

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



**KOROZNÍ ODOLNOST KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ
PRO POTRAVINÁŘSKÝ PRŮMYSL**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

MILAN ZAJÍC

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora: Milan

Příjmení autora: Zajíc

Název práce česky: Korozní odolnost korozivzdorných ocelí pro potravinářský průmysl

Název práce anglicky: The corrosion resistance of stainless steel for food industry

Rozsah práce:

- počet stran: 42
- počet obrázků: 14
- počet tabulek: 9
- počet grafů: 12

Akademický rok: 2016/2017

Jazyk práce: český

Ústav: Ústav strojírenské technologie

Studijní program: TZSI

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Červený Ph.D.

Konzultant práce: Ing. Jan Kudláček Ph.D.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá druhy korozních dějů, korozivzdornými materiály v potravinářském průmyslu a důvody korozního napadení v kyselých roztocích.

Experimentální část je věnována korozní zkoušce vybraných druhů korozivzdorných ocelí. Korozní zkouška byla prováděna ponořením vzorků korozivzdorné oceli do nádob s roztokem.

Klíčová slova

koroze, koroze v kyselých roztocích, korozivzdorné oceli, korozní zkouška, korozní úbytek, korozní rychlost

Annotation

This bachelor thesis deals with the types of corrosion mechanisms, corrosion resistance materials in food processing industry and corrosion in acid solution.

The experimental part of thesis is dedicated to the topic of corrosion test of stainless steels. The corrosion test was performed by immersing samples of stainless steel in a container with solution.

Keywords

corrosion, corrosion in acid solution, stainless steels, corrosion test, weight loss, corrosion rate

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

Milan Zajíc

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Červenému Ph.D. za jeho odbornou pomoc, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování bakalářské práce. Chtěl bych také poděkovat Ing. Janu Kudláčkovi Ph.D., který mi poskytl studijní materiály a pomohl s návrhem experimentu.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíl práce	10
3. Rozbor problematiky koroze	11
3.1. Historie	11
3.2. Problematika koroze.....	11
3.3. Druhy koroze	12
3.3.1. Rovnoměrná koroze.....	12
3.3.2. Bodová koroze	13
3.3.3. Štěrbínová koroze	13
3.3.4. Koroze za napětí.....	15
3.3.5. Mezikrystalová koroze	15
3.3.6. Selektivní napadení.....	15
3.3.7. Vodíková křehkost	16
3.3.8. Kavitační koroze.....	16
4. Korozivzdorné oceli	16
4.1. Martenzitické korozivzdorné oceli	17
4.1.1. Martenzitické chromové oceli bez niklu.....	17
4.1.2. Martenzitické chromové oceli s niklem.....	17
4.2. Feritické korozivzdorné oceli.....	18
4.2.1. 13% chromové feritické oceli	18
4.2.2. 17% chromové feritické oceli	18
4.2.3. 25% chromové feritické oceli	18
4.3. Austenitické korozivzdorné oceli.....	18
4.3.1. Chromniklové oceli	19
4.3.2. Chromnikmolybdenové oceli	19
4.3.3. Chrommanganniklové oceli	19
5. Odolnost korozivzdorných ocelí v kyselých nálevech	20
6. Experimentální část	20
6.1. Specifikace podmínek.....	21
6.2. Použitá zařízení.....	21
6.3. Technologický postup zkoušky	23
6.4. Vzorky použité při experimentu	25

6.5.	Vyhodnocení experimentu	27
6.5.1.	Optická zkouška	27
6.5.2.	Výpočet korozních úbytků	29
6.5.3.	Výpočet korozní rychlosti	36
7.	Závěr	40
8.	Seznam použité literatury	42

Seznam použité symboliky

%	Procenta
°C	Stupeň Celsia
CH ₃ COOH	Kyselina octová
Cr	Chrom
cm ³	centimetr krychlový
ČSN	Československá státní norma
EN	Evropská norma
g	Gram
H ₂ O	Voda
H ₂ SO ₄	Kyselina sírová
HCl	Kyselina chlorovodíková
hod	Hodina
Kč	Koruna česká
Kg	Kilogram
ISO	International Organization for Standardization
l	Litr
m ²	Jednotka plochy
mg	Miligram
min	Minuta
mm	Milimetr
Mo	Molybden
NaCl	Chlorid sodný, kuchyňská sůl
Ni	Nikl
Ot	Otáčky
př.n.l.	Před naším letopočtem
PÚ	Povrchová úprava
W	Watt
w	Hmotnostní zlomek

1. Úvod

Degradační proces nazývaný koroze, se týká mnoha materiálů. Neznámější je koroze kovů, ale korozi podléhají i materiály jako jsou sklo, beton, plasty nebo horniny. V současnosti jsou kovové materiály hojně používány. Každý inženýr musí brát v potaz problém koroze kovů a ochranu kovů před korozí především kvůli dosažení požadované kvality. Inženýři, kteří se zabývají návrhem kovových výrobků, mohou ovlivnit korozivzdornost kovů různými faktory. Mezi základní patří volba vhodného materiálu pro dané prostředí, ochranné povlaky materiálu a úprava korozního prostředí, ve kterém se výrobek bude nacházet. Dalším faktorem je cena materiálu. Při výběru materiálu, povrchové úpravy a dalších možností jak ovlivnit korozní proces je potřeba dosáhnout určitého kompromisu mezi požadovanou kvalitou a cenou.

V potravinářském průmyslu dochází ke styku potravin s mnoha zařízeními. Při návrhu zařízení je důležité dbát na minimalizaci rizik kontaminace potravin, a proto je nutné tyto zařízení vyrábět z vhodných materiálů. Nejpoužívanější materiál v potravinářském průmyslu jsou korozivzdorné oceli. Korozivzdorné oceli jsou využívány, jak jejich název napovídá, především kvůli jejich vysoké korozní odolnosti, ale také kvůli nezávadnosti a snadné detekci v případě, kdy se část zařízení dostane nedopatřením do produktu. [1][2]

2. Cíl práce

Tato bakalářská práce byla vypracována ve spolupráci s firmou VELTEKO s.r.o., která se potýká s problémy u svých balicích strojů v továrně na papričky jalapenos balené v konzervačním roztoku. Základní problém spočívá v tom, že jim korodují plechy z korozivzdorné oceli, které nejsou v přímém styku s konzervačním roztokem. Tento problém je způsoben odpařováním konzervačního roztoku v průběhu procesu balení. Vlivem kondenzace se páry vysráží na povrchu konstrukce z korozivzdorných ocelí balicího zařízení a způsobují korozní napadení.

Na následujících obrázcích je vidět korozní napadení korozivzdorné oceli 1.4301, již po roce v provozu. Teplota v továrně je $30^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

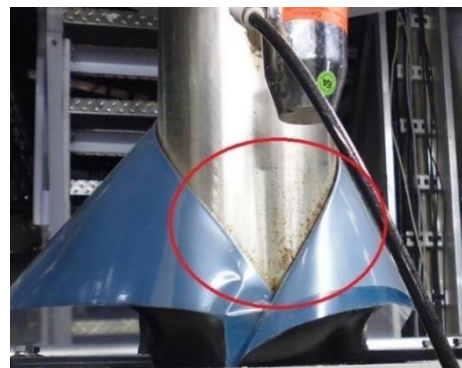


Obr.1: *Koroze na svodu produktu*



Obr.2: *Koroze na konstrukci krytů*

Cílem bakalářské práce je experimentálně otestovat vybrané korozivzdorné oceli. Na základě tohoto výzkumu vybrat vhodnou korozivzdornou ocel a její povrchovou úpravu, která by nejlépe odolávala konzervačnímu roztoku, s ohledem na ekonomické hledisko a zadání od firmy Velteko s.r.o.



Obr.3: *Koroze na plnicí trubce*

3. Rozbor problematiky koroze

3.1. Historie

Koroze je známa již několik tisíciletí, především ve své nejnámější formě koroze železa. První písemné záznamy o korozi se zachovaly od řeckého filozofa Platona, žijícího v letech 427-347 př. n. l. Platon rez považoval za látku vylučovanou ze železa. Další zmínka je v římských inženýrských dokumentech týkajících se vodních staveb, kde je zaznamenána koroze olova, mědi a železa. První pokusy o ochranu železa proti korozi v Čechách jsou datovány okolo roku 1000 cínováním, jenž se začalo využívat až v 17. století.

V následujících stoletích se ochraně železa před korozi věnovalo několik známých vědců. V 18. století francouzský vědec Lavoasier, který byl tvůrce kyslíkové teorie, podle které je kyslík podstatou tvorby rzi. V 19. století se korozi zabíral známý chemik a fyzik Michael Faraday. Až okolo poloviny 19. století je přesně definován termín koroze, který pochází z latinského slova *corrodere*, jenž v překladu znamená rozežít nebo rozhrýzat. Posléze bylo zjištěno, že spojení některých neušlechtilých kovů s železem má kladný vliv na korozivzdornost ve vodném roztoku solí. Následovala zjištění špatného vlivu slunečních paprsků na korozi železa. Následovaly další objevy, jejichž výsledkem bylo zjištění dobré odolnosti slitin chromu a železa vůči koroznímu napadání. [1][2]

3.2. Problematika koroze

V přírodě se většina kovů nachází ve stavu horniny a to ve formě oxidů, hydroxidů, křemičitanů, sulfidů, sulfanů, uhličitanů, atd. Výjimku tvoří drahé kovy např. zlato, stříbro, platina, které se vyskytují v podobě čistého kovu. Do hornin se musí dodat velké množství energie, aby z nich vznik čistý kov. Výsledkem tohoto procesu je kov s vyšší energetickou úrovní, což jej činí nestabilním a napadnutelnějším korozi. Přirozený průběh je navrácení do stabilního stavu s nižší energií. Během tohoto procesu se uvolňuje energie, která byla dodána do horniny kvůli vzniku kovu.[3]

Téměř všechny materiály, které člověk vyrábí a využívá k uspokojení vlastních potřeb, podléhají napadání korozi. Pod pojem koroze materiálu je možné zahrnout děje, které způsobují narušení materiálu, u nichž se hlavní mírou podílí chemické procesy.

Prostředí, které způsobuje korozi, je velmi rozmanité. Koroze vzniká ve všech přírodních prostředích: v atmosféře, půdě, sladké a slané vodě, která je agresivní. V průmyslových zařízeních působí různé kyseliny, soli a zásady. [1]

Dle normy ČSN EN ISO 8044 je koroze kovu definována jako fyzikálně-chemická interakce kovu a prostředí, která vede ke změnám vlastností kovu a může vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož složkami jsou kov a prostředí. [4]

3.3. Druhy koroze

Korozní poškození je velká skupina poruch, ke kterým dochází interakcí kovu a okolního prostředí. Koroze se dělí podle poškození na rovnoměrnou a lokální korozi. Při rovnoměrné korozi dochází k rovnoměrnému korodování celého povrchu, zatímco lokální druhy jsou soustředěny na určitá místa napadaného kovu. Toto je rozdělení korozního napadení podle mechanismu napadení. [5]

3.3.1. Rovnoměrná koroze

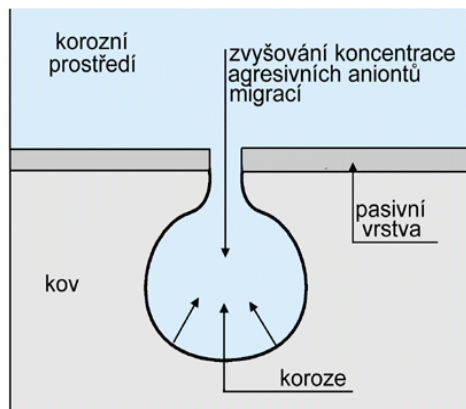
Pro rovnoměrnou korozi je charakteristické rovnoměrné napadení celého povrchu napadaného kovu, a proto je někdy nazývána jako celková koroze. Rychlost korozního napadení může být dosti vysoká, přesto je tento druh koroze méně nebezpečný než lokální formy koroze z důvodu rozprostření koroze po celém povrchu kovu. K rovnoměrné plošné korozi dochází zvláště tehdy, pokud je celý povrch kovu v pasivním stavu. [5]

Použitelnost korozivzdorných ocelí v různých prostředích může být volena na základě různých podkladů shrnujících korozní rychlost celkové koroze. Korozní rychlost je vyjádřena ve hmotnostních úbytcích na plošnou jednotku a jednotku času [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$] nebo zmenšení tloušťky za časovou jednotku [$\text{mm}\cdot\text{rok}^{-1}$]. Při používání dat v tabulkách a grafech je třeba pamatovat na to, že většina těchto dat, je získáno při laboratorních experimentech provedených za ideálních podmínek. Tabulky je proto třeba brát jako orientační údaje pro výběr vhodného materiálu. [2]

3.3.2. Bodová koroze

Bodová koroze je lokalizovaný korozní děj, při kterém vznikají na kovovém povrchu hluboké důlky a okolní povrch zůstává bez pozorovatelného napadení (obr. 5.). Tento druh napadení vzniká na celé řadě pasivovatelných kovů, typický je nejen u korozivzdorné oceli a hliníku, ale i u železa či mědi.

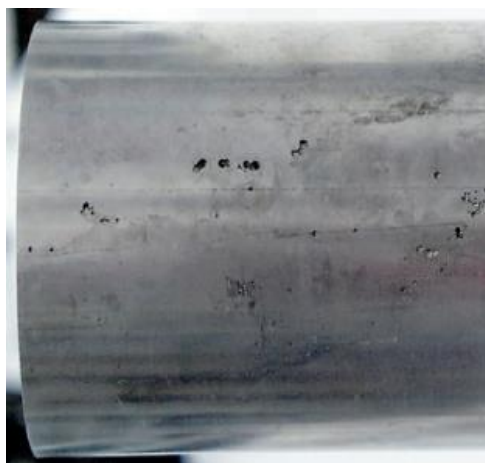
Mechanismus iniciace spočívá v napadení kovu v místech se slabšími ochrannými vlastnostmi pasivní vrstvy. Pro vznik bodové koroze je nutná přítomnost iontů, které porušují ochranu pasivní vrstvy. Jedná se především o chloridy a další halogenidy. V místě poruchy pasivní vrstvy vzniká důlek, ve kterém migrací vzrůstá koncentrace agresivních iontů a hydrolyzou korozních produktů klesá hodnota pH. Tím se vytvářejí stále agresivnější podmínky, vzniklý důlek se dále šíří a malá velikost ústí důlku nedovoluje výměnu roztoku uvnitř.



Obr.4: Schéma vzniku bodové koroze[9]

Bodové korozi lze předejít především vhodnou volbou materiálu. Dosáhnout zvýšené odolnosti lze pomocí legování molybdenem.

Pro hodnocení odolnosti korozivzdorných ocelí proti bodové (štěrbinové) korozi slouží empirická hodnota tzv. PRE (pitting resistance equivalent), která je korelací složení oceli a odolnosti k bodovému napadení v chloridech. [5][7][8]



Obr.5: Bodová koroze na trubce [8]

3.3.3. Štěrbinová koroze

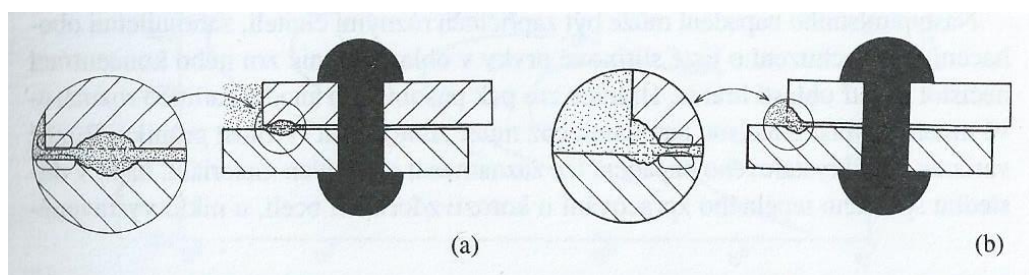
Štěrbinová koroze je založena na podobném principu jako bodová koroze. Pro vznik štěrbinové koroze je jako u bodové koroze nutná přítomnost chloridů. Tento druh vzniká v místech se špatným oběhem okolního prostředí. Koroze vzniká v mezerách mezi kovovým

povrchem a dalším povrchem, který nemusí být ani kovový. Většinou bývá ústí štěrbiny velmi malé, tak aby se elektrolyt uvnitř štěrbiny nepromíchal s elektrolytem vně štěrbiny. Taková situace nastává například u závitových spojů, v pórech svarů, u nýtovaných spojů (Obr. 6.), pod těsníci plochami u spojů, pod korozními produkty nebo pod povlaky, které ztratily adhezi ke kovu.

Štěrbínová koroze se především týká samovolně pasivních kovů v neutrálním prostředí a probíhá v několika fázích. V první fázi dochází ke katodické reakci ve štěrbině, čímž je elektrolyt uvnitř zbaven kyslíku. Druhá fáze nastává, když dojde kyslík uvnitř štěrbiny, katodická reakce je potlačena a nahrazena redukcí kyslíku. Tento stav potřebuje kompenzaci přebytku kladného náboje, tato kompenzace většinou probíhá pomocí iontů Cl^- nebo OH^- . Tímto dochází ke zvyšování agresivity uvnitř štěrbiny. V poslední fázi aktivně korodující povrch chrání ústí štěrbiny.

Prvá fáze proběhne řádově ve dnech, další fáze mohou trvat i měsíce, proto má štěrbinová koroze poměrně dlouhou inkubační dobu.

Způsob ochrany proti štěrbinové korozi je zejména v konstrukčních úpravách, které brání vzniku štěrbin, nespojitých svarů a co nejmenším počtem spojů. Štěrbínové korozi lze taky předejít použitím správných těsnících materiálů, z kterých se postupně nezačnou uvolňovat agresivní složky. [2][5]



Obr. 6: Štěrbínová koroze nýtovaného spoje v důsledku: a) rozdílného odvědušnění v ústí za přístupu kyslíku, anodová oblast rozpouštění uvnitř; b) různé koncentrace – vysoká koncentrace iontů kovu uvnitř štěrbiny, anodová oblast s nízkou koncentrací iontů kovu vně štěrbiny.

3.3.4. Koroze za napětí

Tento korozní druh je často nebezpečným poškozením i v málo agresivních prostředích. Vznik trhlin následkem koroze je pro korozivzdorné oceli a slitiny velice nebezpečný, a to především z důvodu nepředvídatelnosti jejich průběhu, který bývá velice rychlý. Ke vzniku korozního praskání za napětí u korozivzdorných ocelí dochází, když jsou tyto oceli k tomuto druhu koroze náchylné, v prostředí musí být přítomny chloridy a na materiál musí působit tahové napětí. Trhliny se vytváří především v kolmém směru k tahovému namáhání. Pro vznik korozního praskání není nezbytné vnějšího namáhání, postačí vnitřní pnutí v kovu, které mohlo vzniknout například při tváření za studena, tepelného zpracování nebo při svařování. Čím je materiál homogennější, tím je náchylnost ke koroznímu praskání menší.

Klasický příklad korozního praskání je tzv. louhová křehkost ocelí. Docházelo k ní v parních kotlích z uhlíkové oceli, pro které byla voda alkalizována k potlačení rovnoměrné koroze (pH nad 9). V místech nýtovaných spojů se hydroxid přehřátím zkoncentroval a tahově namáhané nýty praskly, což způsobilo výbuch kotle.

Riziko korozního praskání lze minimalizovat vhodným konstrukčním řešením. Zvláště důležité je, aby nedocházelo ke koncentraci mechanického napětí, což může nastat především v ostrých rozích. Jako u všech korozi je možné tomuto druhu předejít také vhodnou volbou materiálu. [2] [5] [7]

3.3.5. Mezikystalová koroze

Mezikystalová koroze probíhá pouze na hranicích zrn a nezasahuje celý povrch materiálu. Tento druh zhoršuje soudržnost zrn a dochází ke ztrátě pevnosti a houževnatosti materiálu.[6]

3.3.6. Selektivní napadení

Během selektivního napadení dochází k vyloučení jedné složky slitiny. Typický případ je odzinkování mosazi, když dochází k přednostnímu odstraňování zinku. [5]

3.3.7. Vodíková křehkost

Vodíková křehkost je proces, během kterého dochází k absorpci vodíku, důsledkem je snížení houževnatosti a tvárnosti kovu [4]

3.3.8. Kavitační koroze

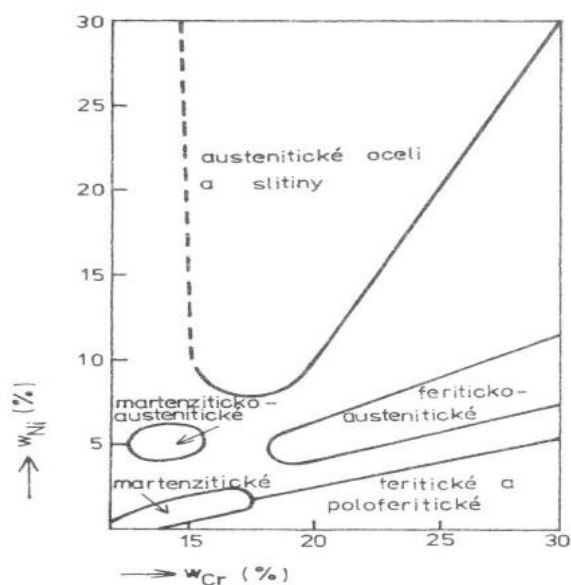
Tento druh koroze je založen na společném působení koroze a kavitace. [4]

4. Korozivzdorné oceli

Korozivzdorné oceli, které obsahují chrom, jsou schopny reakcí s okolím vytvořit ochranný film na svém povrchu. Ochranný film se nazývá pasivní vrstva. Pasivní vrstva tvoří dobrou ochranu proti korozi. Pokud dojde k poškození pasivní vrstvy, může dojít ke vzniku některé z lokálních forem koroze.

Znakem korozivzdorných ocelí je obsah chromu 12-30%, avšak ani to nemusí být dostatečnou ochranou. Například proti HCl nebo H₂SO₄ je potřeba zvýšit koncentraci chromu a využít dalších legujících prvků jako jsou molybden, nikl, titan a další. Přes velkou koncentraci slitinových prvků je stále základním prvkem ocel.

Korozivzdorné oceli jsou děleny na základě jejich chemického složení a struktury (Obr. 7). Podle struktury se vyskytují základní formy martenzitická, feritická a austenitická. Dále jsou druhy, které jsou přechodové. Korozivzdorné oceli dělíme podle složení na chromové, chromniklové a chrommanganové. [2] [11]



Obr. 7: Vyznačení oblastí chemických složení různých typů korozivzdorných ocelí [2]

4.1. Martenzitické korozivzdorné oceli

Složení těchto ocelí umožňuje transformaci z austenitu na martenzit. Pomocí této fázové změny je možno dosáhnout určité míry kontroly mechanických vlastností. Martenzitické oceli jsou dobře vytvrditelné, protože doba kalení potřebná k dosažení martenzitu je poměrně krátká.

Tyto oceli mají obsah chromu do 18% a uhlíku do 1,5%. Důležitý je obsah chromu zhruba nad 10,5%, takový obsah totiž umožňuje vznik pasivní vrstvy, která zvyšuje odolnost proti korozi. Odolnost proti korozi těchto ocelí je nejvyšší při kvalitně zpracovaném povrchu.

Nebezpečné pro všechny martenzitické oceli je křehnutí. Křehnutí může vznikat dvěma způsoby. První možnost je vznik při ohřátí materiálu na 350-500°C, a proto je důležité se tomuto teplotnímu rozmezí vyhnout během popouštění těchto ocelí po kalení. Druhý způsob jak může křehnutí vzniknout, je způsobené vodíkem. K tomuto křehnutí může docházet po tepelném zpracování v některých atmosférách nebo po moření. [2] [11]

4.1.1. Martenzitické chromové oceli bez niklu

Tento druh martenzitických ocelí má obsah chromu 13% a uhlíku 0,15 až 0,45%. Hlavním využitím zmíněných ocelí je především v přírodních podmínkách. Zvýšení odolnosti se provádí zvýšením obsahu chromu v oceli a legováním molybdenem, vanadem či wolframem. Značnou nevýhodou u těchto ocelí je špatná svařitelnost v horším případě, nejsou svařitelné vůbec, což závisí na obsahu uhlíku.[12]

4.1.2. Martenzitické chromové oceli s niklem

Tyto oceli se skládají z 17% chromu, 2% niklu a 0,2% uhlíku. Martenzitické chromové oceli s niklem se nejčastěji využívají po tepelném zpracování kalení + popouštění. [12]

4.2. Feritické korozivzdorné oceli

Feritické oceli obsahují 13-30% chromu a obsah uhlíku se pohybuje pod 0,1%. Tento druh ocelí není kalitelný, feritické oceli si zachovávají svou strukturu až do 900°C, pokud dojde k ohřátí na vyšší teplotu, nastane částečná přeměna na austenitickou. Pak jde o oceli poloferitické. Tento druh korozivzdorných ocelí je zajímavý především kvůli své nízké ceně v porovnání s ostatními korozivzdornými oceli a jejich dobré odolnosti proti koroznímu praskání.[2][3]

4.2.1. 13% chromové feritické oceli

Obsah chromu u těchto ocelí je 11,5-13,5% a uhlíku pod 0,08%. využívají se především v přírodním prostředí, ale mají i odolnost proti zředěným organickým kyselinám. [13]

4.2.2. 17% chromové feritické oceli

V této skupině se pohybuje obsah chromu od 16% do 18% a uhlík je tu obsažen maximálně 0,08%. Pro dosažení vyšší odolnosti proti korozi se tyto oceli legují molybdenem, titanem či niobem. Tyto legury dávají ocelím vhodné vlastnosti a mohou být využívány v prostředí mořské vody, roztocích organických kyselin nebo v roztocích solí. Jsou často využívány i díky poměrně příznivé ceně, což je zapříčiněno absencí niklu. [13]

4.2.3. 25% chromové feritické oceli

Oceli s obsahem chromu okolo 25% mají vysokou odolnost proti korozi. Z tak vysokého obsahu chromu, ale plynou i nevýhody jako je vyšší náchylnost ke křehnutí. Tyto oceli jsou využívány jako žáruvzdorné pro teploty nad 900°C [13]

4.3. Austenitické korozivzdorné oceli

Austenitické oceli mají nejrozsáhlejší zastoupení v korozivzdorných ocelích. Zpravidla obsahují 18% chromu, 9% niklu a asi 0,08% uhlíku. Provádí se legování či se zvyšuje obsah hlavních prvků, niklu a chromu, především z důvodu zlepšení korozních vlastností. Například legování molybdenem (až 4,5%) výrazně zvyšuje odolnost proti korozi bodové a štěrbinové.

Austenitické typy ocelí jsou dobře tvářitelné za tepla i za studena, mají nízké pevnostní hodnoty, což lze kompenzovat legováním dusíkem, dalším znakem je obtížnější obrobiteľnost.

Tento druh ocelí je vhodný pro použití v agresivních prostředích, ale využívány jsou všude, kde je potřeba vysoká korozní odolnost například v chemickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu. [12][13]

4.3.1. Chromniklové oceli

Tato skupina ocelí obsahuje 12-25% chromu, 8-38% niklu a maximálně 0,15% uhlíku. Vyrábějí se ve dvou druzích, a to ve stavu nestabilizovaném nebo stabilizovaném Titanem nebo Niobem. Nejpoužívanější chromniklové oceli jsou označovány 1.4301. Tyto oceli mají dobrou odolnost v organických kyselinách a v kyselině dusičné.[12]

4.3.2. Chromnikmolybdenové oceli

Rovněž se vyrábí stabilizované a nestabilizované. Tento druh ocelí se využívá, pokud je potřeba vyšší korozní odolnost, jež zajišťuje prvek molybden. Jsou používány v agresivních prostředích, jako je mořská voda nebo prostředí obsahující halogenidy. [12]

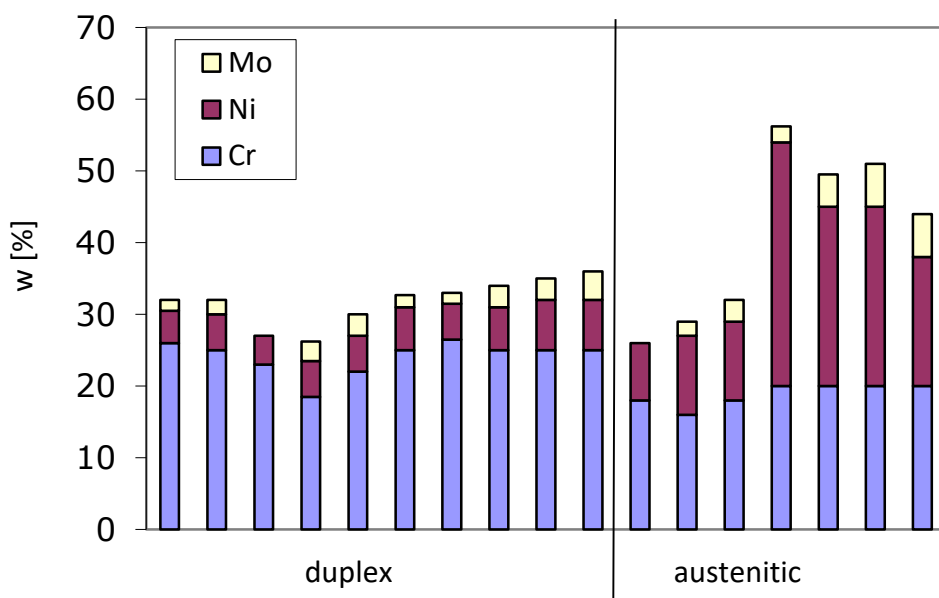
4.3.3. Chrommanganniklové oceli

Mají odolnost proti korozi ve specifických podmínkách. Obsahují 12-20% chromu, 5-12% manganu, 3-8% niklu, 0,02-0,15% uhlíku, dále je možné tyto oceli legovat dalšími prvky například titanem či niobem pro stabilizaci. [2]

4.4. Duplexní korozivzdorné oceli

Duplexní neboli austeniticko-feritické oceli obsahují dvě fáze austenitickou a feritickou. Tento druh ocelí spojuje výhody austenitických a feritických ocelí. Duplexní oceli mají dobrou odolnost proti bodové a štěrbinové korozi, také dobře odolávají koroznímu praskání v chloridovém prostředí. Dvoufázová směs také snižuje riziko mezikrystalového korozního napadení. Duplexní oceli jsou aplikovány v chemickém, petrochemickém,

energetickém a potravinářském průmyslu. Především se využívají v agresivních prostředích, kde dochází ke koroznímu praskání. [2][10]



Graf 6: Srovnání duplexních a austenitických ocelí [10]

5. Odolnost korozivzdorných ocelí v kyselých nálevech

U korozivzdorných ocelí, které přicházejí do styku s anorganickými a organickými kyselinami, které obsahují chloridy je velká pravděpodobnost bodového napadení. Odolnost se mírně nechá zlepšit obsahem chromu v oceli, ale i přes vysoký obsah chromu podléhají korozi. Lépe jsou na tom oceli, které obsahují i molybden. Molybden zvyšuje odolnost korozivzdorných ocelí vůči bodové korozi způsobené prostředím chloridů. Již malé množství NaCl v kyselých prostředích vede k velkému zvýšení bodové koroze. Pokud dojde ke kontaminaci kyselého láku kovy, pak dochází k jeho tmavnutí v důsledku vzniku korozních produktů. [9]

6. Experimentální část

Experimentální část bakalářské práce byla zaměřena na odolnost zvolených korozivzdorných ocelí v konzervačním roztoku. V práci jsou vypočteny korozní úbytky vybraných korozivzdorných ocelí v roztoku za teplot 20°C a 35°C.

6.1. Specifikace podmínek

Experiment probíhal v laboratořích ČVUT v Praze, Fakulty strojní, Ústavu strojírenské technologie, Technická 4, Praha 6.

Chemické složení roztoku používaného při konzervaci papriček:

6% NaCl

2,5% CH₃COOH

1,5% cukr

1% koření

89% H₂O

V tomto prostředí je možno předpokládat za provozních podmínek vznik rovnoměrného napadení v důsledku přítomnosti kyseliny octové a možnost vzniku bodové koroze vlivem přítomnosti chloridu sodného.

6.2. Použitá zařízení

Ultrazvuková čistička - Kraintek K-2IE

Technické údaje:

- Ohřev: 200W
- Termostat: 30-80°C
- Objem: 2l



Obr. 8: Kraintek K-2IE

Váha - OHAUS Explorer Pro

Technické údaje:

- Váživost: 210 g
- Dílek: 0,1 mg
- Linearita: $\pm 0,2$ mg
- Čas stabilizace: během 2 vteřin
- Rozměr vážní plochy: \varnothing 90 mm



Obr. 9: OHAUS Explorer Pro

Magnetické míchadlo s ohřevem - WiseStir MSH-D20, Wisd

Technické údaje:

- Maximální míchaný objem: 20 l
- Otáčky: 80-1500 ot.min⁻¹
- Rozměry desky: 180 x 180 mm
- Příkon motoru: 9 W
- Výkon motoru: 4 W
- Teplota desky: max. 380°C
- Přesnost: 0,3°C
- Výkon topení: 600 W

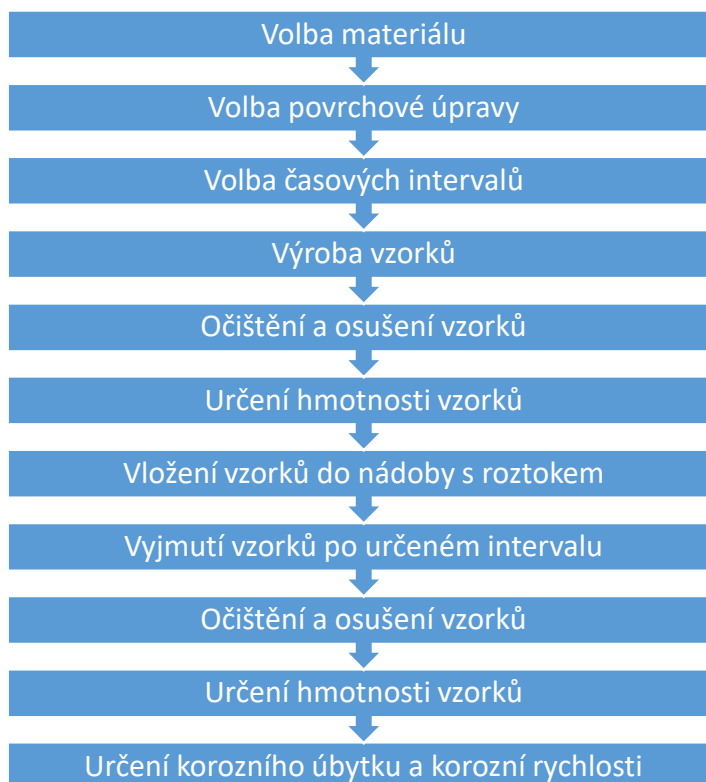


Obr. 10: WiseStir MSH-D20,
Wisd

6.3. Technologický postup zkoušky

Tento experiment byl prováděn podle zásad normy ČSN ISO 11845 (Koroze kovů a slitin – Všeobecné zásady pro korozní zkoušky).

Technologický postup zkoušky:



Materiály byly zadány firmou Velteko s.r.o., kvůli jejich dobrým předpokladům korozní odolnosti, dostupnosti, ale také ceně, byly zvoleny korozivzdorné oceli 1.4016 1.4301 a 1.4571. Povrchové úpravy byly také zadány zadávající firmou, balotínování, moření + pasivace a bez povrchové úpravy.

Časové intervaly, po kterých budou jednotlivé vzorky vyjímány, byly stanoveny na 100, 300, 500, 1000 a 1500 hodin. Vzorky byly vyrobeny o rozměrech 80x30x2 mm, s otvorem o průměru 6 mm na zavěšení. Na každý vzorek bylo vyjiskřeno číslo, určující materiál a povrchovou úpravu. Následovalo odmaštění všech vzorků, které bylo realizováno pomocí průmyslové ultrazvukové čističky Kraintek K-2IE a přípravku STAR 75 PN. Odmaštění probíhalo po dobu 5 minut při teplotě 50°C a roztoku přípravku s vodou namíchaného v poměru 1:10. Po odmaštění následovalo sušení vzorků fénem. Na vzorky bylo lihovým

fixem dopsáno pořadové číslo vzorku dané povrchové úpravy a materiálu. Určení hmotnosti proběhlo na váze OHAUS Explorer Pro.

Před začátkem samotného experimentu již byly vzorky jen navázány na silonové lanko z důvodu zavěšení do nádob s roztokem. Silonové lanko bylo zvoleno, protože nemůže ovlivnit korozivzdornost zkoušeného vzorku. Na experiment byly využity dvě nádoby. Pro roztok o teplotě 20°C byla použita plastová nádoba a pro teplotu 35°C byla využita skleněná nádoba s ohřevem. Na ohřev roztoku a promíchávání bylo použito magnetické míchadlo s ohřevem WiseStir MSH-D20, Wisd. Tyto nádoby byly naplněny konzervačním roztokem. Ve skleněné nádobě byl ohříván roztok na požadovaných 35°C. V plastové nádobě byl roztok, který měl laboratorní teplotu 20°C ± 3°C.



Obr. 11: Průběh experimentu

Dalším krokem bylo vložení vzorků do nádob, tak aby všechny byly celé ponořeny a zároveň se nedotýkaly stěn ani sami sebe. V průběhu experimentu byly nádoby uzavřeny polyetylenovou folií, aby nedocházelo ke zbytečnému odpařování roztoku a také kvůli zachování stejného průběhu zkoušky. Po uplynutí daného intervalu, byl vždy vyjmut jeden vzorek od každého materiálu a povrchové úpravy. Vzorky byly očištěny proudem tekoucí vody, osušeny pomocí fénu a zváženy opět na váze OHAUS Explorer Pro. Následovalo vypočtení korozního úbytku [vzorec (1)], z hmotností naměřených před experimentem a po experimentu, nakonec byla vypočtena korozní rychlost [vzorec (2)] testovaných vzorků v daném korozním prostředí.

6.4. Vzorky použité při experimentu





Tab. 1: Rozlišení vzorků podle materiálu a jejich povrchové úpravy

Materiál (dle normy DIN)	Bez povrchové úpravy	Balotina	Mořeno + pasivace
1.4301	1.1	1.2	1.3
1.4571	2.1	2.2	2.3
1.4016	3.1	3.2	3.3

Tab. 2: Přidělení pořadových čísel vzorků podle intervalu ponoření v roztoku

Interval [hod]	Pořadové číslo	
	Vzorky v roztoku 20 °C	Vzorky v roztoku 35 °C
100	1	6
300	2	7
500	3	8
1000	4	9
1500	5	10
etalon	11	12

Přehled použitých vzorků:

		
<p>1.4301 Bez povrchové úpravy</p>	<p>1.4301 Balotínováno</p>	<p>1.4301 Mořeno + pasivace</p>
		
<p>1.4571 Bez povrchové úpravy</p>	<p>1.4571 Balotínováno</p>	<p>1.4571 Mořeno + pasivace</p>
		
<p>1.4016 Bez povrchové úpravy</p>	<p>1.4016 Balotínováno</p>	<p>1.4016 Mořeno + pasivace</p>

6.5. Vyhodnocení experimentu

6.5.1. Optická zkouška

Nejprve byl experiment vyhodnocen optickou zkouškou. Po vyjmutí vzorků z roztoku byl většinou jejich povrch znečištěn sraženinami z roztoku (Obr. 12). Těchto nečistot se šlo zbavit opláchnutím vodou (Obr. 13). Na základě vizuální kontroly nebylo zjištěno žádné bodové napadení a korozní zplodiny vznikají v důsledku rovnoměrné koroze.












Obr. 12: Vzorky vyjmuté po 300 hodinách z 35°C roztoku



Obr. 13: Očištěné a osušené vzorky po 300 hodinách z 35°C roztoku

Výsledky naměřených hodnot před experimentem a po experimentu viz Příloha č. 1 a Příloha č. 2.

Vzorky vyjmuté z 35°C roztoku po 100 hodinách

		
1.4301 Bez povrchové úpravy	1.4301 Balotínováno	1.4301 Mořeno + pasivace
		
1.4571 Bez povrchové úpravy	1.4571 Balotínováno	1.4571 Mořeno + pasivace
		
1.4016 Bez povrchové úpravy	1.4016 Balotínováno	1.4016 Mořeno + pasivace

6.5.2. Výpočet korozních úbytků

Hmotnostní úbytky způsobené korozí jsou často brány, jako důležitý faktor korozního znehodnocování materiálů. Nejčastěji jsou vyjadřovány jako poměry hmotnosti koroze a plochy.

$$K = \frac{G}{P} \quad (1)$$

<i>K</i>	hmotnostní úbytek [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]
<i>G</i>	úbytek hmotnosti vzorku [g]
<i>P</i>	plocha vzorku [m^2]

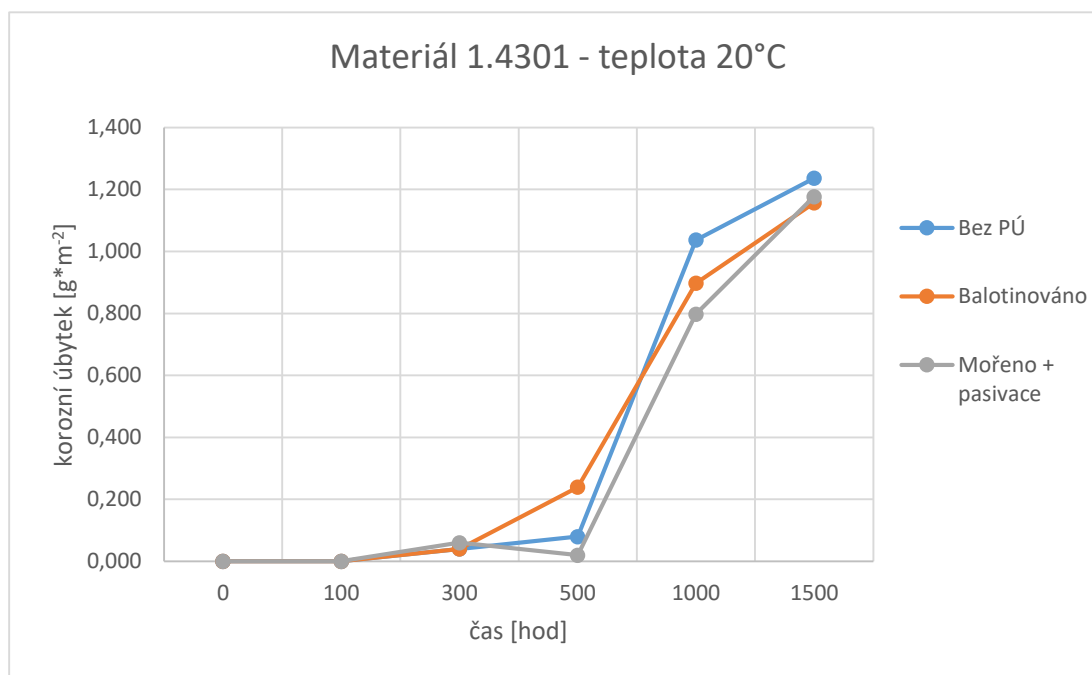
Vypočtené hodnoty korozních úbytků všech vzorků viz Příloha č. 3.

6.5.2.1. Diskuze výsledků hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4301 při teplotě roztoku 20°C

Tab. 3: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4301 při teplotě roztoku 20°C

Hmotnostní úbytek [g.m ⁻²] vzorku při teplotě 20°C					
Vzorek	100 hodin	300 hodin	500 hodin	1000 hodin	1500 hodin
Bez PÚ	0,0000	0,0997	0,3391	0,8776	0,9972
Balotinováno	0,0000	0,0399	0,2393	0,8975	1,1568
Mořeno + pasivace	0,0000	0,0598	0,0199	0,7978	1,1768

Korozní úbytky materiálu 1.4301 v teplotě 20°C se do 300 hodin pohybovaly pod 0,1 g.m⁻². Znatelnější rozdíl hmotnostních úbytků se objevil mezi vzorky, které byly ponořeny v roztoku 500 a 1000 hodin. Zvětšení úbytku bylo u všech vzorků podobné. Přičemž u vzorků vyjmutých z roztoku po 1500 hodinách, již k tak velkému nárůstu korozních úbytků nedošlo.



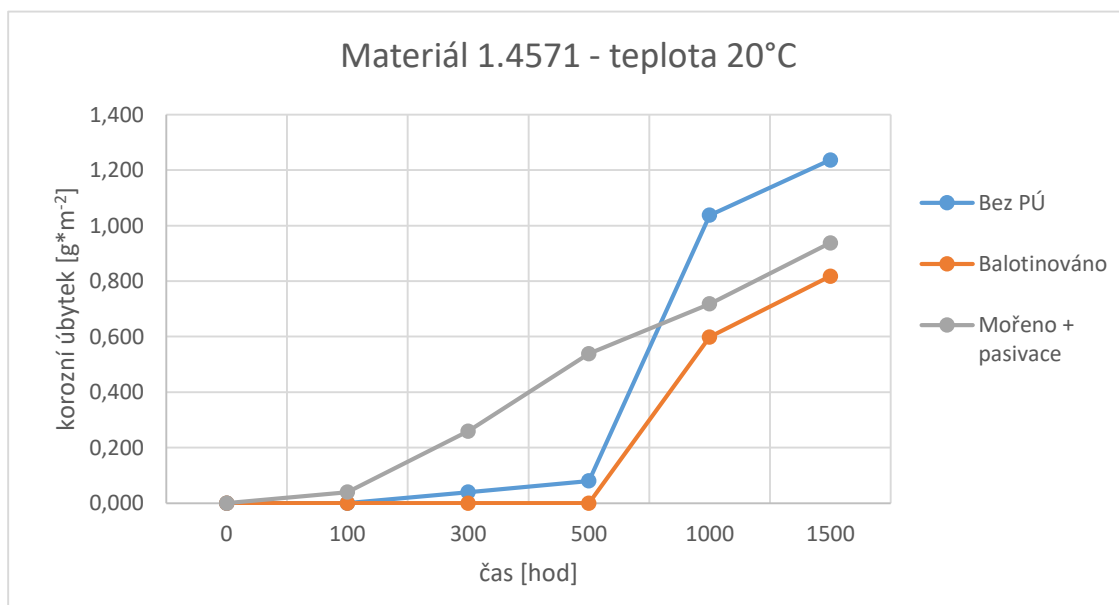
Graf 2: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4301 při teplotě roztoku 20°C

6.5.2.2. Diskuze výsledků hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4571 při teplotě roztoku 20°C

Tab. 4: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4571 při teplotě roztoku 20°C

Hmotnostní úbytek [g.m ⁻²] vzorku při teplotě 20°C					
Vzorek	100 hodin	300 hodin	500 hodin	1000 hodin	1500 hodin
Bez PÚ	0,0000	0,0399	0,0798	1,0371	1,2366
Balotínováno	0,0000	0,0000	0,0000	0,5983	0,8177
Mořeno + pasivace	0,0399	0,2593	0,5385	0,7180	0,9374

Při teplotě roztoku 20°C materiál 1.4571, povrchové úpravy moření + pasivace měl korozní úbytek v průběhu celého experimentu téměř lineární, poslední vzorek vyjmutý z roztoku po 1500 hodinách měl korozní úbytek 0,8177 g.m⁻². U vzorků bez povrchové úpravy a balotínovaného se korozní úbytky do 500 hodin pohybovali do 0,1 g.m⁻². Velký rozdíl nastal mezi vzorky vyjmutými po 500 a 1000 hodinách. U vzorku bez povrchové úpravy nastal skok téměř o 1 g.m⁻² a u balotínovaného povrchu byl nárůst korozního úbytku z 0 g.m⁻² na 0,5983 g.m⁻².



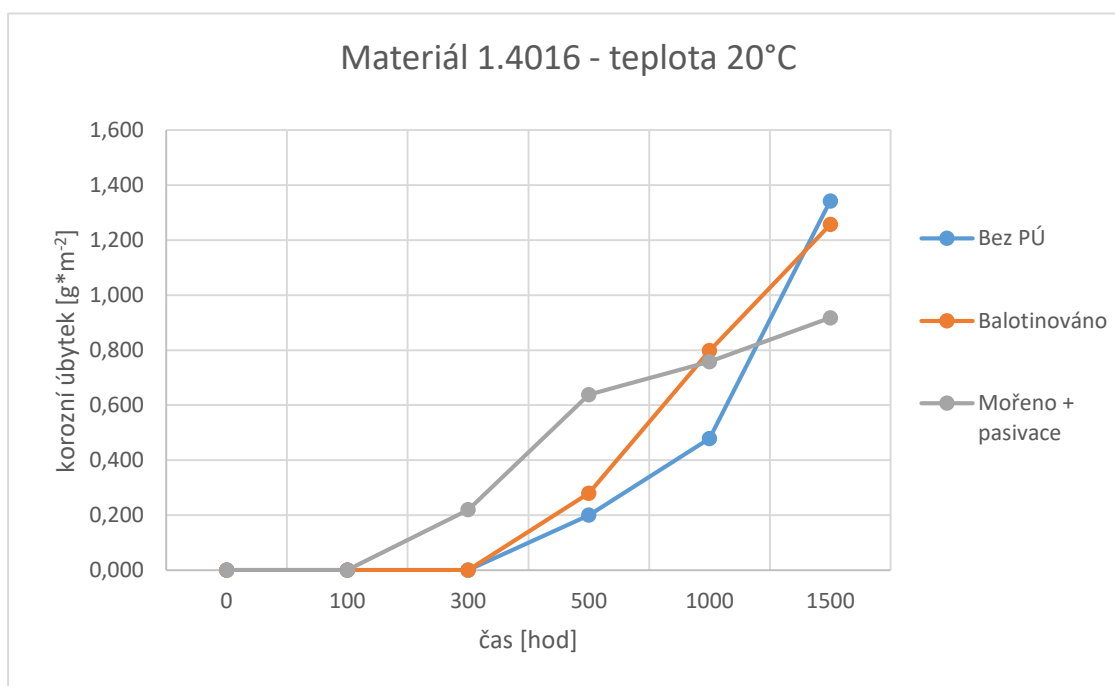
Graf 3: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4571 při teplotě roztoku 20°C

6.5.2.3. Diskuze výsledků hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4016 při teplotě roztoku 20°C

Tab. 5: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4016 při teplotě roztoku 20°C

Hmotnostní úbytek [g.m ⁻²] vzorku při teplotě 20°C					
Vzorek	100 hodin	300 hodin	500 hodin	1000 hodin	1500 hodin
Bez PÚ	0,0000	0,0000	0,1994	0,4787	1,3423
Balotínováno	0,0000	0,0000	0,2792	0,7978	1,2565
Mořeno + pasivace	0,0000	0,2194	0,6382	0,7579	0,9175

V roztoku o teplotě 20°C vzorky z materiálu 1.4016 všech použitých povrchových úprav měly téměř lineární průběh korozních úbytků. Po uplynutí 1500 hodin a vyjmutí vzorků měl nejnižší korozní úbytek vzorek s povrchovou úpravou mořeno + pasivace 0,9175 g.m⁻². Zbylé vzorky dopadly o něco hůře, když jejich korozní úbytek byl 1,3423 g.m⁻² pro vzorek bez povrchové úpravy a 1,2565 g.m⁻² měl balotínovaný vzorek.

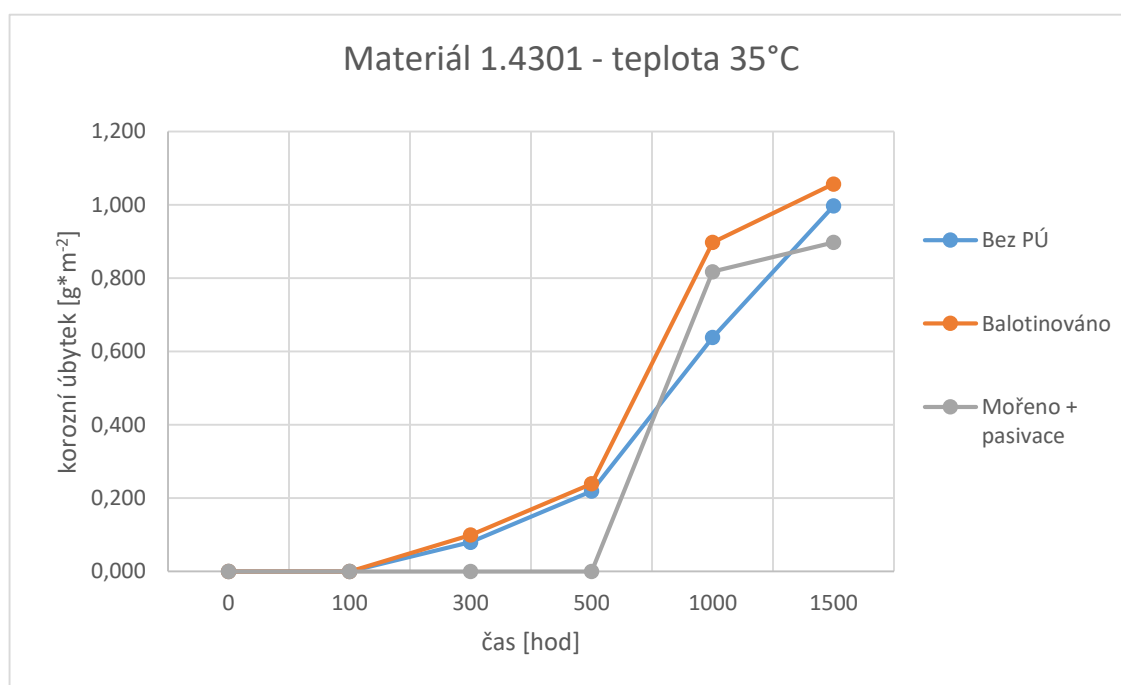


Graf 4: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4016 při teplotě roztoku 20°C

6.5.2.4. Diskuze výsledků hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4301 při teplotě roztoku 35°C

Tab. 6: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4301 při teplotě roztoku 35°C

Hmotnostní úbytek [g.m ⁻²] vzorku při teplotě 35°C					
Vzorek	100 hodin	300 hodin	500 hodin	1000 hodin	1500 hodin
Bez PÚ	0,0000	0,0798	0,2194	0,6382	0,9972
Balotinováno	0,0000	0,0997	0,2393	0,8975	1,0571
Mořeno + pasivace	0,0000	0,0000	0,0000	0,8177	0,8975



Graf 5: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4301 při teplotě roztoku 35°C

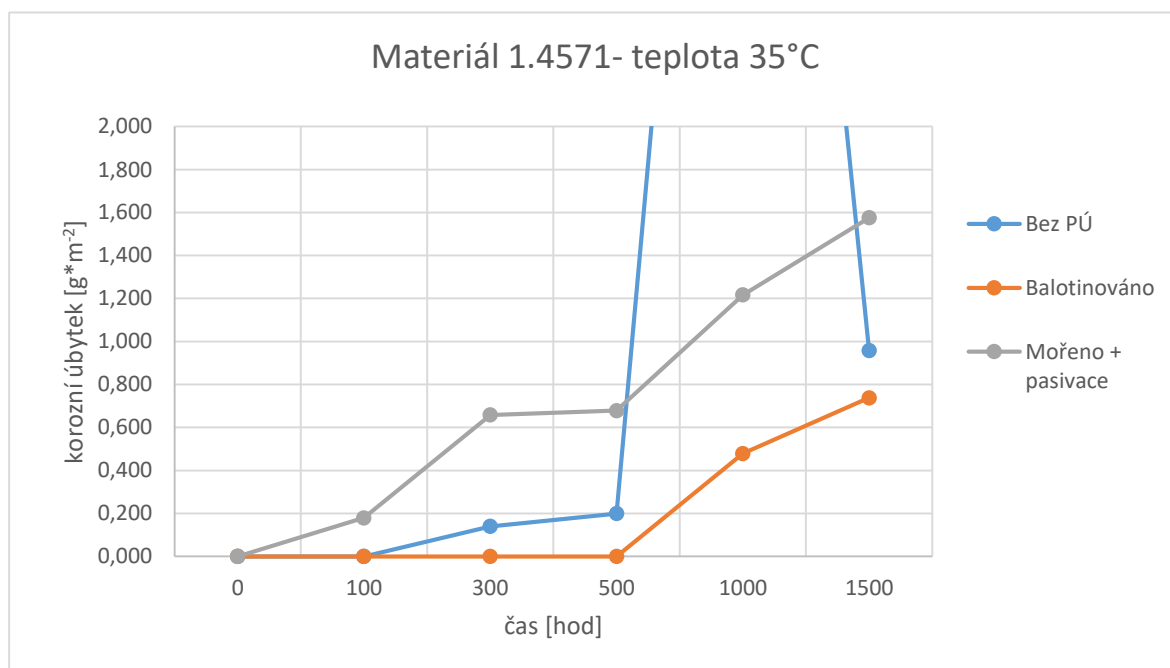
Korozní úbytky materiálu 1.4301 v teplotě 35°C se do 300 hodin pohybovaly pod 0,1 g.m⁻². Znatelnější rozdíl hmotnostních úbytků se objevil mezi vzorky, které byly vyjmuty po 500 a 1000 hodinách, můžeme pozorovat u všech vyhodnocovaných vzorků značný nárůst hmotnostního úbytku. Tento nárůst pokračoval, ale již ne v takové míře. Hmotnostní úbytek všech povrchových úprav byl v rozmezí 0,2 g.m⁻².

6.5.2.5. Diskuze výsledků hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4571 při teplotě roztoku 35°C

Tab. 7: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4571 při teplotě roztoku 35°C

Hmotnostní úbytek [g.m ⁻²] vzorku při teplotě 35°C					
Vzorek	100 hodin	300 hodin	500 hodin	1000 hodin	1500 hodin
Bez PÚ	0,0000	0,1396	0,1994	6,7214	0,9574
Balotínováno	0,0000	0,0000	0,0000	0,4787	0,7380
Mořeno + pasivace	0,1795	0,6582	0,6781	1,2166	1,5756

Materiál 1.4571 v roztoku o teplotě 35°C, s balotínovanou úpravou povrchu měl velmi dobré výsledky, když do 500 hodin se neobjevil žádný hmotnostní úbytek. Po 1000 hodinách byl hmotnostní úbytek 0,4787 g.m⁻² a po 1500 hodinách 0,738 g.m⁻². U povrchové úpravy moření + pasivace byl hmotnostní úbytek po 1500 hodinách 1,5756 g.m⁻². U vzorku bez povrchové úpravy, který byl vyjmut po 1000 hodinách, došlo k poškození při manipulaci se vzorkem během kontroly hmotnosti, tudíž tuto povrchovou úpravu nelze vyhodnotit.



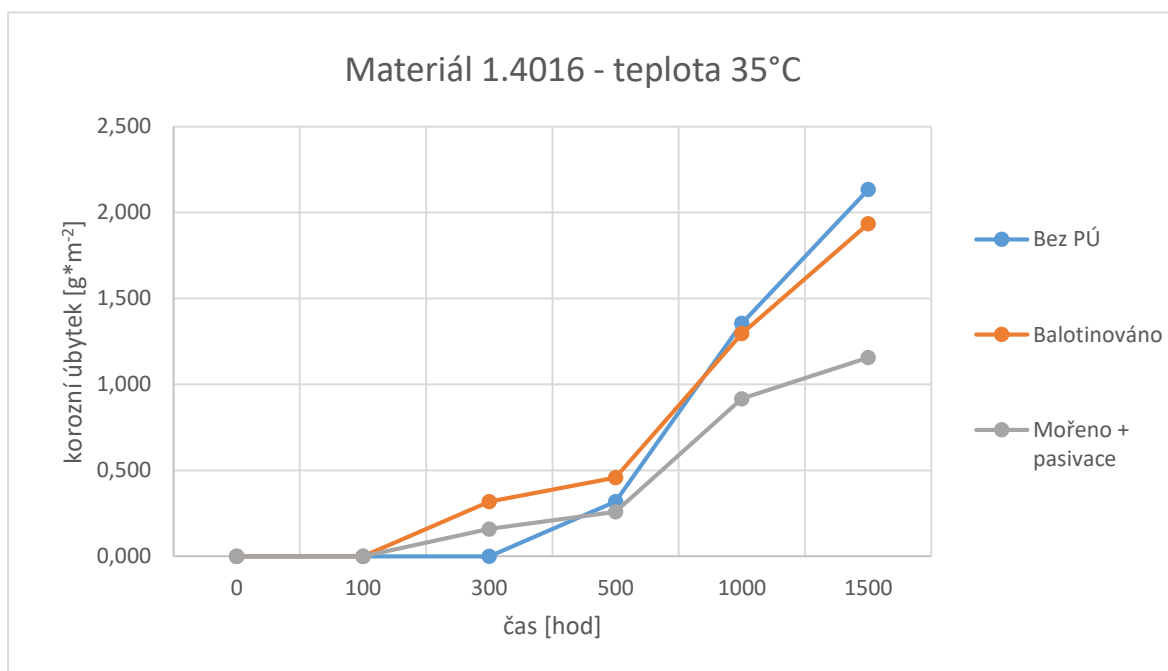
Graf 6: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4571 při teplotě roztoku 35°C

6.5.2.6. Diskuze výsledků hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4016 při teplotě roztoku 35°C

Tab. 7: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4016 při teplotě roztoku 35°C

Hmotnostní úbytek [g.m ⁻²] vzorku při teplotě 35°C					
Vzorek	100 hodin	300 hodin	500 hodin	1000 hodin	1500 hodin
Bez PÚ	0,0000	0,0000	0,3191	1,3563	2,1341
Balotínováno	0,0000	0,3191	0,4587	1,2964	1,9347
Mořeno + pasivace	0,0000	0,1596	0,2593	0,9175	1,1568

V roztoku o teplotě 35°C u materiálu 1.4016 došlo u všech testovaných povrchových úprav k velkému nárůstu hmotnostních úbytků mezi 500 a 1000 hodinami, tento nárůst pokračoval u balotínovaného a mořeného vzorku i mezi 1000 a 1500 hodinami.



Graf 7: Vyhodnocení hmotnostních úbytků vzorků z materiálu 1.4016 při teplotě roztoku 35°C

6.5.3. Výpočet korozní rychlosti

Další možností jak porovnávat korozi u různých materiálů je pomocí korozní rychlosti. Z hmotnostního úbytku lze určit rychlost koroze vydělením úbytku hmotnosti daným časovým intervalem a vynásobením rokem.

$$v_K = K \cdot 8760t \quad (2)$$

v_K rychlost koroze [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}$]

t počet hodin

K hmotnostní úbytek [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]

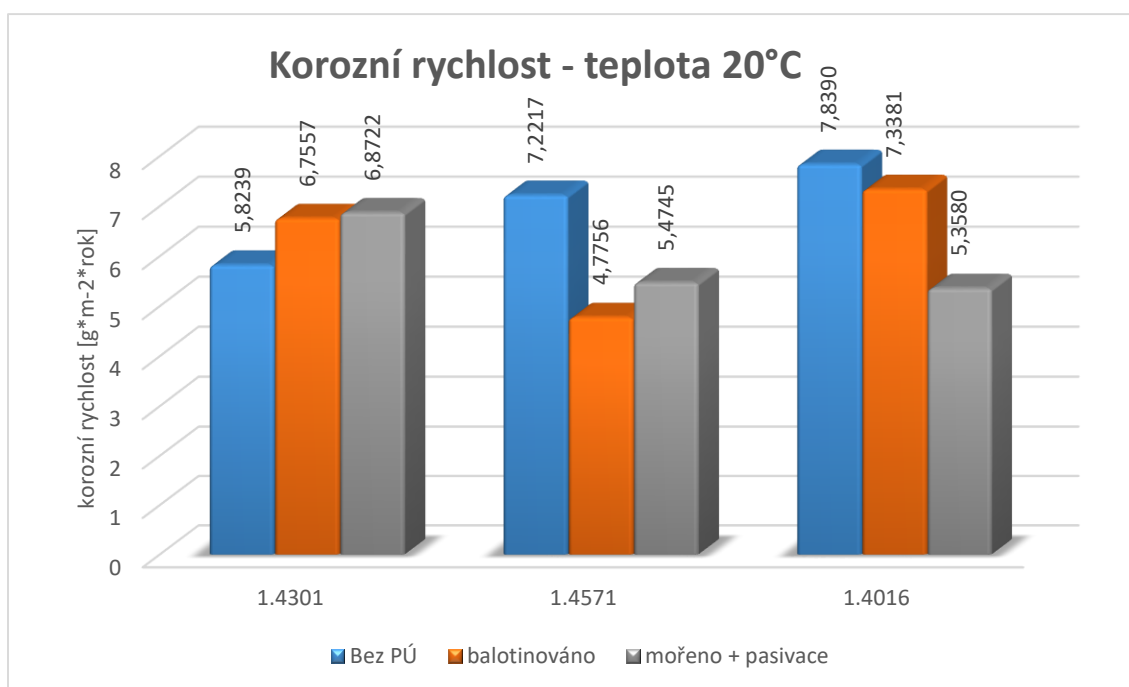
Vypočtené hodnoty korozních úbytků všech vzorků viz Příloha č. 4.

6.5.3.1. Diskuze výsledků korozní rychlosti při teplotě roztoku 20°C

Tab. 8: Vypočtené korozní rychlosti vzorků po 1500 hodinách v roztoku při teplotě 20°C

Korozní rychlost [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$] v roztoku 20°C			
Vzorek	1.4301	1.4571	1.4016
Bez PÚ	5,8239	7,2217	7,8390
Balotínováno	6,7557	4,7756	7,3381
Mořeno + pasivace	6,8722	5,4745	5,3580

Korozní rychlosti vzorků v roztoku o teplotě 20°C by se daly rozdělit do 2 skupin. Na skupinu vzorků s nižší korozní rychlostí, do níž patřily vzorky 1.4571 balotínován, mořeno + pasivace, dále 1.4016 mořeno + pasivace a 1.4301 bez povrchové úpravy. U těchto vzorků se korozní rychlost pohybovala od 5,358 do 5,8239 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$. Do skupiny s vyšší korozní rychlostí by patřily ostatní vzorky, které dosahovaly korozní rychlosti nad 6 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$. Nejhůře si vedl vzorek 1.4016 bez povrchové úpravy, naopak nejlépe vyšel vzorek 1.4571 s balotínovanou úpravou.



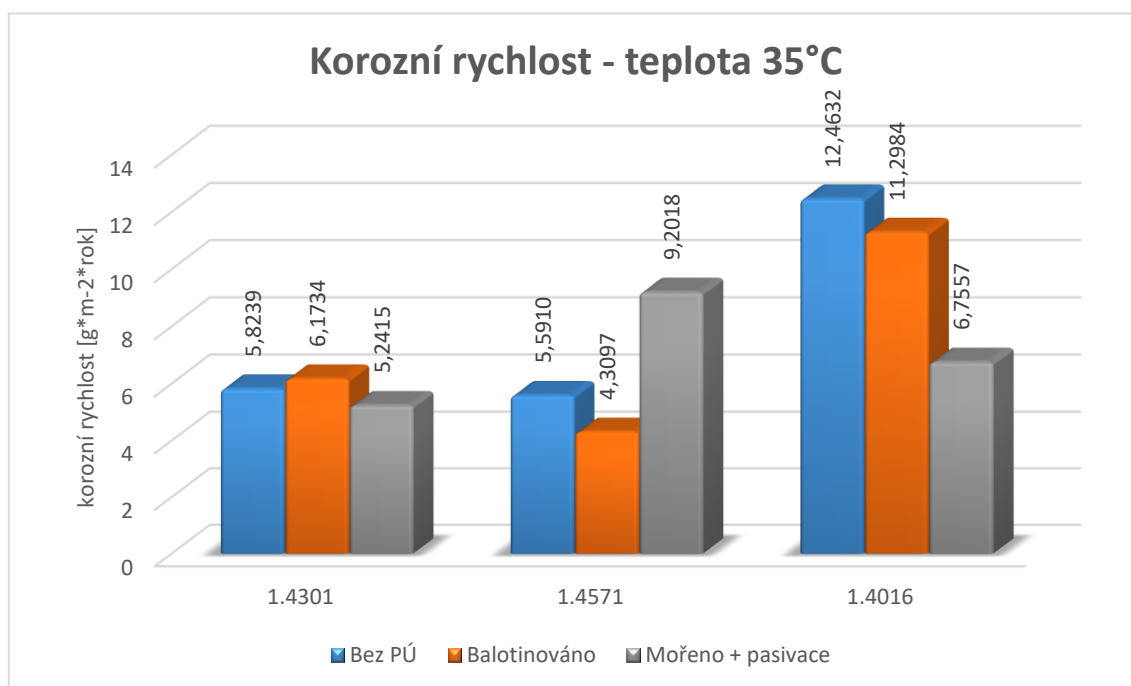
Graf 8: vyhodnocení korozních rychlosti vzorků po 1500 hodinách v roztoku při teplotě 20°C

6.5.3.2. Diskuze výsledků korozní rychlosti při teplotě roztoku 35°C

Tab. 9: Vypočtené korozní rychlosti vzorků po 1500 hodinách v roztoku při teplotě 35°C

Korozní rychlost [g.m ⁻² .rok ⁻¹] v roztoku 35°C			
Vzorek	1.4301	1.4571	1.4016
Bez PÚ	5,8239	5,5910	12,4632
Balotinováno	6,1734	4,3097	11,2984
Mořeno + pasivace	5,2415	9,2018	6,7557

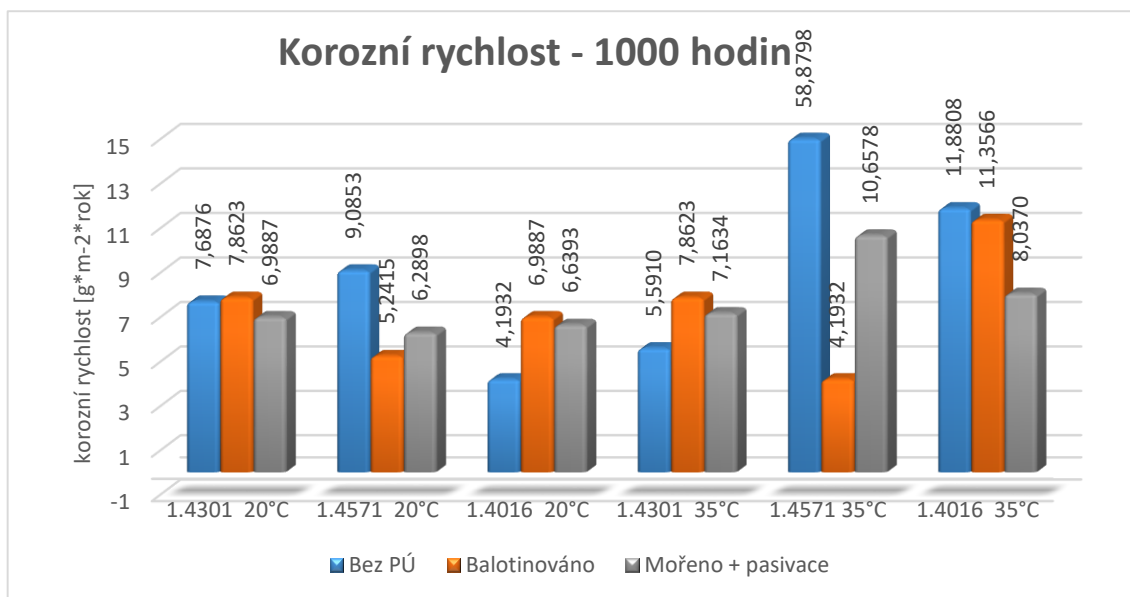
I v roztoku, který byl ohřátý na 35°C, mohou být vzorky rozděleny na odolnější a méně odolné vůči korozi. Mezi ty odolnější patří všechny vzorky z materiálu 1.4301, 1.4571 bez povrchové úpravy a balotinovaný a také z materiálu 1.4016 s povrchovou úpravou mořeno. Tyto vzorky měli korozní rychlost od 4,3097 do 6,7557 g.m⁻².rok⁻¹. U zbylých vzorků se korozní rychlost pohybovala od 9 g.m⁻².rok⁻¹.



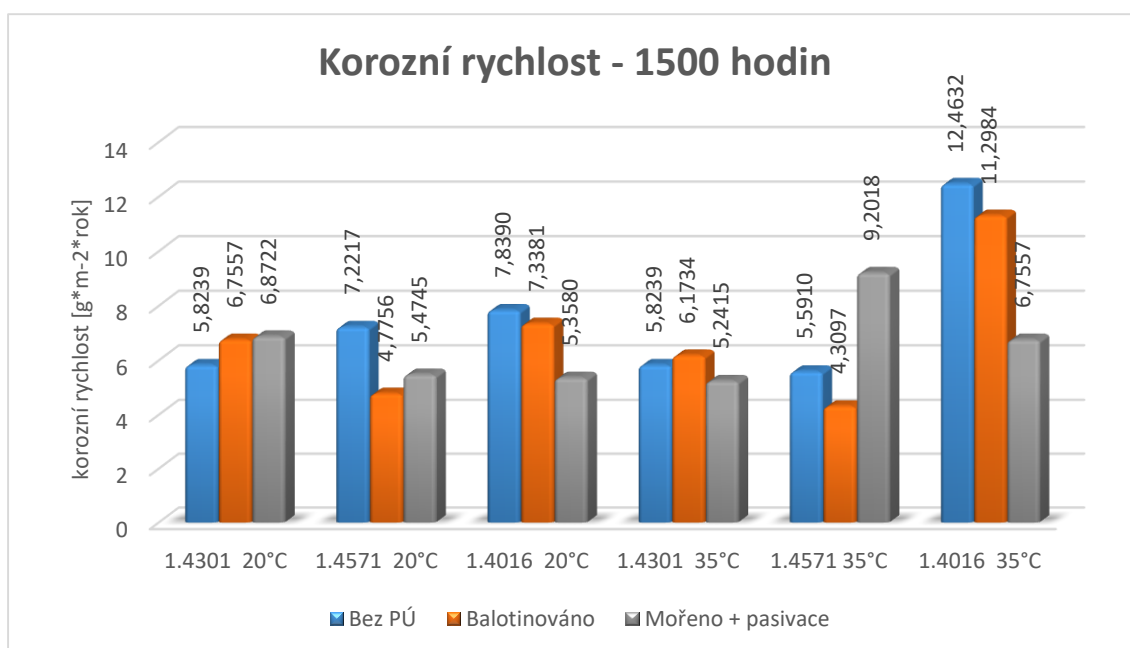
Graf 9: Vyhodnocení korozní rychlosti vzorků po 1500 hodinách v roztoku při teplotě 35°C

6.5.3.3. Diskuze výsledků korozní rychlosti pro intervaly 1000 a 1500 hodin

Při porovnání grafů (Graf 10,11) je patrné, že většina korozních rychlostí pro stejné vzorky vychází podobně. Výjimkou je vzorek z materiálu 1.4571 s balotinovaným povrchem v 35°C roztoku, kde došlo k poškození vzorku u 1000 hodinového intervalu. Z tohoto porovnání v obou intervalech vychází nejlépe vzorek z materiálu 1.4571 balotinovaný.



Graf 10: Vyhodnocení korozních rychlostí vzorků po 1000 hodinách v roztoku

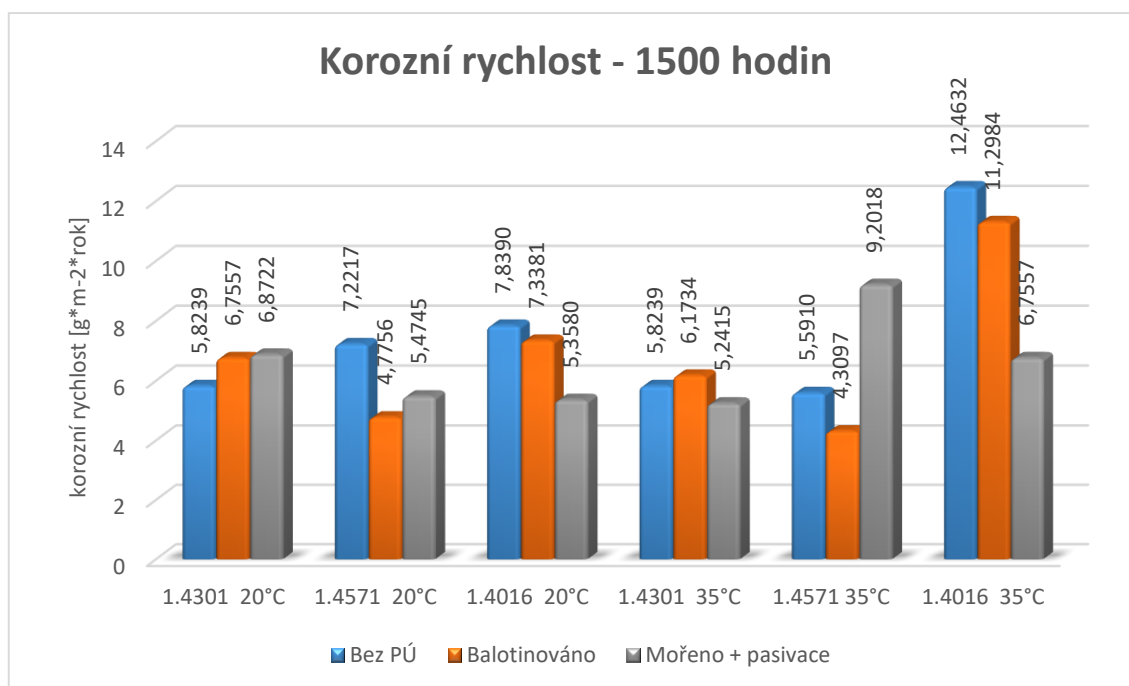


Graf 11: Vyhodnocení korozních rychlostí vzorků po 1500 hodinách v roztoku

7. Závěr

Firma Velteko s.r.o. na napadených částech stroje využívá balotinovaný materiál 1.4301. Tento materiál v korozní zkoušce vykazoval v porovnání s ostatními vzorky průměrné výsledky.

Jako nevhodné se jevíly vzorky z materiálu 1.4016 balotinovány a bez povrchové úpravy, které v roztoku o teplotě 20°C měly korozní rychlost přes 7 g.m⁻².rok⁻¹ a v 35°C roztoku korodovaly rychlostí přes 11 g.m⁻².rok⁻¹ (viz Graf 12). Především v roztoku ohřátém na 35°C měly tyto vzorky vyšší výsledky korozní rychlosti než zbylé vzorky. Ostatní vzorky vykazovaly podobné výsledky, a to ve 20°C měly korozní rychlost od 5 do 7 g.m⁻².rok⁻¹. Jediný vzorek, který se dostal pod hranici 5 g.m⁻².rok⁻¹ byl vzorek vyrobený z materiálu 1.4571 s balotinovaným povrchem. V 20°C roztoku byla jeho korozní rychlost 4,7756 g.m⁻².rok⁻¹ a v 35°C korodoval rychlostí 4,3097 g.m⁻².rok⁻¹.



Graf 12: vyhodnocení korozních rychlostí vzorků po 1500 hodinách v roztoku

K ekonomickému posouzení firma Velteko s.r.o. dodala ceny materiálů, 1.4016 – 45 Kč/kg, 1.4301 – 69 Kč/kg a 1.4571 - 95 Kč/kg. Pokud by se mělo přihlídnout k ceně materiálu, pak by bylo vhodné vybírat mezi nejlepšími vzorky z materiálu 1.4016 a 1.4301, protože materiál 1.4571 je přibližně 2x dražší než materiál 1.4016 a o polovinu dražší než 1.4301. Pokud by se materiál využíval v teplotách pohybujících se okolo 20°C, bylo by vhodné použít mořený a pasivovaný materiál 1.4016, který vychází z těchto dvou materiálů nejlépe s korozní rychlostí 5,358 g.m⁻².rok⁻¹ a je i nejlevnější. Pro vyšší teploty okolo 35°C by byl nejvhodnější materiál 1.4301 mořený a pasivován s korozní rychlostí 5,2415 g.m⁻².rok⁻¹. Z těchto úvah plyne, že lepší výsledky vzorku z materiálu 1.4571

se ekonomicky nevyplatí, protože je zde rozdíl asi $1 \text{ g.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$, ale cena je o dost vyšší než u zbylých dvou materiálů.

Nejvyšší korozní rychlost při experimentu byla naměřena $12,5 \text{ g.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$. Pro praxi je důležité tuto rychlost vyjádřit jako úbytek tloušťky stěny.

$$12,5 \text{ g.m}^{-2}.\text{rok}^{-1} = 0,0014 \text{ g.m}^{-2}.\text{hod}^{-1}$$

Pro austenitické korozivzdorné oceli s měrnou hmotností 8 g.cm^{-3} platí, že $1 \text{ g.m}^{-2}.\text{hod}^{-1} = 1 \text{ mm.rok}^{-1}$. To znamená, že rychlost rovnoměrné koroze v daném prostředí je max. $0,0012 \text{ mm.rok}^{-1}$. To je hodnota o 2 řády nižší, než je požadovaná limitní korozní rychlost pro korozivzdorné oceli, která je $0,1 \text{ mm.rok}^{-1}$. Vzhledem k tomu že nebylo nalezeno žádné bodové napadení, bylo znečištění povrchu korozivzdorných ocelí způsobeno působením kyseliny octové. Bylo prokázáno, že feritická ocel typu 1.4016, která má ze sledovaných ocelí nejnižší obsah chromu a tím i nejnižší odolnost, a proto vykazuje vyšší korozní rychlosti.

Z dalších materiálů by se mohli využít plasty, které dobře odolávají korozi. Velká nevýhoda je obtížná detekce v baleném produktu. Pokud by došlo k poškození stroje a nějakým nedopatřením se dostala část plastu do baleného produktu, bylo by obtížné tuto část odhalit.

U všech materiálů dochází ke korozi. Největší nárůst korozních úbytků byl naměřen po 500 hodinách. Výhodnější by bylo předejít těmto korozním úbytkům a provádět pravidelnou údržbu, která by se měla provádět po méně než po 500 hodinách (přibližně 3 týdny). Doporučil bych mechanickou údržbu povrchu a následné opláchnutí vodou. Tuto údržbu doporučuji provádět každých 14 dní, aby nedošlo k degradaci povrchu. Čištění sebou nese řadu problémů, nutnost vypnutí balicí linky, balicí zařízení musí být připraveno na omývání, tak aby nedošlo k poškození elektroniky, v neposlední řadě, vznikne odpadní voda, kterou je nutné ekologicky zpracovat.

8. Seznam použité literatury

- [1] BARTONÍČEK, R. *Koroze a protikorozi ochrana kovů*. Praha: Academia, 1966.
- [2] ČÍHAL, V. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Praha: Academia, 1999. ISBN: 80-200-0671-0
- [3] CICEK, Volkan. *Corrosion engineering*. Hoboken, New Jersey: Wiley, 214.
ISBN 978-1-118-72089-9
- [4] ČSN EN ISO 8044: *Koroze kovů a slitin - Základní termíny a definice*. CEN, Evropská komise pro normalizaci (ISO 80044:1999)
- [5] NOVÁK, P., *Koroze kovů* [online], VŠCHT: 2002 [cit. 2017-01-10] Dostupné z WWW: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected>
- [6] AB SANDVIK STEEL, *Sandvik steel corrosion handbook: stainless steels*, Sandviken: AB Sandvik Steel, 1999, ISBN: 91-630-2124-2
- [7] *Handbook of Stainless Steel* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z WWW: <http://www.outokumpu.com/sitecollectiondocuments/outokumpu-stainless-steel-handbook.pdf>
- [8] ŠULC, R., *Koroze*. Praha ČVUT, 2008 [online], [cit. 2017-01-10] Dostupný z: WWW: http://www1.fs.cvut.cz/cz/u218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_predn13-Ko.pdf
- [9] BRENNER, O. *Korozivzdorné oceli*. Občasník Povrcháři. [online], 2016, č. 2, s. 10-12. Praha: ČVUT v Praze, 2016. ISSN 1802-9833.
- [10] SOURMAIL, T., BHADESHIA, H. K.D.H., *Stainless_steels*. University of Cambridge, 2008 [online], [cit. 2017-01-10] Dostupný z: WWW: http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/Stainless_steels/stainless.html.
- [11] BRENNER, O., *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály*. Praha ČVUT, 2008 [online], [cit. 2017-01-10] Dostupný z: WWW: <http://m.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy>.
- [12] SHREIR, L. L. *Corrosion*. London : Newnes, 1963.
- [13] Kolektiv pracovníků, *Korozní odolnost konstrukčních materiálů a povlaků I-III*. Praha : SVÚOM, 1970.

Příloha 1

Tabulka naměřených počátečních hmotností vzorků

Teplota roztoku	hmotnost [g]										
	interval[hod]	vzorek	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
20°C	100	1	36,9869	36,9366	36,7841	35,7901	35,9253	35,6086	36,4108	36,6178	34,1696
	300	2	37,0830	37,0509	36,5995	35,8085	35,9589	35,8630	36,7193	36,6549	33,0666
	500	3	37,0186	37,0607	36,5717	35,9061	35,8465	35,7563	36,9069	36,4033	33,9608
	1000	4	36,8171	36,9434	36,3982	36,0759	35,9068	35,8045	36,7204	36,6893	34,202
	1500	5	37,0675	36,9295	36,4787	35,9418	35,6942	35,5009	36,6682	36,4196	32,6435
35°C	100	6	37,1134	36,6919	36,6714	35,9131	35,7838	35,6217	36,4492	36,4170	33,6681
	300	7	36,8372	36,8375	36,5661	35,8678	35,7560	35,6639	36,6526	36,8032	31,8
	500	8	37,0885	36,9975	36,5335	35,8333	35,7593	35,5693	36,6878	36,3674	33,4838
	1000	9	36,9805	36,9164	36,7215	35,8941	35,8279	35,5581	37,0883	36,5573	34,2108
	1500	10	37,1029	37,1435	36,4663	35,7391	35,7909	35,5759	36,8658	36,4793	34,0685

Příloha 2

Tabulka naměřených hmotností vzorků po experimentu

Teplota roztoku	hmotnost [g]										
	interval[hod]	vzorek	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
20°C	100	1	36,9869	36,9366	36,7841	35,7901	35,9253	35,6084	36,4108	36,6178	34,1696
	300	2	37,0825	37,0507	36,5992	35,8083	35,9589	35,8617	36,7193	36,6549	33,0655
	500	3	37,0169	37,0595	36,5716	35,9057	35,8465	35,7536	36,9059	36,4019	33,9576
	1000	4	36,8127	36,9389	36,3942	36,0707	35,9038	35,8009	36,7180	36,6853	34,1982
	1500	5	37,0625	36,9237	36,4728	35,9356	35,6901	35,4962	36,6615	36,4133	32,6389
35°C	100	6	37,1134	36,6919	36,6714	35,9131	35,7838	35,6208	36,4492	36,4170	33,6681
	300	7	36,8368	36,8370	36,5661	35,8671	35,7560	35,6606	36,6526	36,8016	31,7992
	500	8	37,0874	36,9963	36,5335	35,8323	35,7593	35,5659	36,6862	36,3651	33,4825
	1000	9	36,9773	36,9119	36,7174	35,8604	35,8255	35,5520	37,0815	36,5508	34,2062
	1500	10	37,0979	37,1382	36,4618	35,7343	35,7872	35,5680	36,8551	36,4696	34,0627

Příloha 3

Tabulka vypočtených korozních úbytků pro všechny naměřené hodnoty

Teplota roztoku	korozní úbytek [g.m ⁻²]										
	interval[hod]	vzorek	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
20°C	100	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0399	0,0000	0,0000	0,0000
	300	2	0,0997	0,0399	0,0598	0,0399	0,0000	0,2593	0,0000	0,0000	0,2194
	500	3	0,3391	0,2393	0,0199	0,0798	0,0000	0,5385	0,1994	0,2792	0,6382
	1000	4	0,8776	0,8975	0,7978	1,0371	0,5983	0,7180	0,4787	0,7978	0,7579
	1500	5	0,9972	1,1568	1,1768	1,2366	0,8177	0,9374	1,3423	1,2565	0,9175
35°C	100	6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1795	0,0000	0,0000	0,0000
	300	7	0,0798	0,0997	0,0000	0,1396	0,0000	0,6582	0,0000	0,3191	0,1596
	500	8	0,2194	0,2393	0,0000	0,1994	0,0000	0,6781	0,3191	0,4587	0,2593
	1000	9	0,6382	0,8975	0,8177	6,7214	0,4787	1,2166	1,3563	1,2964	0,9175
	1500	10	0,9972	1,0571	0,8975	0,9574	0,7380	1,5756	2,1341	1,9347	1,1568

Příloha 4

Tabulka vypočtených korozních rychlostí pro všechny naměřené hodnoty

Teplota roztoku	korozní rychlost [g.m ⁻² .rok ⁻¹]										
	interval[hod]	vzorek	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
20°C	100	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,4944	0,0000	0,0000	0,0000
	300	2	2,9120	1,1648	1,7472	1,1648	0,0000	7,5711	0,0000	0,0000	6,4063
	500	3	5,9404	4,1932	0,3494	1,3977	0,0000	9,4348	3,4944	4,8921	11,1819
	1000	4	7,6876	7,8623	6,9887	9,0853	5,2415	6,2898	4,1932	6,9887	6,6393
	1500	5	5,8239	6,7557	6,8722	7,2217	4,7756	5,4745	7,8390	7,3381	5,3580
35°C	100	6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	15,7246	0,0000	0,0000	0,0000
	300	7	2,3296	2,9120	0,0000	4,0767	0,0000	19,2189	0,0000	9,3183	4,6591
	500	8	3,8438	4,1932	0,0000	3,4944	0,0000	11,8808	5,5910	8,0370	4,5427
	1000	9	5,5910	7,8623	7,1634	58,8798	4,1932	10,6578	11,8808	11,3566	8,0370
	1500	10	5,8239	6,1734	5,2415	5,5910	4,3097	9,2018	12,4632	11,2984	6,7557