

VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA
TECHNICKÉ CHEMICKÁ
V BRNĚ



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta chemická
Centrum materiálového výzkumu
Laboratoř kovů a koroze
Purkyňova 464/118
612 00 Brno

Výzkumná zpráva

Vlastnosti korozivzdorných ocelí

Objednatel: Čegan s.r.o.
Husova 1693/35
664 51 Šlapanice u Brna

Vedoucí pracoviště: Ing. Jaromír Wasserbauer, Ph.D.

Odpovědný řešitel: Ing. Matěj Březina



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Centrum materiálového výzkumu
Purkyňova 118, 612 00 Brno
Česká republika

Brno, 19. dubna 2017

*Laboratoř kovů a koroze Centra materiálového výzkumu FCh VUT v Brně je řízena
na základě certifikace systému managementu kvality dle ISO 9001:2008*

OBSAH

Úvod	2
Hlavní legovací prvky korozivzdorných ocelí	3
Rozdělení korozivzdorných ocelí	5
Austenitické	5
Feritické	5
Duplexní	5
Martenzitické	6
Precipitačně vytvrditelné	6
Vlastnosti Korozivzdorných ocelí 201, 304 a 316	7
Ocel 201	7
Ocel 304	9
Ocel 316	11
Shrnutí	13
Závěr	14
Literatura	15

ÚVOD

Degradace oceli obvykle probíhá tvorbou oxidů a hydroxidů za zvýšených teplot nebo v přítomnosti vody a kyslíku. Oxidické vrstvy, které se za takovýchto podmínek na povrchu ocelí vytvářejí, nejsou obvykle kompaktní a dochází k jejich odlupování. Při vysokoteplotních aplikacích dochází na povrchu oceli k tvorbě šupinek oxidů železa - okují, ty se během provozu odlupují. Ocel tak není před další oxidací chráněna, tímto mechanismem tak může dojít až k úplné degradaci běžných uhlíkových ocelí. Oxidické a hydroxidické vrstvy na běžné uhlíkové oceli, k jejichž tvorbě dochází ve vodném prostředí, mají nízkou soudržnost a vysokou pórovitost, dochází tedy k jejich snadnému odloupení od povrchu oceli degradace materiálu tak může probíhat až do úplného rozrušení materiálu. Pochody, při jejichž působení dochází k degradaci oceli vlivem prostředí, se označují jako koroze.

Oceli se ovšem mohou při reakci s prostředím pokrýt kompaktní vrstvou oxidů a hydroxidů, která brání pronikání korozního prostředí k povrchu materiálu, ocel se tak stává pasivní, neboli v daných podmínkách korozně odolná. Tento jev je možné pozorovat u běžných ocelí pouze v silně zásaditém prostředí, legováním ocelí chromem se oblast pasivity značně rozšiřuje i do kyselé oblasti. Chrom se za přítomnosti kyslíku pokrývá tenkou, ovšem velmi kompaktní vrstvou oxidu chromitého, která chromu poskytuje vynikající odolnost proti korozi. Pro dosažení vzniku kompaktní vrstvy oxidu chromitého na povrchu oceli je potřeba ocel legovat minimálně 11 hm. % chromu. Pro stabilitu této vrstvy i ve vodném prostředí je minimální obsah chromu 12 hm. %. Oceli legované alespoň 11 hm. % chromu se tedy nazývají korozivzdorné.

Obsah chromu se v korozivzdorných ocelích pohybuje v rozmezí 11-30 hm. %, v závislosti na agresivitě prostředí, kterému jsou oceli vystaveny. Se zvyšujícím se obsahem chromu se rozšiřuje oblast stability oxidické vrstvy, a tím tedy i odolnosti ocelí proti korozi. Problematické jsou ovšem roztoky solí, především chloridy. Chloridy jsou obecně velice agresivní vůči korozivzdorným ocelím, protože dokáží pronikat oslabenou oxidickou vrstvou a vytváří tak lokalizovaná centra korozního napadení, která mohou zasahovat do značné hloubky, často dochází až k prokorodování materiálu. Tento typ korozního napadení je typický pro korozivzdorné oceli a je označován jako pitting. Dalšími legovacími prvky v korozivzdorných ocelích bývají nikl, molybden, mangan, dusík, uhlík, hliník, měď a titan. Tyto prvky obvykle nemají zásadní vliv na protikorozní vlastnosti ocelí za atmosférických podmínek, ovšem mají značný vliv na protikorozní vlastnosti v elektrolytech (voda s rozpuštěnými minerálními látkami), mikrostrukturu, mechanické vlastnosti a vysokoteplotní odolnost ocelí. Ze strukturního hlediska se korozivzdorné oceli dělí na austenitické, feritické, martenzitické, duplexní a precipitačně vytvrditelné. Každá tato skupina ocelí má své specifické vlastnosti, díky kterým je možné korozivzdorné oceli používat v širokém spektru aplikací.

HLAVNÍ LEGOVACÍ PRVKY KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

Chróm

Chróm je základní legovací prvek korozivzdorných ocelí, podporuje feritickou strukturu ocelí, minimální obsah chrómu potřebný pro vytvoření kompaktní pasivní vrstvy na povrchu je 11 hm.%. V tomto množství dochází k vytvoření pouze tenké pasivní vrstvy, která je odolná pouze v suchých atmosférických podmínkách. Pro vytvoření korozně odolnější pasivní vrstvy je nutné oceli legovat alespoň 18 hm.% chrómu, pro extrémně korozně namáhané součásti bývá obsah chrómu navýšen až na 30 hm.%. Vyšší obsahy chrómu v ocelích než je přibližně 20 hm.% jsou nežádoucí z hlediska houževnatosti, svařitelnosti a obrobitelnosti. Vysoký obsah chrómu může vést k vytvoření velmi tvrdé a křehké sigma fáze. Pro zvýšení korozních vlastností jsou tedy oceli legované 18 hm.% chromu doplňovány dalšími prvky zlepšujícími korozní odolnost. Především se jedná o molybden, při vysokoteplotních aplikacích se uplatňuje také přídavek niklu a pro některé aplikace i přídavek mědi.

Nikl

V dostatečném obsahu (přibližně 8 hm. %) stabilizuje v ocelích austenitickou strukturu, jedná se tedy o zásadní prvek v austenitických (nejrozšířenější série korozivzdorných ocelích - 300) a duplexních ocelích. Zlepšuje repasivační schopnost ocelí, zejména v redukčním prostředí a zvyšuje korozní odolnost proti minerálním kyselinám. Nikl má také pozitivní vliv na tvářitelnost ocelí. Obvyklý obsah niklu v austenitických ocelích se pohybuje v rozmezí 8 hm.% až 12 hm.%, u duplexních do 6 hm.%, maximální obsahy pro speciální aplikace ovšem mohou být až 30 hm.%.

Uhlík

Obsah uhlíku je obecně u korozivzdorných ocelí velmi nízký a to do cca 0,2 hm.%. Výjimku tvoří oceli martenzitické, kde se obsah uhlíku obvykle pohybuje v rozsahu 0,2 hm.% do 1,2 hm.%. Snižování obsahu uhlíku v korozivzdorných ocelích vede k nižším pevnostem, ovšem z hlediska korozní odolnosti je snížení uhlíku zcela zásadní, neboť prvky zodpovědné za vznik pasivního filmu na povrchu oceli, především chróm a molybden, mají vysokou afinitu k uhlíku, se kterým tvoří komplexní tvrdé sloučeniny – karbidy. Prvky vázané v karbidu pak nereagují s kyslíkem, nevzniká tedy ochranná pasivní vrstva oxidů a ocel začne podléhat korozi.

Molybden

Feritotvorný prvek, austenitické oceli legované molybdenem mají tedy zvýšený obsah niklu pro udržení austenitické struktury. Molybden přispívá k vytvoření pasivního ochranného filmu na ocelích a zvyšuje odolnost proti transkrystalické korozi a pittingu v přítomnosti chloridů. Oceli legované molybdenem do značné míry odolávají korozi v přítomnosti chloridů, ocel 316, která obsahuje přibližně 2,5 hm. % molybden, je korozně odolná i v přímořských oblastech.

Dusík

Dusík je v austenitických a duplexních ocelích prospěšný díky zvyšování odolnosti proti pittingu, potlačování vzniku křehké chrom-molybdenové sigma fáze a zpevňujícím účinku. U feritických korozivzdorných ocelí je ovšem nežádoucí z hlediska mechanických vlastností.

Mangan

V nízkých obsazích poskytuje ocelím podobné vlastnosti jako nikl, obvyklý obsah ve většině korozivzdorných ocelí je do 2 hm.%. Při vyšších obsazích zvyšuje u austenitických ocelí pevnost při tváření za studena, neposkytuje však pozitivní vliv na protikorozní vlastnosti jako nikl. Zásadní prvek v austenitických ocelích řady 200, u kterých částečně nahrazuje nikl.

ROZDĚLENÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

Pro označování korozivzdorných ocelí se často využívá americké normy ASTM. Série ocelí 200 a 300 jsou oceli austenitické. Série 400 obsahuje feritické a martenzitické korozivzdorné oceli a precipitačně vytvrditelné a duplexní oceli mají specifické značení dle konkrétního typu.

Austenitické

Struktura těchto ocelí je tvořena kubickou plošně centrovanou mřížkou – austenitem. Tato struktura poskytuje těmto ocelím vynikající tvárnost za studena a houževnatost. Stabilizace austenitu za pokojových teplot je dosaženo legováním oceli niklem, manganem nebo dusíkem, případně kombinací těchto prvků. Mezi přednosti austenitických korozivzdorných ocelí patří vynikající korozní odolnost a houževnatost a dobré mechanické vlastnosti jak za vysokých teplot, tak i v kryogenních podmínkách. Tyto materiály jsou nemagnetické a nekalitelné, zvyšování pevnosti a tvrdosti je možné pouze tvářením za studena. Deformačně zpevněné oceli tvářením jsou částečně feromagnetické díky malému množství transformačně indukovaného martenzitu na hranicích zrn, který také částečně přispívá ke zvýšení pevnosti a tvrdosti.

Hlavními legovacími prvky jsou chrom (16 hm.% až 26 hm. %) a nikl (4 hm. % až 35 hm. %) v sérii 300 a chrom nikl a mangan (5 hm.% až 12 hm. %) v sérii 200, vedlejší legovací prvky jsou pak molybden, dusík, titan a křemík. Molybden v těchto ocelích poskytuje zvýšenou korozní odolnost v prostředí chloridů a zvyšuje odolnost proti transkrystalické korozi. Nikl je v austenitických ocelích typu 2^{xx} nahrazován manganem. Oceli se zvýšeným obsahem manganu na úkor niklu mají nižší korozní odolnost, ovšem poskytují zvýšenou pevnost při tvářením za studena. Pro zvýšení pevnosti je také používán dusík jako náhrada za nízký obsah uhlíku.

Feritické

Jedná se o základní korozivzdorné oceli legované především chromem. Mikrostruktura feritických korozivzdorných ocelí je tvořena kubickou prostorově centrovanou mřížkou, díky které jsou tyto oceli magnetické a nekalitelné. Chrom je v těchto ocelích obvykle v rozmezí 11 hm. % až 30 hm. %. Pro zlepšení odolnosti proti pittingu a transkrystalické korozi je přidáván molybden do 2 hm. %. Předností těchto ocelí je srovnatelná korozní odolnost a nižší cena oproti austenitickým ocelím, ovšem kryogenní a vysokoteplotní mechanické vlastnosti jsou horší, také houževnatost a tvářitelnost jsou nižší. Oceli s vysokým obsahem chromu mají navíc tendenci k tvorbě velmi křehké a tvrdé intermetalické fáze sigma, kvůli které u těchto ocelí značně klesá houževnatost.

Duplexní

Dvoufázová struktura těchto ocelí je tvořena austenitem a feritem v poměru obvykle 1:1. Dvoufázová struktura je u těchto ocelí připravena kombinací chemického složení a tepelného zpracování. Hlavními legovacími prvky jsou chrom (obdobný obsah jako u austenitických ocelí) a nikl, jehož obsah se pohybuje obvykle okolo 5 hm. %. Předností těchto ocelí je výborná korozní odolnost (srovnatelná s austenitickými) a dobré mechanické vlastnosti (pevnost a houževnatost).

Martenzitické

Tyto oceli jsou používány v kaleném stavu, mikrostruktura je tedy martenzitická. Hlavními legovacími prvky jsou chrom (11 hm. % až 18 hm. %) a uhlík (0,2 až 1,2 hm. %). Dalšími prvky bývají molybden a vanad. Korozní odolnost těchto ocelí je z korozivzdorných ocelí nejnižší, také houževnatost je ve srovnání s austenitickými oceli velmi nízká, ovšem jejich předností je vynikající pevnost, tvrdost a otěruvzdornost.

Precipitačně vytvrditelné

Mikrostruktura těchto ocelí je obvykle austeniticko-martenzitická případně plně martenzitická. Obsah chromu se pohybuje v rozmezí 11 hm. % až 18 hm. % a niklu 4 hm. % až 9 hm. %. Vytvrzovací charakter uhlíku je nahrazen přidavkem prvků schopných tvořit ve struktuře oceli intermetalické sloučeniny – Al, Cu, Nb, Ti. Předností těchto ocelí je vynikající korozní odolnost a výborné mechanické vlastnosti.

VLASTNOSTI KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ 201, 304 A 316

Ocel 201

Chrom-nikl-manganová ocel 201 byla původně navržena pro úsporu niklu a zvýšení pevnosti. Ve srovnání s ocelmi ze série 300 (304 a 316) vede snížení obsahu niklu k mírnému zhoršení korozních vlastností, ovšem tvářením za studena vede k vyšším pevnostem. Ocel je nemagnetická, nekalitelná a svařitelná.

Typické použití:

- Kuchyňské vybavení (dřezy, nádoby, příbory)
- Architektonické prvky (rámy oken a dveří)
- Součástky v automobilovém a železničním průmyslu

Složení

Tabulka 1: Prvkové složení oceli 201

Prvek	Obsah (hm. %)
Cr	16 - 18
Ni	3,5 – 5,5
C	max. 0,15
Mo	-
N	max. 0,25
Mn	5,5 – 7,5
Si	max. 1
S	max. 0,03
P	max. 0,06

Mechanické vlastnosti

Hlavní předností všech austenitických ocelí je vynikající tvárnost a houževnatost ve značném teplotním rozsahu. Tvářením za studena navíc dochází k výraznému zvýšení meze kluzu a pevnosti vlivem deformačního zpevnění. U oceli 201 je míra zpevnění vyšší než u ocelí 304 a 316. Toto zvýšení je způsobeno tvorbou většího množství transformačně indukovaného martenzitu. Vlivem vyššího obsahu uhlíku a nižšího obsahu niklu je austenitická struktura v této slitině metastabilní, při dodání energie formou plastické deformace při tvářením tak dochází k částečné změně struktury. Díky tomu je možné u této slitiny tvářením zvýšit pevnost až na dvojnásobek ve srovnání s žíhaným stavem. Vlivem deformačního zpevnění však dochází ke značnému snížení houževnatosti.

Tabulka 2: Mechanické vlastnosti oceli 201

Stav materiálu	Mez pevnosti (MPa)	Mez kluzu (MPa)	Tažnost (%)
Žíhaný	760	380	52

Korozní odolnost

Série ocelí 200 má mírně nižší korozní odolnost oproti sérii 300, to je způsobeno především sníženým obsahem niklu a vyšším obsahem uhlíku. Vyšší obsah uhlíku v této slitině způsobuje vyšší pevnost, zároveň se však zvyšuje pravděpodobnost vzniku karbidů chrómu, což vede ke snížení korozní odolnosti. Při svařování dochází v tepelně ovlivněných oblastech ke zvýšené tvorbě karbidů chrómu. Oblasti s nižším obsahem chrómu pak podléhají koroznímu napadení především ve vodném prostředí. Pro odstranění karbidů je ocel po svařování nutné žíhat.

Korozní odolnost v prostředí elektrolytů obsahujících chloridy (mořská voda, lidský pot) je velmi nízká. Nízký obsah niklu vede ke snížené stabilitě pasivní ochranné vrstvy a ocel může podléhat koroznímu napadení především ve formě pittingu, v agresivnějším prostředí může probíhat i plošná a transkrystalická koroze. Korozní produkty koroze obsahují sloučeniny železa, chromu a niklu, který může způsobovat podráždění při kontaktu s kůží.

Vysokoteplotní odolnost

Vzhledem k nižšímu obsahu niklu je teplotní odolnost této oceli nižší než u 304 nebo 316, dlouhodobé použití je možné do teplot 816 °C. Nikl také zvyšuje pevnost slitin za zvýšených teplot.

Tepelné zpracování

Ocel není kalitelná, provádí se pouze žíhání pro snížení vnitřního pnutí a pro rozpuštění karbidů vzniklých v tepelně ovlivněné oblasti po svařování v rozmezí teplot 1010-1066 °C.

Ocel 304

Jedná se o nejpoužívanější korozivzdornou ocel, běžně se lze setkat s touto ocelí pod označením 18/8, kde 18 označuje obsah chrómu a 8 obsah niklu v hm. %. Oblíbenost této oceli v celé řadě aplikací je způsobena dobrou korozní odolností v běžných atmosférických podmínkách, vynikající houževnatostí, zpracovatelností a relativně nízkou cenou. Díky austenitické struktuře je tato ocel dobře tvářitelná za studena bez nutnosti žhání. Austenitická struktura také umožňuje dobrou svařitelnost oceli všemi běžnými metodami, problém nastává u větších svarů, kde výrazné tepelné ovlivnění oceli vede k tvorbě karbidů chrómu, což má za následek zhoršení korozní odolnosti ve vodném prostředí především v přítomnosti chloridů. Pro odstranění vzniklých karbidů je nutné provést žhání.

Běžné využití oceli:

- Nejrozšířenější korozivzdorná ocel
- Potravinářský průmysl (pivovarnictví, mlékárenský průmysl, výroba vína atp.)
- Kuchyňské vybavení (dřezy, varné nádobí, příbory atp.)
- Architektonické prvky (zábradlí, obložení, sanitární předměty atp.)
- Nádoby pro přepravu a uchování chemikálií
- Výměníky tepla
- Nádrže a potrubí na pitnou vodu

Složení

Tabulka 3: Prvkové složení oceli 304

Prvek	Obsah (hm. %)
Cr	18 - 20
Ni	8 - 12
C	max. 0,08
Mo	-
N	max. 0,10
Mn	max. 2,00
Si	max. 0,75
S	max. 0,03
P	max. 0,045

Mechanické vlastnosti

Předností této slitiny je vynikající houževnatost při zvýšených teplotách i v kryogenních podmínkách. Tvářením je možné zvýšit mez pevnosti až o 50 % při zachování houževnatosti.

Tabulka 4: Mechanické vlastnosti oceli 304

Stav materiálu	Mez pevnosti (MPa)	Mez kluzu (MPa)	Tažnost (%)
Žháný	585	235	60

Korozní odolnost

Korozní odolnost je výborná v běžných atmosférických podmínkách i ve vodném prostředí, ovšem v přítomnosti chloridů podléhá pittingu, štěrbinové korozi a korozi pod napětím (stress corrosion cracking – SCC). Korozní odolnost v prostředí chloridů je obecně problematická pro většinu korozivzdorných ocelí, dobrou korozní odolnost v prostředí bohatém na ionty poskytují oceli legované molybdenem (např. 316, 316L nebo 316Ti).

Odolnost proti pittingu v prostředí chloridů je vyšší ve srovnání s ocelí 201, především díky vyššímu obsahu niklu, ovšem v prostředí mořské vody je tato ocel stále nevyhovující. V kontaktu s lidským potem může také docházet ke koroznímu napadení ve formě pittingu, ovšem ve značně nižší míře oproti oceli 201.

Vysokoteplotní odolnost

Dlouhodobá vysokoteplotní odolnost proti oxidaci této oceli je dobrá až do teplot 925 °C. Při krátkodobém vystavení teplotám v rozmezí 425-860 °C dochází k precipitaci karbidů chrómu na hranicích zrn, což má za následek sníženou korozní odolnost ve vodném prostředí. Na korozní odolnost pro vysokoteplotní aplikace to však nemá vliv.

Tepelné zpracování

Austenitické oceli jsou nekalitelné, využívá se ovšem žíhání pro odstranění vnitřního pnutí po tváření a žíhání pro rozpuštění karbidů po svařování. Ohřevem oceli v rozmezí teplot 1010-1120 °C dojde k rozpuštění vzniklých precipitátů po svařování a k odstranění deformačního zpevnění, pro minimalizaci opětovné precipitace karbidů jsou nutné vysoké ochlazovací rychlosti, proto je ideálním chladícím médiem voda, menší díly je možné ochlazovat na vzduchu.

Ocel 316

Ocel 316 je po 304 nejpoužívanější austenitickou korozivzdornou ocelí. Přednost tohoto materiálu spočívají především v dobré korozní odolnosti i v prostředí chloridů oproti oceli 304. Mechanické vlastnosti, vysokoteplotní vlastnosti, svařitelnost i tepelné zpracování jsou v podstatě shodné s ocelí 304. Zvýšená korozní odolnost je způsobena legováním přibližně 2 hm. % molybdenu. Molybden poskytuje zvýšenou korozní odolnost proti mezikrystalické a štěrbinové korozi a pittingu v přítomnosti chloridů. Svařitelnost oceli je výborná všemi standardními metodami především díky vyššímu obsahu niklu a molybdenu. V tepelně ovlivněné části materiálu dochází k tvorbě karbidů chromu, čímž dojde ke snížení korozní odolnosti oceli v okolí svaru. Pro odstranění vzniklých karbidů je ocel nutné žíhat.

Běžné využití oceli:

- Potravinářský průmysl, prostředí se zvýšeným obsahem chloridů
- Laboratorní stoly a vybavení
- Architektonické prvky v přímořském prostředí (zábradlí, obložení, ploty)
- Nádoby pro přechování a transport chemikálií
- Tepelné výměníky
- Nádrže a potrubí pro pitnou vodu

Složení

Tabulka 5: Prvkové složení oceli 316

Prvek	Obsah (hm. %)
Cr	16 - 18
Ni	10 - 14
C	max. 0,08
Mo	2 - 3
N	max. 0,10
Mn	max. 2,00
Si	max. 0,75
S	max. 0,03
P	max. 0,045

Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti v žíhaném stavu této oceli jsou téměř shodné s ocelí 304.

Tabulka 6: Mechanické vlastnosti oceli 316

Stav materiálu	Mez pevnosti (MPa)	Mez kluzu (MPa)	Tažnost (%)
Žíhaný	580	235	60

Korozní odolnost

Tato ocel má vynikající korozní odolnost v běžných atmosférických podmínkách a mnoha korozních prostředích. Obecně je tato ocel korozně odolnější než 304 a 201. V prostředí bohatém na chloridy může také dojít ke vzniku pittingu a štěrbinové korozi, ovšem limitní obsah chloridů je přibližně dvojnásobný oproti oceli 304 (400 ppm pro 304 a 800 ppm pro 316 při 20 °C). Korozní napadení této oceli se ovšem obvykle nachází v okolí svarů, leštěná a žíhaná ocel je odolná i vůči značně korozním prostředím. Lidé s alergií na nikl mohou mít ovšem problémy i s touto ocelí, protože i přes výbornou korozní odolnost dochází k mírnému koroznímu napadení v kontaktu s agresivním prostředím, jako je lidský pot, v takovém případě dochází k uvolňování malého množství sloučenin niklu, které mohou vést k podráždění pokožky. Pro běžného uživatele je toto množství zanedbatelné v porovnání s ocelí 201.

Vysokoteplotní odolnost

Vysokoteplotní odolnosti ocelí 304 a 316 je obdobná. Dlouhodobá vysokoteplotní odolnost proti oxidaci této oceli je dobrá až do teplot 925 °C. Při krátkodobém vystavení teplotám v rozmezí 425-860 °C dochází k precipitaci karbidů chrómu na hranicích zrn, což má za následek sníženou korozní odolnost ve vodném prostředí. Na korozní odolnost pro vysokoteplotní aplikace to však nemá vliv.

Tepelné zpracování

Ocel je nekalitelná, z tepelného zpracování se využívá pouze žíhání v rozmezí teplot 1010-1120 °C s rychlým ochlazením. Žíhání se provádí pro snížení vnitřního pnutí po tváření za studena a pro rozpuštění precipitátů po svařování.

SHRNUTÍ

Výběr korozivzdorné oceli pro specifickou aplikaci zahrnuje zvážení několika faktorů, mezi které patří mechanické vlastnosti, zpracovatelnost, obrobiteľnosť, svařitelnost, možnosti povrchových úpravy a cena. Hlavním faktorem je ovšem korozní odolnost. Proto je v první řadě důležité znát charakter prostředí, kterému bude ocel vystavena. Po nalezení oceli s vhodnou korozní odolností, je možné zohlednit další faktory. V tabulce 7 jsou porovnány základní faktory ovlivňující výběr vhodné korozivzdorné oceli.

Austenitické korozivzdorné oceli 201, 304 a 316 mají v mnoha ohledech velice podobné vlastnosti. V suchých atmosférických podmínkách není z korozního hlediska mezi těmito ocelmi rozdíl. Podobně jsou na tom i mechanické vlastnosti, kde v žíhaném stavu je jen minimální rozdíl v hodnotách pevnosti, tvrdosti a houževnatosti. Pro aplikace v suchých atmosférických podmínkách, případně v čistém vodním prostředí by tedy stačila ocel 201. Ovšem pouze výjimečně je možné se spolehnout, že nedojde ke kontaminaci korozního prostředí. Z tohoto důvodu je nejrozšířenější korozivzdornou ocelí pro běžné použití v neagresivních atmosférických podmínkách a ve vodných prostředích ocel 304. Korozivzdorná ocel 316 je stabilnější i v agresivnějším prostředí obsahujícím chloridy, ovšem vyšší cena této oceli limituje její použití do prostředí, která vysokou korozní odolnost vyžadují (přímořské oblasti a vody s vyšším obsahem chloridů).

Protikorozní odolnost ocelí 201, 304 a 316 při kontaktu s lidským potem je značně rozdílná. Nízký obsah niklu v oceli 201 vede k vzniku značného korozního napadení ve formě pittingu což má za následek uvolňování sloučenin niklu, které mohou vést k podráždění pokožky. Oceli 304 a 316 mají vyšší obsah niklu, ovšem odolnost proti pittingu a korozi obecně je vyšší oproti oceli 201, díky čemuž je při vzniku pittingu obsah uvolněného niklu značně nižší, tyto oceli jsou tedy vhodné pro předměty denní potřeby u kterých je předpoklad častého kontaktu s člověkem.

Z hlediska mechanických vlastností jsou ve vyžíhaném stavu téměř shodné, ovšem tvářením za studena dochází k deformačnímu zpevnění ocelí, a to především u oceli 201. Vzhledem k vyššímu obsahu uhlíku a dusíku v této oceli dochází k výraznému zpevňujícímu efektu při tvářením a to jednak vlivem deformačního zpevnění ale také tvorbou většího množství transformačně indukovaného martenzitu na hranicích zrn oproti oceli 304 a 316.

Tabulka 7: Srovnání vlastností vybraných austenitických ocelí

Př.: ocel 316 má nejlepší korozní odolnost, srovnatelné mechanické vlastnosti jako ocel 304, je ovšem nejdražší.

	201	304	316
Mechanické vlastnosti	1	2	2
Korozní odolnost v suchých atmosférických podmínkách	2	2	1
Odolnost proti pittingu	3	2	1
Korozní odolnost v kontaktu s lidským potem	3	2	1
Cena	1	2	3

ZÁVĚR

Austenitické korozivzdorné oceli 201, 304 a 316 jsou vhodné do různých oblastí v závislosti na specifických požadavcích. Hlavní faktory ovlivňující použitelnost těchto ocelí jsou korozní odolnost v cílovém prostředí, mechanické vlastnosti a cena. Dle těchto kritérií lze jednotlivé oceli charakterizovat následovně:

- Ocel 201 se uplatní v oblastech s nízkými požadavky na korozní odolnost (suché atmosférické prostředí, čisté vodné prostředí), ale s vyššími požadavky na mechanické vlastnosti a nízkými finančními náklady. Není vhodná pro použití na předměty s častým lidským kontaktem.
- Ocel 304 má z korozivzdorných ocelí nejširší uplatnění díky dobré korozní odolnosti v řadě prostředí (atmosféra, vodné prostředí, oxidující prostředí, potravinářský průmysl atd.), dobrým mechanickým vlastnostem a přijatelné ceně. Díky dobré korozní odolnosti je vhodná pro předměty denní potřeby (kuchyňské vybavení, příbor, doplňky interiéru atp.).
- Ocel 316 se volí do specifických prostředí, ve kterých je kladen důraz na výbornou korozní odolnost a dobré mechanické vlastnosti, obsah molybdenu a vyšší obsah niklu oproti výše zmíněným ocelím ovšem vede k vyšší ceně. Výborná korozní odolnost umožňuje použitelnost této oceli i na šperkařské předměty (prsteny, pouzdra hodinek atp.).

LITERATURA

CAMPBELL, F. C. *Elements of metallurgy and engineering alloys*. Materials Park, Ohio: ASM International, c2008. ISBN 978-0-87170-867-0.

Design Guidelines for Selection and Use of Stainless Steels (9014). *Nickel Development Institute (NiDI)* [online]. 2011, 54.

PISTORIUS, P C a M TOIT. Low-Nickel Austenitic Stainless Steels : Metallurgical Constraints. *The Twelfth International Ferroalloys Congress; Sustainable Future*. 2010, 911–918.

G. S. FRANKEL. Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection. *ASM Handbook* [online]. 2003, 13A, 44073–2. ISSN 1748-605X.

ASM. Vol 13 - Corrosion. *ASM Handbook* [online]. 1992, 3455.

YUAN, Jun-ping, Wei LI, Chang WANG, Chun-yu MA, Ling-xia CHEN a De-dong CHEN. Nickel Release Rate of Several Nickel-containing Stainless Steels for Jewelries. *Journal of Iron and Steel Research, International* [online]. 2015, 22(1), 72–77. ISSN 1006706X.