se vyznačuje dřívější postup. Tyto velmi vysoké teploty mění v souladu s termodynamickými údaji rovnováhu oxidace uhlíku a chromu.

Zatímco při teplotě 1600°C dochází k přednostní oxidaci chromu (v porovnání s uhlíkem), pak u teploty 1900 – 2000°C je tomu právě naopak. V tomto případě je to právě uhlík, který přednostně oxiduje, čímž lze dosáhnout taveniny s velmi nízkým obsahem uhlíku, aniž by došlo k oxidaci většího množství chromu. Obsah uhlíku na konci dmýchání se pohybuje v rozmezí 0,05 – 0,08 % uhlíku. Do vsázky lze také používat odpad obsahující chrom, avšak tím méně, čím nižší je požadovaný konečný obsah uhlíku v oceli. Podíl obsahu chromu, který oxiduje během dmýchání kyslíku je tím vyšší, čím nižší je obsah uhlíku v tavenině. Obsah chromu v tavenině lze pak v případě potřeby dolegovat v podobě ferochromu s nízkým obsahem uhlíku. Ovšem i tento postup, který vedl k významnému pokroku ve výrobě korozivzdorných ocelí má některé nevýhody: [2]

- vlivem velmi vysokých teplot dochází k velké spotřebě žáruvzdorných materiálů uvnitř tavících pecí a s tím klesá i životnost pecí
- omezením obsahu chromu ve vsázce na 10 – 16 % podle výchozího obsahu uhlíku omezuje do jisté míry využití odpadu korozivzdorných ocelí
- značný přechod chromu do strusky během oxidace vyžaduje složitou redukci i chlazení přehřáté lázně.

Vyhnout se těmto obtížím lze pomocí využití postupů pro výrobu korozivzdorných ocelí v kombinaci s mimopecní metalurgií (viz kapitola 6.4 Sekundární metalurgie). [2]

6.3 Výroba korozivzdorných ocelí v elektrických indukčních pecích (EIP)



Obr. 6.2 elektrická indukční pec 1) kroužek spojený nakrátko, 2) vodou chlazený prstenec, 3) tavenina, 4) ocelová kostra, 5) betonový prstenec, 6) kopulovitá hladina taveniny, 7) pohyb taveniny, 8) kelímek, 9) induktor, 10) svazek plechů [30]

Ocelové odlitky nižší (do 100 kg) a střední (100 – 1500 kg) hmotnostní kategorie jsou vyráběny na automatických formovacích linkách, které vyžadují plynulé zásobování tekutým kovem. Pro tento účel jsou elektrické indukční pece nenahraditelnými ocelářskými agregáty. Doba tavby na moderní indukční peci může být kratší, než jedna hodina. Tavba v EIP vychází ve slévárnách ekonomicky i v takových případech, kdy je hmotnost tavby nižší jak jedna tuna. Dokonce se lze setkat i s

rutinní tavbou o hmotnostech nižší jak 100 kg, taková tavba se provádí ve specializovaných slévárnách, tzv. slévárnách přesného lití. [28]

Nejčastěji vyráběné vysokolegované oceli v EIP jsou převážně korozivzdorné a žáruvzdorné oceli. Sortiment výroby korozivzdorných ocelí v EIP je o poznání větší než je tomu u EOP a to z důvodu, že některé typy korozivzdorných ocelí by v EOP byly z hlediska ekonomičnosti výroby prostě příliš nákladné. Zejména ty korozivzdorné oceli, u kterých se požaduje nižší obsah uhlíku než 0,05 %. V EIP je možné vyrábět korozivzdorné oceli s nižším obsahem uhlíku než 0,03 %.

Z konstrukčního hlediska lze rozdělit EIP na: [28]

- pece kanálkové (pro tavbu slitin a neželezných kovů)
- pece kelímkové: středofrekvenční, vysokofrekvenční

Vysokofrekvenční elektrické indukční kelímkové pece jsou využívány jako pece laboratorní, hmotnost vsázky se pohybuje v gramech až po několik set gramů. Používá se spíše k tavení technických kovů (např. zlato, stříbro a jiné). Středofrekvenční elektrické indukční pece kelímkové (EIPK) se staví nejčastěji od několika desítek kilogramů až po hmotnost tavby přes 25 tun. Pece o hmotnosti tavby 40 – 250 kg jsou běžně používány ve slévárnách přesného lití. Ve slévárnách ocelí se EIPK využívají převážně pro výrobu ocelí určených pro odlévání odlitků střední a malé hmotnosti, zejména na formovacích linkách. [28]

6.3.1 Přehled předností EIPK středofrekvenční ve srovnání s EOP

přednosti technologické: [28]

- umožňují dodávat tavby o menší hmotnosti (nejčastěji 1 až 6 t)
- díky rychlé tavbě oceli lze při použití dvou nebo tří indukčních pecí zásobovat formovnu téměř plynule tekutým kovem
- během tavby je tavenina po celou dobu indukčně míchána, což vylepšuje podmínky během tavby, je dosaženo chemické i tepelné homogenity taveniny, lze tak dosáhnout u výsledné oceli požadovaného chemického složení, za použití nižšího množství legujících prvků
- nižší obsah dusíku (N) a vodíku (H) v oceli
- jelikož je tavba prováděna technologií indukčního ohřevu, netavíme grafitovou tyčí, a tak nedochází k nauhličení taveniny. To umožňuje výrobu korozivzdorných ocelí s obsahem uhlíku pod 0,03 %.

přednosti ekonomické: [28]

- nižší spotřeba elektrické energie
- nízký a reprodukovatelný propal železa a legujících prvků
- možnost legovat drahé legující prvky na spodní hranici rozmezí určené materiálovým listem, vede k úspoře feroslitin
- u agregátů o stejné výrobnosti mají EIPK přibližně poloviční hmotnost tavby, s tím souvisí nižší pořizovací náklady na haly, jeřáby a jiná obslužná zařízení.
- nižší náklady na ekologizaci provozu

ekologické přednosti: [28]
- nižší hlučnost
- menší vznik exhalací
- menší vznik pevných odpadů související s provozem pece

6.4 Sekundární metalurgie

Před výběrem a začleněním sekundární metalurgie do postupu výroby oceli je nutné provést důkladnou analýzu současného postupu výroby, který zahrnuje současnou technologii výroby oceli, sortiment vyráběných ocelí i odlitků a jakost ocelí. Tato analýza je poté porovnávána s analýzou postupu výroby oceli, která má již v sobě zakomponovanou sekundární metalurgii. Sleduje se hlavně, jestli dojde ke zlepšení jakosti a vlastností ocelí, omezení čistírenských prací, změna žáruvzdorných materiálů apod. Je nutné zdokumentovat veškeré technické parametry a změny, které by zavedení nové technologie přineslo a především je promítnout do ekonomického hodnocení. [28]

V současnosti existuje celá řada různých technologických prvků sekundární metalurgie zahrnující více než 50 způsobů mimopecní rafinace oceli. Rozdělují se podle zařízení, na kterém probíhají, tj. na postupy v pánvi nebo v konvertoru. Dalším dílčím rozdělením je zda pracuje sekundární metalurgie za atmosférických podmínek nebo za sníženého tlaku (vakuová metalurgie), případně zda lze dmýcháním některých plynů, zpravidla inertních, snížit parciální tlak některé ze složek kovu, např. parciální tlak oxidu uhelnatého. Dále se rozlišuje, zda sekundární metalurgie v daném postupu umožňuje či neumožňuje příhřev upravovaného kovu. Na **obr. 6.3** jsou v tabulce stručně popsány charakteristiky vybraných pochodů sekundární metalurgie a jejich přínos pro zpracování oceli. [28]

Postup sekundární metalurgie	Popis	Označení	Přínos
Dmýchání inertních plynů	Dmýchání argonu (N_2) případně dmýchání pod aktivní struskou	AP	teplotní a chemická homogenizace, částečná rafinace oceli, odsíření
Přidávání přísad (injektáž) do tekuté oceli	Dmýcháním prachových přísad (CaO, Ca apod.)	SL, TN, IP	snížení O a S, modifikace vměstků a zvýšení mikročistoty, částečně legování
	Zavádění speciálních plněných profilů	SCAT	
Ohřev oceli pod aktivní struskou	Kov je ohříván a promícháván inertním plynem s aktivní struskou	LF	teplotní a chemická homogenizace, snížení obsahu S, modifikace vměstků, legování
Vakuové zpracování oceli	V komoře	RH, DH	rychlé oduhličení, snížení obsahu vodíku
	V proudu - během odpichu - během lití		snížení obsahu vodíku případně dusíku, omezení sekundární oxidace
	S příhřevem pod aktivní struskou	ASEA-SFK, VAD	hluboké odsíření, snížení obsahu vměstků a jejich modifikace, teplotní a chemická homogenizace, legování
Oxidační vaukování	V pánvi	VOD	hluboké oduhličení (použití u Cr ocelí), snížení obsahu H, N hluboké odsíření, legování
Oxidace směsí Ar-O	V konvertoru	AOD	
Oxidace směsí H_2O-O	V konvertoru	CLU	

Obr. 6.3 Stručný přehled sekundárních metalurgií [28]

Pečlivé zaměření na požadavky a očekávání od sekundární metalurgie a vyhotovení důkladné analýzy je proto absolutně nezbytné, protože žádný z prvků sekundární metalurgie není zcela univerzální, ale je vhodný pouze pro některé metalurgické aplikace, případně sortiment odlitků nebo jakostí ocelí. Ve velkých slévárnách se běžně využívá stavebnicového systému prvků sekundární metalurgie. Ten podle specifických podmínek slévárny umožňuje postupně realizovat řadu metalurgických variant sekundární metalurgie a také jednotlivé prvky sekundární metalurgie vhodně kombinovat. [28]

Na **obr. 6.4** je znázorněn přehled univerzálnosti jednotlivých metod sekundární metalurgie.

postup mimopecní rafinace oceli		snížení obsahu				teplotní a chemická homogenizace	přesné legování	řízená dezoxidace	zvýšení mikročistoty	modifikace vměstků	ohřev oceli
		C	S	H	N						
dmýchání inertních plynů	AP	n	n	č	č	a	č	n	č	n	n
přidávání přísad do tekuté oceli	IP, SL, TN	n	a	n	n	a	a	a	a	a	n
ohřev oceli pod aktiní struskou	LF	n	a	n	n	a	a	a	a	n	a
vakuové zpracování oceli	RH, DH	a	č	a	č	a	a	a	č	n	n
	VAD, ASEA-SKF	a	a	a	č	a	a	a	a	n	a
oxidační vaukování	VOD	a	n	a	č	a	a	a	a	č	č
oxidace směsí Ar-O	AOD	a	č	č	č	a	a	a	a	č	č
oxidace směsí H_2O-O	CLU	a	č	č	č	a	a	a	č	č	č

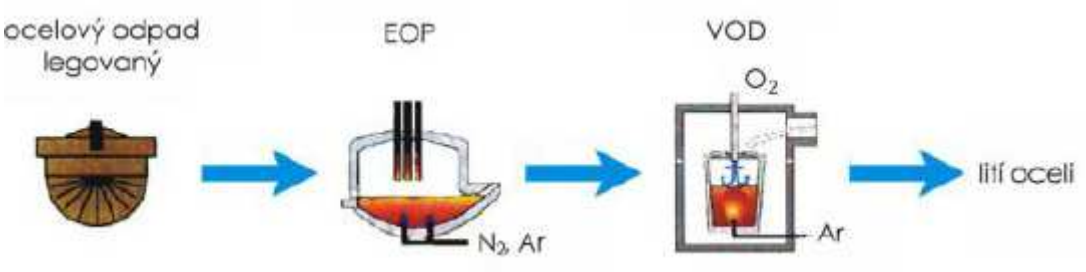
Obr. 6.4 Metalurgické možnosti některých postupů sekundární metalurgie, a – ano, n – ne, č – částečně [28]

Následně na **obr. 6.5** jsou znázorněny detailnější možnosti jednotlivých postupů sekundární metalurgie. Hodnoty uvedené v tabulce na **obr 6.5** odpovídají průměrným provozním hodnotám, které byly dosahovány na zařízeních používaných v období 90. let. [28]

Pochod sekundární metalurgie	Změna obsahu prvku				legování	ΔO [°C]	modifikace vměstků
	ΔS [%]	ΔH [ppm]	ΔN [ppm]	ΔO [%]			
	1	2	3	4	5	6	7
AP + struska	-50-60 %	+ (3-4)	+ (0-20)	-50 %	ohraničené	-(10-15)	ne
IP - tryska	-50-80 %	+ (2-5)	+ (20-40)	-50 %	velký propal	-(40-60)	ano
IP - profil	-50-80 %	+ (0-2)	+ (0-20)	+/-	vynikající	-(10-15)	ano
LF	cca -50 %	+	+	-50 %	vynikající	+/-	ne
RH	-	-80 %	-30 %	-50 %	vynikající	-50	ne
VD	-70-90 %	-60 %	-50 %	-50 %	ohraničené	-50	ne
VAD	cca -70 %	-80 %	-50 %	-50 %	vynikající	+/-	ne
AOD	-70-80 %	-60 %	-70 %	-50 %	dobré	+/-	ne

Obr. 6.5 Možnosti jednotlivých postupů sekundární metalurgie [28]

V České republice se lze setkat se sekundární metalurgií jen velice zřídka, ale například Vítkovické železárny využívají pochodu VOD (Vacuum Oxygen Decarburisation), který je začleněn do výroby oceli. Systém spočívá v natavení legované vsázky, které probíhá v EOP. Následně se provádí pochod VOD, hluboké oduhličení kyslíkem v pánvi, která je umístěná ve vakuovém kesonu. Tento postup je použitelný pro výrobu i těch nejnáročnějších jakostí ocelí, ovšem v nákladech není schopen konkurovat konvertorovým způsobům výroby korozivzdorných ocelí. [31]



Obr. 6.6 Výroba korozivzdorné oceli systémem EOP-VOD [31]

7. POUŽITÍ ODLITKŮ Z KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ V PRAXI

Celosvětová výroba oceli v roce 2000 je odhadována na 800 miliónů tun. Z toho ocel na tváření činí 98% a zbytek jsou oceli na odlitky. Z vysokolegovaných ocelí jsou korozivzdorné oceli nejrozšířenější vyráběnou skupinou. Na konci 20. století se pohybuje výroba korozivzdorných ocelí kolem 18 až 19 miliónů tun (přibližně 2,31 % celosvětové výroby) a každoročně jejich výroba roste o 5 až 8 %. Ročně se tedy vyrobí přibližně 0,37 miliónů tun (přibližně 0,046 % celosvětové výroby) korozivzdorných ocelí na odlitky. [6]

Z uvedených čísel tedy vyplývá, že korozivzdorné oceli na odlitky nezastupují nijak významné procento jejich výroby. Nejčastěji se lze setkat s odlitky z korozivzdorných ocelí v chemickém, potravinářském, ale také i energetickém průmyslu, převážně pro jejich ojedinělé vlastnosti, za kterých by běžné oceli pro rozmanitost specifických požadavků nebylo možno vůbec použít. [6], [24]

Použití v energetickém průmyslu

Korozivzdorné oceli se v energetickém průmyslu používají na výrobu lopatek spalovacích a parních turbín, potrubních systémů, armatur, oběžných kol čerpadel a dalších. Veškeré tyto součásti jsou nejvíce namáhány erozivní korozí. V energetickém průmyslu se proto využívají martenzitické korozivzdorné oceli. Tyto oceli se vyznačují vysokou tvrdostí povrchu a v kombinaci s velmi hladkým povrchem poskytují dobrý základ korozní odolnosti proti erozi. Na **obr 7.1, 7.2, 7.3, 7.4** a **7.5** jsou uvedeny odlitky určené pro energetický průmysl, které byly vyrobeny ve společnosti ŽĎAS, a.s. [24], [25], [32], [33]

Obr. 7.1 Francisova turbína [32]

Obr. 7.2 Kaplanova turbína [32]

Obr. 7.3 Čerpadlo [32]

Obr. 7.4 Ventily vodních elektráren [32]

Obr. 7.5 Hrubovaný odlitek lopatky Kaplanovy turbíny [33]

Použití v potravinářském a chemickém průmyslu:

Odlitky používané v chemickém a potravinářském průmyslu jsou typologicky velice podobné. Jedná se o nejrůznější armatury, ventily, pumpy, čerpadla, oběžná kola, příruby, rozvody potrubí, součástí strojů a jiné. Na tyto odlitky nejsou kladeny tak vysoké požadavky na tvrdost povrchu jako je tomu u odlitků v energetickém průmyslu, ale oproti tomu musí splňovat nejpřísnější hygienické předpisy a musí dobře odolávat organickým i anorganickým kyselinám, proto bývají převážně z austenitických, feritických nebo duplexních austeniticko-feritických korozivzdorných ocelí. Na **obr 7.6, 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 7.12, 7.13, 7.14, 7.15** a **7.16** jsou uvedeny odlitky využívané v chemickém a potravinářském průmyslu. [25], [26], [27]

Obr. 7.6 Příruby [34]

Obr 7.7 Součást hydraulického mechanismu [34]

Obr. 7.8 Ventil [35]

Obr. 7.8 Odstředivé čerpadlo[36]

Obr. 7.8 Uzavírací matice [37]

Obr. 7.9 Šnekový domek [37]

Obr. 7.9 Vlčí šnek [37]

Obr. 7.10 Komplet maso mlecího zařízení pro potravinářský stroj [37]

Obr. 7.11 Oběžná kola čerpadel [38]

Obr. 7.12 Odlitky pro potravinářský průmysl [39]

Obr. 7.13 Kulové uzávěry ventilů [39]

Obr. 7.14 Tělesa ventilů [39]

Obr 7.15 Odlitky strojních součástí [40]

Obr. 7.16 Odlitky pro chemický průmysl [40]

Korozivzdorné oceli na odlitky nejsou pouze výsadou monumentálních odlitků používané v energetickém průmyslu, kterými jsou například oběžná kola turbín, ale používají se i pro přesné lití od pár desítek gramů až po kilogramy. Zástupcem odlitků přesného lití bývají zpravidla šperky a nejrůznější ozdoby z chirurgické oceli označení 316L (**obr. 7.17 a 7.18**).

Obr. 7.17 Šperky [41]

Obr. 7.18 Těleso hodinek z korozivzdorné oceli [42]

Chirurgická ocel je využívána pro nejrůznější ozdoby a šperky především z důvodu, že je hypoalergení, neuvolňuje žádné niklové soli a nezpůsobuje žádné alergické reakce. Většina vyrobených odlitků sloužící jako šperky je následně opracována technologií PVD (Physical Vapor Deposition). Jedná se o technologii úpravy povrchu, kde se proces skládá z postupného odpaření kovu (začíná se od nejvyšších mikroskopických výstupků) a dochází tak k vyhlazení odlitého šperku, přičemž vypařený kov reaguje například s dusíkem, se kterým tvoří na povrchu šperku tvrdý nitridický povlak. Po této úpravě má šperk extrémně lesklý vzhled a vykazuje vysokou otěruvzdornost. [43]

V posledních letech si nachází odlitky z korozivzdorných ocelí své použití i na takových místech, kde nejsou korozní nároky nijak vysoké a plní tak roli spíše estetickou, například jako příslušenství v domácnosti (**obr. 7.19, 7.20 a 7.21**)

kovopolotovary.cz

Obr. 7.19 Sloupek zábradlí [44]

Obr. 7.20 Úchyty [34]

Obr.7.21 Vodovodní baterie [45]

8. ZÁVĚR

Korozivzdorné oceli mají ve srovnání s jinými ocelemi zejména jednu ojedinělou vlastnost, a to schopnost pasivace. Tato schopnost se projevuje velmi tenkou ochrannou vrstvou ušlechtilých oxidů, které vykazují vysokou korozní odolnost a tak chrání ocel před korozí. Pasivace je u korozivzdorných ocelí docíleno legováním minimálně nad 11,5 % chromu. S rostoucím obsahem chromu se korozní odolnost ocelí výrazně zvyšuje. Pro splnění speciálních požadavků a vysokých nároků, které mohou být na korozivzdorné oceli kladeny, lze tyto oceli obohacovat o další legující prvky, které ještě více vylepšují jejich korozní odolnost. Mezi takové prvky se řadí nikl, vanad, wolfram, molybden a další ušlechtilé kovy. Korozivzdorné oceli se řadí mezi vysokolegované oceli a obsahují, jak název napovídá, vysoké množství legujících prvků. Tyto legující prvky jsou cenově nákladné a musí se promítnout v ceně korozivzdorných ocelí. Z tohoto důvodu patří korozivzdorné oceli ve srovnání s jinými ocelemi k těm cenově nákladnějším. Na druhou stranu jsou tyto oceli cenově úspornější, co se týče následných operací vedoucí k prodloužení životnosti. Jelikož jsou oceli chráněny pasivní vrstvou nevyžadují již žádnou další ochranu povrchu, která se u běžných ocelí provádí nejrůznějšími povlaky a nátěry. To také dělá z korozivzdorných ocelí plně recyklovatelný materiál. Další cenovou úsporu přináší dlouhá životnost a minimální požadavky na údržbu korozivzdorných ocelí. [2], [6], [8], [23], [24]

Stejně jako u běžných ocelí tak i u korozivzdorných ocelí je většina součástí vyrobena z ocelí na tváření. Jsou to nejrůznější výkovky, výtažky, válcované profily a jiné. Odlitky z korozivzdorných ocelí pak tvoří jen malé procento výroby. K odlévání korozivzdorných ocelí se technologové uchylují v těch případech, kdy jsou součásti příliš tvarově složité nebo příliš rozměrné a nelze je vyrobit jiným technologickým postupem nebo by použitý způsob výroby byl příliš nákladný. S obzvláště tvarově složitými nebo rozměrnými součástmi se lze setkat v energetickém průmyslu, pro který jsou odlévány z korozivzdorných ocelí lopatky turbín, oběžná kola čerpadel, armatury, ventily a podobně. [6], [8], [23]

Způsob přípravy tekutého kovu za několik posledních desítek let prošel mnoha technologickými inovacemi, které dovolují vyrábět stále čistší a jakostnější oceli. Převážně pro korozivzdorné oceli jsou tyto nové technologie velikým přínosem, ať už se jedná o vylepšení tavícího postupu nebo nejrůznější pochody sekundární metalurgie. Po úspěšném zavedení inovace do výroby korozivzdorných ocelí, na základě důkladné analýzy, se jejich výroba stává více ekonomickou. [28], [31]

Výroba korozivzdorných ocelí každoročně roste přibližně o 5 až 8 %. To signalizuje, že používání korozivzdorných ocelí se čím dál tím více jeví jako vhodné řešení, ať už mají sloužit jakémukoliv účelu. V některých případech si firmy dokonce objednávají korozivzdorné oceli o vlastním chemickém složení, o kterých vědí, že maximálně vyhovují jejich potřebám. To dělá z korozivzdorných ocelí velice perspektivní materiál. [6], [21]

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BRASS PARTS INDIA. *Stainless Steel Castings: Stainless Steel 304 316* [online]. [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: http://www.brass-parts-india.com/Stainless-Steel-Fittings/Stainless-Steel-Casting-castings.html

[2] ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. 1.vyd. Praha: Academia AV, 1999, 437s. ISBN 80-200-0671-0.

[3] BALASUBRAMANIAM, R. The corrosion resistant Delhi iron pillar. *Indian institute of technology Kanpur* [online]. 1988, roč. 1, č. 3 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://www.iitk.ac.in/infocell/Archive/dirnov1/iron_pillar.html

[4] Sloup v Dillí. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sloup_v_Dill%C3%AD

[5] HRSTKA, Jan; MÍŠEK, Bohumil. *Koroze a povrchová úprava kovů*. 1. vyd. Brno: VUT, 1973, 208 s.

[6] PTÁČEK, Luděk. a kol. *Nauka o materiálu II*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002, 391 s. ISBN 80-7204-248-3.

[7] KRAUS, Václav. KATEDRA MATERIÁLŮ A STROJÍRENSKÉ METALURGIE - STROJNÍ FAKULTA ZČU. *Povrchy a jejich úpravy* [online]. Studijní materiály ZČU. 174 s. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf

[8] ČÍHAL, Vladimír. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1978, 408 s. DT 669.14:620.193.

[9] Interakce povrchů s okolím. *Žárové nástřiky: moderní technologie povrchových úprav* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.kmm.zcu.cz/CD/content/2.html

[10] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2006, 185 s. ISBN 80-708-0600-1.

[11] ODDĚLENÍ POVRCHOVÉHO INŽENÝRSTVÍ - ZČU. *Rozdělení a označení ocelí* [online]. Studijní materiály ZČU. 31 s. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z WWW: http://www.ateam.zcu.cz/znaceni_oceli.pdf

[12] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Úvaly: ALBRA, 2003, 865 s. ISBN 80-864-9074-2.

[13] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN 42 0006. *Číselné označování a rozdělení slitin železa na odlitky*. Česká technická norma (ČSN). 1970, 12 s. Dostupné z WWW: http://www.unmz.cz/urad/csn-on-line

[14] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 10027. *Systémy označování ocelí: Část 1: Stavba značek ocelí*. Česká technická norma (ČSN). 2006. Dostupné z WWW: http://www.unmz.cz/urad/csn-on-line

[15] MARTINEC, Jiří, Zdeněk ŠVEIDLER a Jiří JANOVEC. ESAB VAMBERK, s.r.o. Korozivzdorné materiály: Základní typy ocelí a doporučení pro jejich svařitelnost. *Svět svarů* [online]. roč. 2003, květen, s. 2 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Korozivzdorn%C3%A9_2007.pdf

[16] ÚSTAV MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ ČVUT V PRAZE. *Rozdělení korozivzdorných materiálů* [online]. Studijní materiály ČVUT v Praze. 8 s. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://umi.fs.cvut.cz/files/01_kkm_rodeleni_korozivzdornych_materialu.pdf

[17] Application of the Schaeffler diagram. *VnWelding* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW : http://vnwelding.net/forum/showthread.php?t=640&page=2

[18] DeLong diagram. *Arcraft plasma* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.arcraftplasma.com/filtermetal.html

[19] EURO INOX. *Vlastnosti korozivzdorných ocelí* [online]. Brusel: Euro Inox, 2002, 22 s. [cit. 2013-05-16]. ISBN 2-87997-082-2. Dostupné z WWW: http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf

[20] Brinell hardness (HB), Rockwell hardness (HRC) and Vickers hardness (VH). *Dandong ruiding founding CO., LTD Borui casting internacional LTD* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://www.iron-foundry.com/castings-hardness.html

[21] NĚMEČEK, Stanislav. Ocel, materiál pro jednadvacáté století. *Vesmír* [online]. roč. 2011, č. 6 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://www.vesmir.cz/clanky/clanek/id/9267

[22] Conversion chart of Vickers Hardness (HV) to Rockwell C (HRC). *Taylor special steel* [online]. roč. 2011, č. 6 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://www.taylorspecialsteels.co.uk/pages/main/conchart.html

[23] FREMUNT, Přemysl; PODRÁBSKÝ, Tomáš. *Konstrukční oceli.* 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 1996, 267 s. ISBN 80-85867-95-8.

[24] BRENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. *MM Průmyslové spektrum* [online]. roč. 2003, duben [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW : http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy.html

[25] BRENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. *MM Průmyslové spektrum* [online]. roč. 2003, květen [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW : http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2.html

[26] BRENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. *MM Průmyslové spektrum* [online]. roč. 2003, červen [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2-2.html

[27] BRENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. *MM Průmyslové spektrum* [online]. roč. 2003, červenec [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2-2-2.html

[28] ŠENBERGER, Jaroslav. aj. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1. vyd. Brno: VUT v Brně – Nakladatelství VUTIUM, 2008, 311 s. ISBN 987-80-214-3632-9.

[29] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 1. vyd Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2001, 238 s. ISBN 80-214-2032-4.

[30] ČERNÝ, Václav. Indukční ohřev 3. *Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25267

[31] ADOLF, Zdeněk. FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Sekundární metalurgie* [online]. Studijní materiály VŠB - TUO. 95 s. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: http://www.fmmi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmmi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/618-Adolf-sekundarni_metalurgie.pdf

[32] ŽĎAS, a.s. *Metalurgie* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z WWW: http://www.zdas.cz/cs/index.aspx

[33] HRDINA, Stanislav. ŽĎAS: Lopatky pre najväčšie Kaplánové turbíny na svete. *Podbrzovan* [online]. Železiarne Podbrezová. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z WWW: http://www.oceloverury.sk/regionnoviny/podbrezovan.nsf/3b36dbd62a4b89e1c1257408004bee33/8d6b3e69e4f8f3c9c1257922002c3c1e?OpenDocument

[34] MADE-IN-CHINA.COM. *Stainless Steel Investment Casting* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z WWW: http://nbhuiyun.en.made-in-china.com/product/LKaEesTUOtcW/China-Stainless-Steel-Investment-Casting.html

[35] BRAY INTERNATIONAL. *Stainless stell valves* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z WWW: http://www.bray.com/

[36] PACKO. *Stainless steel centrifugal pumps* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z WWW: www.packopumps.com

[37] FOUNDRY&MACHINING. *Odlitky* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z WWW: http://www.foundry-machining.eu/odlitky.htm

[38] PAPCEL. *Oběžná kola čerpadel* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z WWW: http://www.papcel.cz/produkty-pripravna-latky-stroje/subdodavky/stroje/cerpadlo-scanpump/

[39] NINGBO HONGYI METAL CASTING FACTORY. *Stainless steel casting* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z WWW: http://www.hyinvestmentcasting.com/castings/stainless-steel-casting%28CNC-Machining%29.htm

[40] NINGBO YINZHOU HUIYUN MECHANICAL PARTS FACTORY. *Stainless Steel Investment Casting* [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z WWW: http://nbhuiyun.en.made-in-china.com/product/LKaEesTUOtcW/China-Stainless-Steel-Investment-Casting.html

[41] BROŽOVÁ, Jitka. *Internetový obchod: Specialista na ocelové šperky* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z WWW: http://www.sperky4u.eu/

[42] TIMESTORE.CZ. *Hodinky z nerez ocelí* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z WWW: http://www.timestore.cz

[43] SANDVIK COROMAT. *PVD povlaky: Popis a vlastnosti* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z WWW: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/coating-%E2%80%93-pvd.aspx

[44] KOVOMAT H+H. *Nerezové zábradlí* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z WWW: http://www.kovopolotovary.cz/

[45] KOUPELNY-SEN. *Nerezová sprchová baterie* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z WWW: http://www.koupelny-sen.cz

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AP	Argon Pouring
IP	Injection proces
SL	Scandinavian Lancers
TN	Thüssen Niederrhein
LF	Ladle Furnace
RH	Rührstahl Heraeus
DH	Dortmund Hütteunion
VAD	Vakuum Arc Degassing
VOD	Vakuum Oxygen Decarburisation
AOD	Argon Oxygen Decarburisation
CLU	Creusot-Loire-Uddeholm