

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2015

Miroslav Gajdošík



Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů
Bakalářská práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Josef Filípek, CSc.

Vypracoval:
Miroslav Gajdošík

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Miroslav Gajdošík**
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Provoz techniky
Název tématu: **Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů**
Rozsah práce: 30 – 40

Zásady pro vypracování:

1. Koroze kovových materiálů
2. Korozní zkoušky materiálů a povrchových ochranných vrstev
3. Praktické zkoušky korozní odolnosti v laboratorních podmínkách



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval doc. Ing. Josefu Filípkovi, CSc., vedoucímu bakalářské práce, za odborné vedení, cenné připomínky a technické rady při zpracování zadaného tématu. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Votavovi za odborné znalosti a ochotnou pomoc při laboratorním měření.

ABSTRAKT

Bakalářská práce na téma „Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů“ pojednává o vlivu zvýšeného agresivního prostředí a tepelného zpracování na změnu hmotnostního úbytku a mechanických vlastností u konstrukčních ocelí třídy 12 050.

Teoretická část stručně popisuje formy a typy koroze a následně pak možné způsoby ochrany strojů a zařízení proti korozi. Dále se teoretická část zabývá korozními zkouškami, z nichž jsou vybrány laboratorní zkoušky blíže popsány.

V praktické části je detailně popsán vliv korozní degradace na změnu hmotnostního úbytku a mechanických vlastností konstrukčních ocelí třídy 12 050. V první části experimentu jsou porovnány výsledky hmotnostních úbytků po korozní degradaci u zušlechťených a rekrystalizačně žíhaných vzorků. Ve druhé části byly vystavené vzorky podrobeny zkoušce tahem s následným provedením porovnání naměřených hodnot. Praktické měření je doplněno o snímky postupné korozní degradace zkušebních vzorků.

Klíčová slova: koroze, laboratorní korozní zkoušky, hmotnostní úbytek, mechanické vlastnosti, zkouška tahem

ABSTRACT

Subject of my bachelor's thesis is „Laboratory corrosion tests of metallic materials“ examines the impact of aggressive environment and heat processing on the change of losing the weight and mechanical properties structural steel of class 12 050.

The theoretical part simply describes forms, kinds of corrosion and possibly ways how to protect machines against the corrosion. Next point in the theoretical part is corrosion tests.

In the practical part is described in detail effect of corrosion degradation to change of weight loss and mechanical properties of structural steel of class 12 050. The first part of experiment compares results of weight loss after the corrosion degradation of heat-affected and untouched samples also. In the second part exposed samples were subjected to a tensile test followed by conducting the comparison of the measured values. Practical measurement is continuously supplemented by images gradual degradation of corrosion test samples.

Keywords: corrosion, laboratory corrosion tests, weight loss, mechanical properties, tensile test

OBSAH

ÚVOD	9
CÍL PRÁCE.....	10
1 KOROZE KOVOVÝCH MATERIÁLŮ	11
1.1 Rozdělení koroze dle mechanismu korozních dějů.....	11
1.1.1 Koroze chemická	11
1.1.2 Koroze elektrochemická.....	12
1.1.3 Koroze biologická.....	12
1.2 Rozdělení koroze dle korozního poškození	13
1.2.1 Rovnoměrné poškození.....	13
1.2.2 Nerovnoměrné poškození.....	13
1.3 Rozdělení koroze dle korozního prostředí	17
1.3.1 Atmosférická koroze	17
1.3.2 Koroze ve vodách	18
1.3.3 Koroze půdní	19
1.3.4 Koroze v průmyslovém prostředí.....	19
1.3.5 Koroze v prostředí spalovacích motorů	19
2 OCHRANA PROTI KOROZI.....	20
2.1 Protikorozní ochrana volbou materiálu.....	20
2.2 Ochrana volbou konstrukčního řešení.....	20
2.3 Ochrana úpravou korozního prostředí.....	21
2.4 Elektrochemická ochrana.....	22
2.4 Ochranné povlaky.....	22
2.4.1 Ochranné povlaky kovové.....	22
2.4.2 Ochranné povlaky organické.....	23
2.4.3 Ochrana anorganickými nekovovými povlaky.....	23
3 KOROZNÍ ZKOUŠKY	24

3.1	Hodnocení korozních změn	25
3.2	Příprava zkoušky	26
3.3	Laboratorní korozní zkoušky – expozice v korozním prostředí	26
3.3.1	Korozní zkouška za působení solné mlhy	26
3.3.2	Korozní zkouška v kondenzační komoře	27
3.3.3	Atmosférické korozní zkoušky	28
3.4	Laboratorní korozní zkoušky – hodnocení korozních změn	29
3.3.1	Zkouška Erichsenovým přístrojem	29
3.3.2	Zkouška ohybem.....	30
3.3.3	Měření tloušťky nátěrové hmoty	30
3.4.4	Hodnocení hmotnostních změn	31
4	PRAKTICKÁ ČÁST.....	31
4.1	Materiál a zkušební vzorky	31
4.1.1	Volba materiálu	31
4.1.2	Zkušební vzorky	31
4.2	Tepelné zpracování.....	32
4.3	Korozní degradace.....	33
4.3.1	Průběh korozní degradace u vzorků určených pro výpočet hmotnostního úbytku a vzorků k tahové zkoušce.....	34
4.4	Chemické čištění	37
4.5	Stanovení hmotnostního úbytku.....	38
4.6	Tahová zkouška	40
4.6.1	Tahová zkouška rekrystalizačně žíhaných vzorků vystavených solné mlze ..	42
4.6.2	Tahová zkouška kalených a popuštěných vzorků vystavených solné mlze ...	43
5	ZÁVĚR	44
LITERATURA	45	
SEZNAM OBRÁZKŮ	48	
SEZNAM TABULEK	49	

ÚVOD

Lidé kovy využívají ve velké míře již po staletí. Nejdříve byly známy ty kovy, které se v přírodě vyskytují v ryzím stavu – měď, stříbro, zlato. Časem už se lidé nemohli spolehnout pouze na omezené množství přírodních ryzích kovů. Proto se museli naučit kovy vyrábět z rud, vznikl tedy energeticky bohatý kov, který je v prostředí nestabilní a samovolně podléhá korozi.

Již od pradávna korozi chápeme jako nežádoucí proces. Jedná se o fyzikálně chemickou interakci kovu a prostředí, při které kov mění své vlastnosti. Odhaduje se, že asi třetina veškeré vyrobené oceli v průběhu užívání podlehne korozi, což způsobuje obrovské ztráty v národním hospodářství. Z ekonomického hlediska tyto ztráty dosahují každoročně na 3 – 5% HDP.

Proto jsou důvody vzniku a průběhu koroze neustále zkoumány a sledovány. Z těchto zjištěných údajů jsou následně vyvíjeny a navrhovány nejrůznější opatření pro její zamezení. V současnosti již existuje nepřehledné množství protikoročních ochranných opatření.

Nejpoužívanějším a z ekonomického hlediska přijatelným systémem proti korozi jsou jednoznačně nátěrové hmoty. Jako jedno z dalších řešení se nabízí použití nerezových ocelí nebo provedení elektrochemické ochrany kovů proti korozi.

Ztráty způsobené korozi se vlivem zvyšování agresivity prostředí znečištěvaného průmyslovými exhaláty neustále zvyšují a koroze je stále závažnějším problémem. Proto je velice důležité získávat neustále nové poznatky o jednotlivých kovech a jejich užití v nejrůznějších prostředích. Toto zkoumání spočívá v experimentálním získávání informací o korozi odolnosti mnoha různými zkouškami. Díky výsledkům a poznatkům z těchto zkoušek jsme schopni zvolit ideální materiál a protikorozi ochranu.

CÍL PRÁCE

Cílem předložené bakalářské práce na téma „Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů“ je zpracovat teoretické poznatky z oblasti vzniku koroze kovových materiálů, popsat možné způsoby ochrany proti korozi a systémy korozních zkoušek. Empirická část byla věnována praktickému experimentu.

První část experimentu pojednává o závislosti hmotnostního úbytku materiálu vlivem korozní degradace na tepelném zpracování. Zkušební vzorky byly po určité době vystaveny agresivnímu prostředí (solné mlze) a po ukončení zkoušky byly porovnány jejich hmotnostní úbytky.

Druhá část byla zaměřena na změnu mechanických vlastností. Vzorky byly opět vystaveny agresivnímu prostředí v kombinaci s předešlou tepelnou expozicí. Zkouška je založena na porovnání pevnosti v tahu u zkorodovaných a nekorodovaných vzorků. V obou případech byl jako zkoumaný materiál zvolen plech z konstrukční oceli třídy 12 050.

1 KOROZE KOVOVÝCH MATERIÁLŮ

Pojem koroze kovových materiálů shrnuje děje, které vedou k nežádoucímu nevratnému a škodlivému rozrušování pevných látek. Korozi lze také definovat jako znehodnocování materiálů chemickými, elektrochemickými popřípadě i biologickými vlivy okolního prostředí. Koroze kovových materiálů je považována za stále narůstající národohospodářský problém. To je zapříčiněno průmyslovou činností, díky které neustále narůstá agresivita přírodního korozního prostředí.

Z technického hlediska může koroze způsobit změny:

- mechanických vlastností (pevnost, pružnost);
- fyzikálních vlastností (magnetické, elektrické, tepelné);
- geometrie povrchu, struktury aj. [1, 13]

1.1 Rozdělení koroze dle mechanismu korozních dějů

Podle mechanismu korozních dějů rozlišujeme tři základní typy koroze:

- chemická;
- elektrochemická;
- biologická.

1.1.1 Koroze chemická

Chemická koroze způsobuje rozrušování kovů chemickou reakcí mezi prostředím a materiálem. Je vyvolávána agresivními látkami v plynných prostředích za vyšších teplot nebo v nevodivém kapalném prostředí. Rychlost koroze je závislá na procesu chemické reakce. Podle charakteru prostředí můžeme chemickou korozi rozdělit na korozi v oxidačně působících plynech a na korozi v redukčně působících plynech.

Oxidační koroze vzniká za působení plynů, jako jsou: O_2 , CO_2 , SO , SO_2 . Charakteristickým rysem pro tuto korozi je tvorba oxidických vrstev na povrchu kovu (na rozhraní mezi kovem a prostředím). Za určitých podmínek je možné, aby tato vzniklá vrstva měla ochranný charakter, a koroze se tím zpomalila. Tento případ je typický u většiny kovů, např. Pb, Cu, Al, Zn, Fe, Cr. Naopak pro kovy Mg, Na, Li, Cs, K, má vzniklá vrstva minimální ochranné vlastnosti a rychlost oxidace je značná. Vznik okují při tepelném zpracování Fe je nejtypičtějším příkladem chemické koroze v oxidačně působícím prostředí.

Koroze v redukčně působících plynech je vlastně rozrušování difuzí plynu do kovu a jeho následnými reakcemi. Poškození nejčastěji způsobuje vodík, jeho směsi s jinými plyny, metan a amoniak. Dočasné poškození tímto dějem bývá nazýváno vodíkovou křehkostí, trvalým poškozením vodíkovou korozí a vodíkovou nemocí.

[2, 3, 11]

1.1.2 Koroze elektrochemická

Děj elektrochemické koroze vzniká v elektrolytech, tedy v roztocích nebo taveninách, které jsou elektricky vodivé. Podmínkou elektrochemické reakce je tedy elektricky vodivé prostředí, které tvoří elektrolyt a dvě elektrody – anoda a katoda.

Neboť se jedná o reakci oxidačně redukční a vztah mezi katodovou a anodovou reakcí je vzájemně natolik závislý, nemohou tyto reakce probíhat samostatně, pokud degradujícím kovem neprochází žádný vnější proud. Anodická reakce odpovídá oxidaci kovu a tedy vlastní korozi. Zároveň je tato reakce zdrojem elektronů. Současně probíhá redukce na katodě, při které jsou spotřebovány vyprodukované elektrony. Z toho vyplývá, že musí být zachován počet vyprodukovaných a spotřebovaných elektronů v reakci. [1, 3, 24]

Faktory ovlivňující elektrochemickou reakci jsou:

- elektrodový potenciál;
- polarizace, depolarizace;
- pasivita;
- vnitřní faktory, které souvisí s korodovaným kovem;
- vnější faktory, které souvisí s prostředím.

1.1.3 Koroze biologická

Biologické faktory působí na kov, jak fyzikálně i chemicky. Korozní biologické děje mohou být způsobeny nebo ovlivněny mikrobiologickou činností přímo nebo nepřímo, v důsledku metabolické činnosti mikroorganismů. Příkladem těchto biokorozních mikroorganismů jsou bakterie, řasy, houby a plísně. Tyto mikroorganismy mohou mít přímý vliv na rychlost anodické nebo katodické reakce. Během látkové výměny jsou schopny měnit odolnost kovu. Příkladem jsou biologické pochody u exkrementů a moči zvířat, při kterých vznikají látky, které narušují především kov, ale i jiné nekovové materiály. [12, 13]

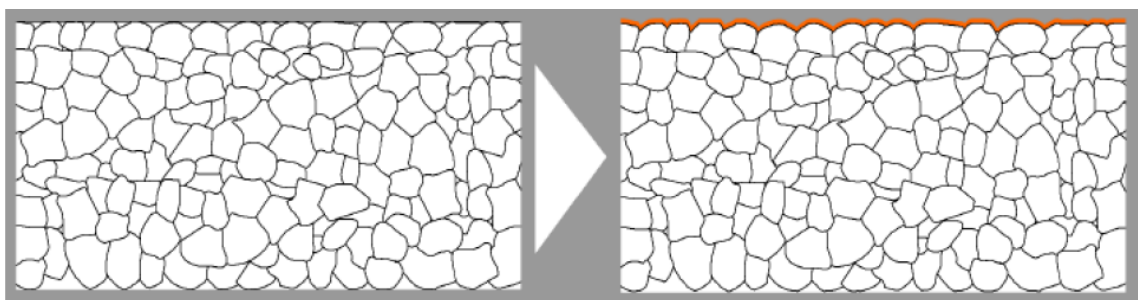
1.2 Rozdělení koroze dle korozního poškození

Podle povahy korozního poškození lze korozi dělit na rovnoměrnou a nerovnoměrnou. Nerovnoměrná koroze je členěna na několik druhů podle korozního rozpouštění. Typy korozního poškození jsou následně blíže popsány.

- rovnoměrné korozní poškození;
- nerovnoměrné korozní poškození:
 - Skvrnité
 - Důlkové a bodové
 - Nitkové
 - Mezikrystalové
 - Transkrystalové
 - Selektivní
 - Extrakční

1.2.1 Rovnoměrné poškození

Rovnoměrné korozní napadení je nejběžnějším korozním poškozením kovových materiálů. U tohoto děje je povrch kovu korozi napadán rovnoměrně. Rovnoměrné napadení je takové, u něhož napadání korozi probíhá stejnou rychlostí a stejnosměrně po celé kovové ploše materiálu. Ztráta hmotnosti korodovaného materiálu na plošné jednotce za jednotku času vyjadřuje rychlost korozního rozpouštění. Díky tomu lze určit pravděpodobnou životnost, což je důležité pro volbu vhodného materiálu. [6, 26]



Obr. 1: Stav povrchu před a po napadení rovnoměrnou korozi [26]

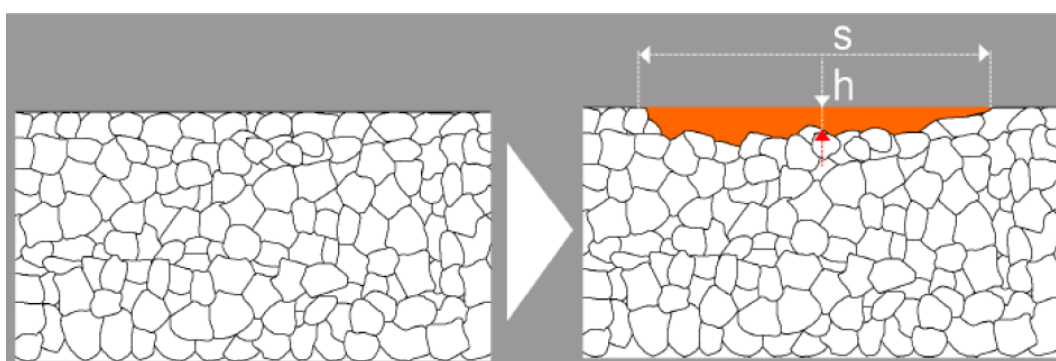
1.2.2 Nerovnoměrné poškození

Při nerovnoměrné korozi je povrch kovu napadán korozi nerovnoměrně. Příčinnou jsou teploty korozního prostředí, rozdílné makroskopické vlastnosti materiálu, místní změny

prostředí a také druh prostředí. Nejdříve jsou napadena náchylnější místa, ty se dále šíří do hloubky. Některá místa nejsou napadena vůbec. [6, 26]

Skvrnité napadení

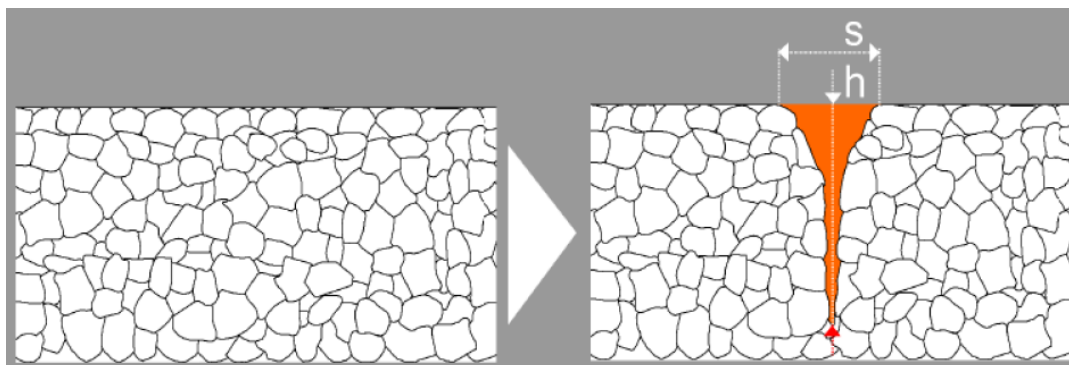
Skvrnitá koroze vzniká na povrchu kovu, vždy pouze na omezeném počtu míst. Bývá způsobena různou aktivitou v systému kov, elektrolyt, prostředí, např. při teplotních rozdílech nebo při tvorbě makročlánku. Šířka skvrny je větší než její hloubka, což je pro tuto formu koroze typické. Při dlouhodobém působení může koroze přecházet v rovnoměrné korozní napadení. [4, 26]



Obr. 2: Stav povrchu před a po napadení skvrnitou korozí [26]

Bodové poškození

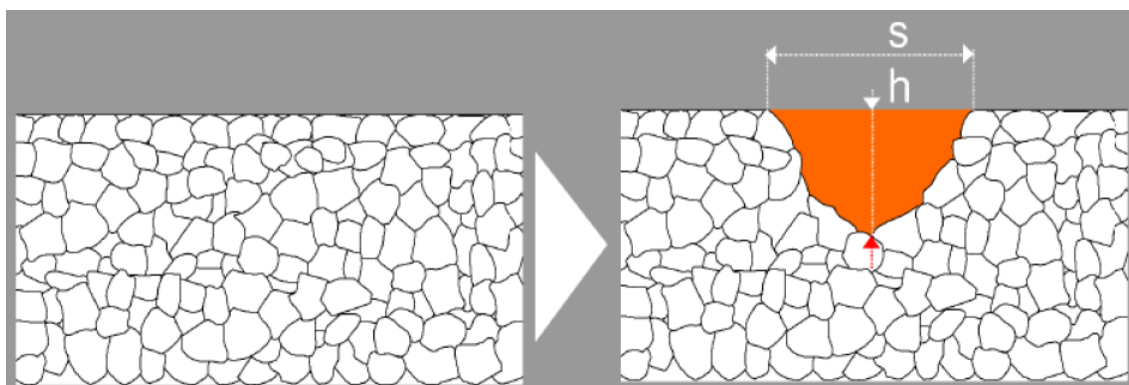
Bodová koroze je koroze kovového povrchu vyskytující se pouze v bodě nebo na malé oblasti. Na napadených místech koroze rychle postupuje do hloubky, přičemž zbytek povrchu nemusí vykazovat žádné známky korozního poškození. Body se nejčastěji vytvářejí tam, kde není povrchový film spojitý. Jedná se o jednu z nejvíce škodlivých forem koroze, která může vést k rychlému poškození do velké tloušťky nebo až k proděravění. [6, 26]



Obr. 3: Stav povrchu před a po napadení bodovou korozí [26]

Důlkové poškození

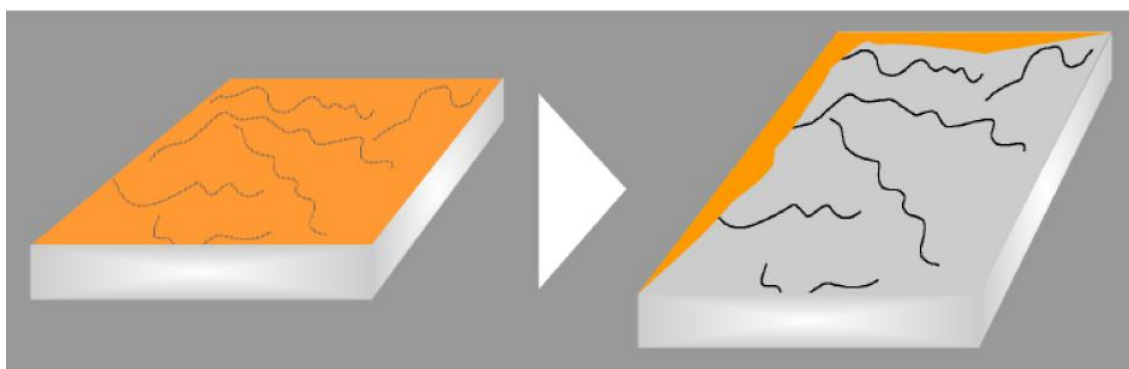
Důlková koroze je hloubkové poškození, které vzniká místním zvýšením aktivity kovového povrchu nebo korozních zplodin. Obvykle je hloubka důlkového napadení menší než největší průměr důlku. [3, 10, 26]



Obr. 4: Stav povrchu před a po napadení důlkovou korozi [26]

Nítkové poškození

Nítková koroze je zvláštní formou koroze. Vzniká zejména pod vrstvou organických ochranných povlaků. Dále neproniká do hloubky a šíří se ve formě náhodně rozmístěných trhlinek. Tenké trhlinky se šíří mikroskopickými kanálky na rozhraní materiálu a jeho povlaku. Tato koroze způsobuje estetické poškození, přičemž nemusí docházet k narušení nebo perforaci materiálu. [2, 3, 9]

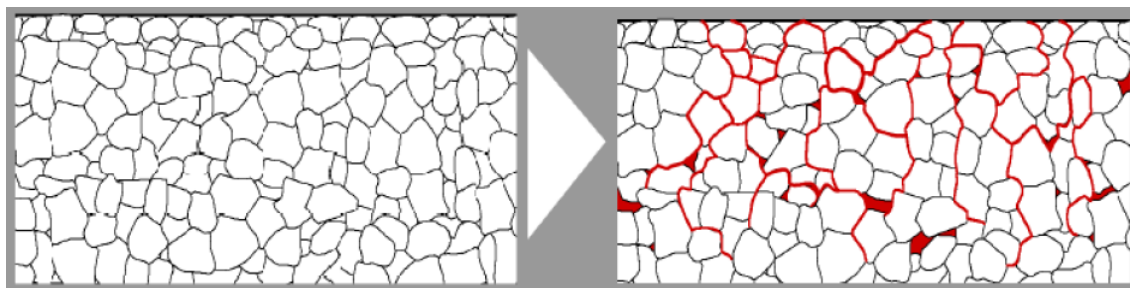


Obr. 5: Stav povrchu před a po napadení nítkovou korozi [26]

Mezikrystalové poškození

Mezikrystalová koroze je korozní poškození na hranicích zrn, které vzniká při podstatně rychlejší korozi hranic zrn než vlastního zrna. Ty pak ztrácejí vzájemnou soudržnost a

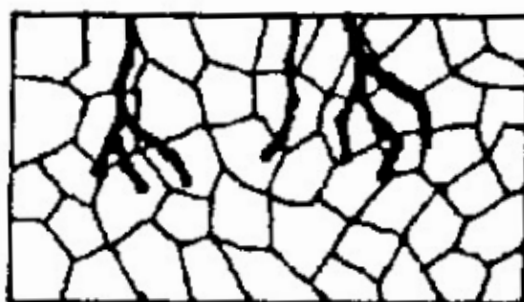
může dojít až k rozpadu materiálu na jednotlivá zrna. Této korozi podléhají především slitiny, u kterých při tepelném zpracování dochází ke změnám struktury na hranicích zrn. U mezikrystalového napadení dochází ke ztrátě pevnosti materiálu, přičemž povrch slitiny se zdá být neporušený. [2, 3]



Obr. 6: Stav povrchu před a po napadení mezikrystalovou korozi [26]

Transkrystalové poškození

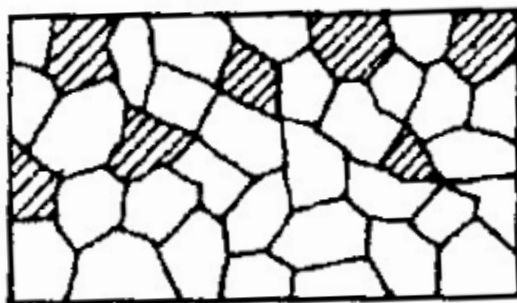
Jedná se o korozní poškození ve tvaru trhlinek napříč zrn, které vzniká při současném působení elektrochemických vlivů a mechanického namáhání vnějšími silami nebo vnitřním pnutím. Projevuje se změnou mechanických vlastností a dá se zjistit metalograficky. [3, 11, 13]



Obr. 7: Transkrystalová koroze [11]

Selektivní poškození

U selektivního poškození se koroze vyskytuje jen v určitých částech kovu, nejčastěji v místech mechanického poškození. Příkladem tohoto poškození může být odzinkování mosazi. [11, 13]



Obr. 8: Selektivní koroze [11]

Kavitační poškození

Kavitační koroze je současné působení dvou procesů – kavitace a koroze. Tento jev je častý u turbín a vodních čerpadel. [10, 13]



Obr. 9: Kavitační koroze [28]

1.3 Rozdělení koroze dle korozního prostředí

Následně budou popsány nejčastější typy korozních prostředí.

1.3.1 Atmosférická koroze

Jedná se o nejrozšířenější druh koroze a způsobuje přibližně 60% všech ztrát korozí. Vodní páry a nečistoty ve vzduchu jsou příčinou vzniku atmosférické koroze. Rychlost koroze ovlivňuje především vlhkost a znečištění atmosféry, srážky, teplota, sluneční záření, bakterie, plísně a ušlechtilost kovu. Korozní děj probíhá pouze při relativní vlhkosti nad 60%. Při této vlhkosti vzniká na povrchu kovu vrstvička elektrolytu. Kyslík z ovzduší zapříčiní kyslíkovou depolarizaci a nečistoty z ovzduší přispívají k fyzikálnímu nebo chemickému rozrušení lidické vrstvy. [13, 29]



Obr. 10: Koroze v atmosféře [27]

1.3.2 Koroze ve vodách

Přírodní voda je zředěný roztok elektrolytu s různou korozní agresivitou. Koroze ve vodách je elektrochemická koroze a závisí na chemickém složení, proudění, teplotě a přítomnosti kyslíku. Míru nebezpečí pro daný kov můžeme jednoduše určit podle tvrdosti vody. U vod tvrdých se na povrchu vytváří vrstva uhličitanu vápenatého, který korozi zpomaluje a funguje jako bariéra zabráňující styku kovu s korozním prostředím. Naopak vody měkké a dešťové mohou být velmi agresivní. Zvláště agresivní jsou v případě, že jsou znečištěny sírany a chloridy z ovzduší. Jako nejčastější druh korozního poškození je důlková a rovnoměrná koroze. [13, 29]



Obr. 11 Koroze ve vodách [25]

1.3.3 Koroze půdní

Koroze v půdě je elektrochemická koroze. Korozi ovlivňuje několik základních faktorů, které se odvíjí od vlastností půdy. Zejména to je druh půdy a její vlhkost, dále množství minerálů, bakterií a plyných látek. Podle vlastností půdy se odvíjí i korozní napadení. [13, 29]



Obr. 12: Koroze v půdách [24]

1.3.4 Koroze v průmyslovém prostředí

Za průmyslové prostředí považujeme prostředí s vyšší korozní agresivitou, podporovanou vyššími teplotami, větším obsahem kyselin solí a chemikálií. Vlivem koroze může dojít k mnoha nežádoucím jevům. Díky úbytku na materiálu může dojít ke snížení pevnosti dílů, ale i k vlastnímu narušení struktury materiálu. Koroze je z důvodu ohromných materiálových škod považována za velký problém v celosvětovém průmyslu. Abychom byli schopni zabránit koroznímu poškození, a tedy i velkým finančním ztrátám, je potřeba dobře znát jednotlivé druhy koroze a možnou prevenci. [13]

1.3.5 Koroze v prostředí spalovacích motorů

V prostředí spalovacího motoru převážně probíhá koroze chemická vlivem horkých plyných spalin. Při prostojích motoru vlivem kondenzátu probíhá koroze elektrochemická. Chemická koroze však výrazně převažuje a je závislá na složení spalin, podle kterých má charakter buď oxidační, nebo redukční. Oxidační charakter je

méně nebezpečný, ale častěji podporuje vznik okují. Při redukční korozi může docházet k nauhličení povrchových vrstev a při přítomnosti sirných složek je kov napadán sirovodíkem. Během provozu lze pomocí přísad do paliva ochránit spalovací prostor před chemickou korozi. V chladicí soustavě probíhá koroze elektrochemická. Je ovlivněna elektrolytem a přítomností kovů s různým elektronovým potenciálem – vznik makročlánku. Použitím speciálních směsí s inhibitory lze chladicí soustavu ochránit. [13]

2 OCHRANA PROTI KOROZI

Nejprve je nutné říci, že korozi v běžné praxi nelze trvale zastavit. Existuje však několik možných ochranných opatření proti korozi. Abychom zvolili ten nejideálnější způsob ochrany proti korozi, je nutné využít znalostí o mechanismu a kinetice koroze. Pokud zvolíme vhodný způsob ochrany, jsme schopni jednotlivým formám koroze zabránit nebo je omezit na přijatelnou mez. Důsledným využitím vědy a techniky je možné korozní ztráty velmi výrazně snížit. Protikorozní ochrana zahrnuje:

- volbu konstrukčního materiálu;
- konstrukční úpravu materiálu;
- úpravu korozního prostředí;
- vlastní ochranu.

2.1 Protikorozní ochrana volbou materiálu

Důležitou roli při volbě konstrukčního materiálu na danou součást nehrají pouze požadované vlastnosti, ale také finance. Proto se volí materiál, který bude co nejlevnější, ale zároveň bude splňovat technické požadavky. Velký význam při této volbě má korozní odolnost. Při volbě materiálu s nižší korozní odolností se snahou ušetřit podstupujeme riziko, že by se náklady časem naopak zvýšily. Je zde vyšší pravděpodobnost vzniku poruchy a následného odstavení zařízení. [1]

2.2 Ochrana volbou konstrukčního řešení

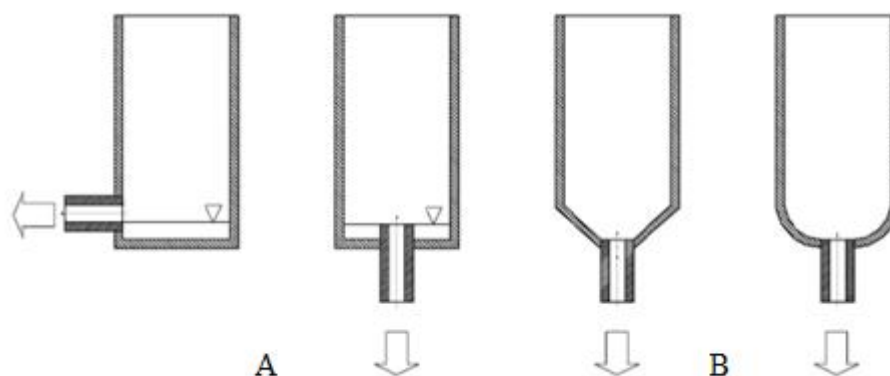
Volba vhodného konstrukčního řešení je základem proti korozi a klimatickým vlivům. Důležité je volit materiály, které jsou dostatečně odolné vůči prostředí, v němž bude

výrobek umístěn. Pokud je nějaká část nedostatečně odolná, je možné použít vhodnou povrchovou úpravu, která nesmí mít negativní vliv na funkčnost.

Jestliže u zařízení nebo přístroje předpokládáme výměnu nebo obnovu systému ochrany jeho části, musíme zajistit jeho dostupnost a snadnou přístupnost pro demontáž těchto částí.

K dosažení co nejlepších výsledků v oblasti konstrukčního řešení je nutné se řídit určitými zásadami. Nejjednodušší tvary s co nejméně členitým povrchem jsou jednou z nejvíce podstatných zásad konstrukčního řešení. Další významnou zásadou pomocí konstrukčního řešení je snaha zamezení styku s agresivními složkami prostředí.

Ideální povrch výrobku by měl být hladký a bez ostrých hran. Konstrukce výrobku musí být vhodně zvolena, aby nedocházelo ke zhoršení vnitřního mikroklimatu (shromažďování zkondenzované vody). Citlivou částí z konstrukčního hlediska je také spojování jednotlivých materiálů. [6]



Obr. 13: a) nevhodné konstrukční řešení, b) vhodné konstrukční řešení [24]

2.3 Ochrana úpravou korozního prostředí

Rychlost koroze ovlivňuje především teplota, tlak a rychlost proudění vzduchu. Korozní prostředí můžeme pozitivním způsobem ovlivnit, pokud známe korozní činitele. V zásadě lze provést odstranění činitelů koroze nebo snížení jejich koncentrace. Dalším způsobem je přidání tzv. inhibitorů. Inhibitory jsou látky, které snižují rychlost koroze.

Odstranění korozních složek, které způsobují korozní napadení, nazýváme destimulací. Typickým příkladem destimulace je odstraňování kyslíku z prostředí za pomoci varu, vakua nebo inertního plynu.

Použití inhibitorů nazýváme inhibicí. Aplikací inhibitorů je možné výrazně snížit korozní rychlost. Inhibice blokuje dílčí anodické či katodické děje, případně kombinaci obou dějů. Účinná koncentrace se obvykle pohybuje od 0,1 do 10 g/l.

Fyzikální úprava parametrů korozního prostředí, je další skupinou ochrany. Snížením teploty a rychlosti korozního prostředí lze dosáhnout snížení korozní agresivity. [8]

2.4 Elektrochemická ochrana

Při elektrochemické ochraně dochází ke snižování koroze vhodnou polarizací kovu. Pokud je ovlivněna velikost proudu na rozhraní kov – elektrolyt, nastane změna potenciálu kovu vůči danému elektrolytu.

Při katodické ochraně je určitý kov, který chceme ochránit pomocí tzv. katodické polarizace, převeden do stavu imunity.

U anodické ochrany je chráněný materiál naopak převeden do pasivního stavu pomocí tzv. anodické polarizace. [8, 13]

2.4 Ochranné povlaky

Jedná se o povrchovou úpravu materiálu, při které se přihlíží zejména na účel použití a funkci povlaku. Podle tohoto kritéria lze rozlišit povlaky ochranné, dekorativní a speciální. Podle doby, po kterou budou chránit povrch, rozlišujeme také povlaky krátkodobé a dlouhodobé. V praxi obvykle ochranný povlak plní více funkcí současně. Nejčastější ochranné povlaky jsou:

- kovové povlaky;
- organické povlaky;
- anorganické nekovové povlaky.

2.4.1 Ochranné povlaky kovové

K tvorbě ochranných povlaků se používají různé kovy všech ušlechtilostí. Povlak je nanášen ponorem do taveniny, žárovým a plasmatickým nástřikem a elektrolytickým nebo bezproudovým vylučováním. Každá z těchto technologií má své specifické vlastnosti, ale tloušťka a pórovitost povlaku jsou nejdůležitější z hlediska ochranné účinnosti. S rostoucí tloušťkou povlaku narůstá jeho životnost, přesto se i v bezpórovitém povlaku, po určitém časovém období začíná koroze objevovat. Proto je důležité nastudovat nejen korozní odolnost samotného povlaku, ale také odolnost

chráněného materiálu. Vlivem chemické koroze dochází ke vzniku korozních zplodin, které utěsňují malé póry. Naopak na velké póry má chemická koroze nepříznivý účinek. Charakter povlakového kovu, nám určuje, zda se jedná o katodický povlak, např. nikl na oceli nebo anodický povlak, např. zinek na oceli. [7, 24]

2.4.2 Ochranné povlaky organické

Ochranný účinek organického povlaku je založen na bariérovém způsobu. Lze ho získat různým způsobem o různé tloušťce s rozdílnou ochrannou činností v závislosti na vlastnostech organických materiálů.

Nátěrové hmoty jsou nejstarším a nejpoužívanějším prostředkem k povrchové ochraně proti korozi. Hlavní složkou jsou pojidla, která udělují nátěrové hmotě charakteristické vlastnosti. Pojidla obsahují filmotvorné látky organického původu a rozpouštědla, ve kterých se filmotvorné látky rozpouštějí.

Filmotvorné látky vytvářejí na povrchu po zaschnutí souvislý film, který chrání kov od okolního prostředí. Patří sem především vysychavé oleje (syntetické, rostlinné, živočišné), umělé a přírodní pryskyřice, deriváty celulózy a asfalty.

Filmotvorné látky jsou rozpouštěny v rozpouštědlech, které zároveň umožňují nanášení nátěrových hmot. Jedná se např. o alkoholy, tolueny a lehké benziny. Rozpouštědla mají negativní vliv na životní prostředí a zdraví lidí, kteří s těmito látkami pracují. Proto je snaha o jejich omezení, v co největší možné míře, používáním např. vodou ředitelných nátěrových hmot nebo práškových nátěrových hmot.

Barevný odstín dodávají nátěrové hmotě pigmenty, které u základních barev působí také jako inhibitory. Plnidla jsou látky nerozpustné v rozpouštědlech, které vhodně upravují technologické vlastnosti nátěrové hmoty. Stabilizátory, sušidla a látky zvyšující lesk jsou pomocné přísady, které nazýváme aditivy. [9, 13]

2.4.3 Ochrana anorganickými nekovovými povlaky

Nejznámější anorganický nekovový povlak je keramický smalt, který vytváří neporézní bariéru mezi chráněným materiálem a okolním prostředím. Při smaltování se vytváří žárovým způsobem křemičitý sklovitý povlak, který je odolný vůči vysokým teplotám i chemicky agresivnímu prostředí, a to bez změny barvy či lesku, ale je také křehký a neopravitelný. Existuje několik principů nanášení skloviny, ve všech případech je však nanášená sklovina následně vypálena při teplotě 800 – 900 °C. Smaltování lze provádět za sucha nebo za mokra. [7, 8]

3 KOROZNÍ ZKOUŠKY

Druh korozní zkoušky volíme podle důvodů, které si vyžadují zkoušku provést. Každá zkouška je zaměřena na určitou problematiku, tedy neexistuje žádná univerzální zkouška. Zkoušky jsou závislé na typech korozního systému (materiál, prostředí, druh koroze samotné). Korozní zkoušky lze rozdělit na dvě základní skupiny:

- zkoušky laboratorní;
- zkoušky provozní.

Laboratorní zkoušky se provádějí v laboratořích, z toho důvodu se většinou pracuje s malými vzorky o malém objemu korozního prostředí, dle určité normy. Za těchto podmínek lze dosáhnout velice přesných výsledků, proto se tyto zkoušky provádějí pro vědecko-výzkumné účely. V laboratořích se provádí také tzv. napodobující zkoušky. Tyto zkoušky se provádějí za účelem volby materiálu, prostředí, délky životnosti ve vytvořených podmínkách, které jsou co nejpodobnější koroznímu systému v praxi.

V případě, že informace o korozní odolnosti potřebujeme znát co nejrychleji, je možné provést zrychlené korozní zkoušky. U těchto zkoušek je nejvýznamnějším faktorem ten, který je u daného prostředí a materiálu rozhodující. Zrychlené zkoušky jsou však pouze předběžného charakteru a jen na základě jejich výsledků není možno rozhodnout o vhodném řešení provozního zařízení.

Zkoušky, které nezkoumají stupeň napadení samotného materiálu nebo nezjišťují korozní úbytek, nazýváme zkoušky nepřímé. Nepřímé zkoušky se zaobírají ochrannými povlaky (tloušťka, homogenita), mechanickými vlastnostmi vzorku nebo elektrickým odporem.

Provozní zkoušky probíhají v provozu dlouhodobě bez jakýchkoli urychlení. Lze je provádět i na vzorcích, ale běžně se provádí na samotném provozním zařízení.

Základní důvody provádění korozních zkoušek jsou:

- výzkum;
- vývoj konstrukčních materiálů a protikorozní ochrany;
- konkrétní volba materiálu a protikorozní ochrany;
- kontrola odolnosti;
- kontrola stavu v průběhu provozu;
- zjištění příčiny selhání materiálu. [29]

3.1 Hodnocení korozních změn

Zkorodovaný povrch se hodnotí vizuálně a to tím způsobem, že se nejdříve hodnotí povrch se vzniklými korozními produkty a následně ještě jednou po odstranění těchto produktů. Nerovnoměrné napadení (trhliny) se dá odhalit použitím fluorescenční látky nebo magnetického prášku.

Dále hodnotíme rozměrovou změnu materiálu. Nejčastěji se hodnotí tloušťka vzorku nebo stěny zařízení. K měření se používají klasická mechanická měřidla nebo defektoskopické nástroje (ultrazvuk, odporová metoda). Při nerovnoměrném napadení kovu se zpravidla měří také hloubka napadení, aby se zjistilo nebezpečné zeslabení materiálu.

V laboratorních podmínkách se také hodnotí hmotnostní změna vzorku. Tento způsob hodnocení spočívá v určení hmotnostního rozdílu před a po expozici. Tato metoda se nejběžněji používá při napadení vzorku rovnoměrnou korozi. Díky tomuto způsobu lze určit časovou závislost koroze. Vzorky musí být upraveny na určitý tvar, velikost a jakost povrchu, aby byl splněn účel a typ zkoušky. Po ukončení expozice se vzorky za pomoci chemických prostředků zbaví korozních produktů, které nesmí narušit základní kovový materiál.

Při hodnocení nerovnoměrné koroze nebo kvality povlaku je vhodné použít metalografickou zkoušku. Jedná se pouze o vizuální hodnocení vzorků pod mikroskopem. Pomocí metalografie jsme schopni určit charakter a hloubku korozního napadení.

Změna mechanických vlastností zkoumaného vzorku se provádí na příslušných zařízeních. Hodnotí se mechanické vlastnosti, jako jsou pevnost, tvrdost, houževnatost apod.

Abychom měli přehled o změnách složení korozního prostředí, je nutné provést rozbor. Rozborem korozního prostředí jsme schopni určit rozpustné produkty koroze (ionty kovu), zaznamenat látky které podporují nebo zpomalují korozní proces, dále jsme schopni určit objem látek, které zanikají v depolarizační reakci. K rozboru se využívají sondy, které fungují na principu elektrochemickém nebo na základě zvýšení tlaku vodíku v uzavřeném prostředí.

Díky obecným metodám nedestruktivního zkoušení kovu je možné hodnotit korozní napadení z hlediska fyzikálních změn parametrů. Jedná se o metody akustické, radiační, elektrické, magnetické a termografické. Akustická metoda je vlastně zvuková

zkouška celitosti materiálu. Nejjednodušší metoda se provádí poklepem na materiál při současném pozorování změny zvuku. K určení změny tloušťky materiálu se používá akustická ultrazvuková defektoskopická metoda. [29]

3.2 Příprava zkoušky

Pokud chceme provést jakoukoli korozní zkoušku, je nutné, aby byl zkušební vzorek z materiálu o známém složení. Na zkoumaném vzorku je třeba monitorovat veškeré úpravy. Zejména tepelné a mechanické zpracování, svařování a různé další úpravy, které byly se vzorkem uskutečněny. Hrany u všech zkoumaných vzorků by měly být zaobleny, popřípadě zaizolovány povlakem. Neexistuje žádná předepsaná norma, která by nám určila přesný tvar a velikost vzorku. Kupříkladu u vzorků zhotovených z plechů je doporučená velikost od 80 x 30 mm do 150 x 100 mm. Pokud předběžně předpokládáme výskyt nerovnoměrné koroze, tak by měla být plocha materiálu co největší. Z pravidla se používají tenké vzorky s tloušťkou do 2 mm a hmotností omezenou ve většině případů na 200 g.

Důležité je označení všech zkoušených vzorků očíslováním nebo jiným přehledným označením. Se vzorky se smí manipulovat pouze v rukavicích a každý vzorek musí být před zkouškou důkladně odmaštěn a očištěn. Vzorky umístíme tak, aby mezi sousedícími vzorky byla vymezená mezera zajišťující, že vzorky nejsou příliš u sebe.

Délka trvání korozní zkoušky je stanovena normou ČSN a může trvat několik hodin, dní i týdnů. Je nutné, aby v průběhu celé zkoušky byly podrobně zaznamenávány údaje o všech okolnostech a změnách během zkoušky. [29]

3.3 Laboratorní korozní zkoušky – expozice v korozním prostředí

3.3.1 Korozní zkouška za působení solné mlhy

Zkouška se provádí dle normy ČSN EN ISO 9227.

Tato zkouška je zkouškou napodobující, což znamená, že neurčuje průběh koroze, ale pouze nás informuje, zda materiál vůbec koroduje. Zkouška byla standardizována poprvé v USA roku 1939. Zkoumané vzorky se uzavírají do zkušební komory, ve které jsou vystaveny urychleným korozním podmínkám. Pomocí speciální trysky se rozprašuje roztok demineralizované vody a chloridu sodného. Teplota a koncentrace roztoku musí být dodržena podle předepsané normy. [5, 16]



Obr. 14: Komora pro zkoušky za působení solné mlhy [23]

3.3.2 Korozní zkouška v kondenzační komoře

Kondenzační komora s H₂O

Zkouška se provádí dle normy ČSN 03 8131.

Jedná se o jednoduchou zkoušku, vhodnou ke zkoušení materiálů nejčastěji s povrchovou úpravou typu nátěrů. Vzorky umísťujeme do prostředí s maximální vlhkostí (100%) a s lehce zvýšenou teplotou (40°C). Zkoušky mohou probíhat konstantně nebo také cyklickou formou. Korozní zkouška v kondenzační komoře se používá také k hodnocení ochranné účinnosti konzervačních prostředků. [5, 21]



Obr. 15: Kondenzační komora [23]

Kondenzační komora s SO₂

Zkouška se provádí dle normy ČSN ISO 6988.

Pokud zkušební atmosféru doplníme o oxid siřičitý, můžeme simulovat průmyslové prostředí. Tato metoda je vhodná pro zjišťování odolnosti kovových a anorganických povlaků. Oxid siřičitý obsažený ve vlhkém vzduchu vyvolává viditelné známky koroze, proto je zkouška vhodná pro detekci pórů nebo jiných zdrojů narušení ochranných povlaků. [5, 20]



Obr. 16: Kondenzační komora s SO₂ [autor]

3.3.3 Atmosférické korozní zkoušky

Zkouška se provádí dle normy ČSN EN ISO 8565 (atmosférické korozní zkoušky).

Princip zkoušky spočívá ve vystavení vzorků vlivu atmosférických podmínek. Ve zkušebních stanicích jsou vzorky v reálných prostředích za kontinuálního sledování parametrů prostředí vystaveny všem faktorům působení atmosférického prostředí. Zkoušky jsou časově a experimentálně vysoce náročné. Na stanicích je nutné nepřetržitě provádět měření environmentálních parametrů – teplota, vlhkost, množství srážek, sluneční záření, pH a vodivost srážek, znečištění ovzduší, obsah chloridů, síranů apod. V závislosti na korozní odolnosti atmosférické expozice trvají vzhledem k malé rychlosti 1 až 20 let. [5, 15]



Obr. 17: Korozní atmosférické zkoušky [27]

3.4 Laboratorní korozní zkoušky – hodnocení korozních změn

3.3.1 Zkouška Erichsenovým přístrojem

Zkouška se provádí dle normy ČSN ISO 1520 (zkouška hloubením).

Tato mezinárodní norma stanovuje zkušební postup pro hodnocení odolnosti nátěrových systémů vůči praskání nebo odlupování od kovového podkladu. Zkouška funguje na principu postupné deformace hloubením kuličky do zkoumaného materiálu za standardních podmínek. Zkouška je prováděna za pomoci Erichsenova přístroje, který se skládá z matrice, upínacího prstence, vlačovacího tělesa a měřícího zařízení. [5, 17]



Obr. 18: Erichsenův přístroj [29]

3.3.2 Zkouška ohybem

Zkouška se provádí dle normy ČSN ISO 1519 (ohybová zkouška na válcovém trnu).

Tato norma je jednou z mnoha norem ke vzorkování a zkoušení nátěrových hmot a podobných výrobků. Zkouška se provádí na speciálním zařízení, princip zkoušky spočívá v ohýbání zkoušeného materiálu, který je pevně uchycen, přes válcový trn. Při zkoušce zjišťujeme odolnost nátěrového systému vůči praskání nebo odtrhávání od základního materiálu. Výsledky zkoušky vyhodnocujeme vizuálně. [5, 18]



Obr. 19: Zařízení pro zkoušku ohybem [29]

3.3.3 Měření tloušťky nátěrové hmoty

Zkouška se provádí dle normy ČSN EN ISO 2808.

K měření tloušťky nátěrové hmoty slouží digitální přístroj ELCOMETER. Jedná se o nedestruktivní zkoušku fungující na principu příjmu odražených magnetických vln od kovového povrchu. Naměřená hodnota se na displeji zobrazuje ihned po styku povrchu a čidla. [5, 19]



Obr. 20: Měření tloušťky nátěrové hmoty ELCOMETREM [29]

3.4.4 Hodnocení hmotnostních změn

Při tomto způsobu se rychlost koroze určuje z rozdílu hmotností zkušebních vzorků před a po expozici. Metoda je vhodná pro napadení rovnoměrnou korozí. Citlivost metody je závislá na době expozice a poměru povrchu vzorku k jeho hmotnosti. Tímto způsobem se určuje časová závislost koroze. Před expozicí je nutné, aby tvar, velikost i povrch vzorku vyhovovaly účelu a typu zkoušky. Hmotnostní úbytky jsou měřítkem i při vyhodnocování bodové a mezikrystalové koroze podle některých metodik. [29]

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jaký vliv má agresivní korozní prostředí a tepelné zcitlivění na změnu hmotnostního úbytku a mechanických vlastností materiálu, zejména pak na změnu pevnosti v tahu.

4.1 Materiál a zkušební vzorky

4.1.1 Volba materiálu

Materiálem pro měření a zkoušení byla zvolena konstrukční ocel ČSN 12 050, odpovídající evropskému označení C 45. Tato ocel byla v průběhu zpracování válcována za studena na tloušťku 1,5 mm. Ocel byla také tepelně opracována rekrytalizačním žiháním. Norma ČSN 41 2050 omezuje chemické složení polotovaru, které je uvedeno v tabulce číslo 1.

Tab. 1: Chemické složení oceli ČSN 41 2050 [14]

Chemické složení [%]	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
	0,42 až 0,5	0,5 až 0,8	0,17 až 0,37	max. 0,25	max. 0,3	max. 0,3	max. 0,04	max. 0,04

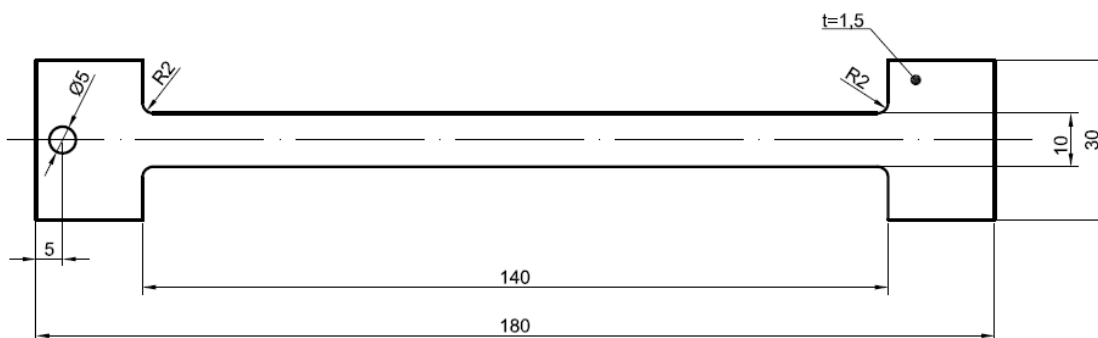
4.1.2 Zkušební vzorky

Pro experiment na určení hmotnostního úbytku materiálu bylo na tabulových pákových nůžkách nastříháno 20 kusů zkušebních destiček o rozměrech 30 mm x 80 mm a tloušťce 1,5 mm.

Pro experiment k tahové zkoušce byly na tabulových nůžkách nastříhány destičky, ze kterých byly následně vyfrézovány tahové destičky ve tvaru I s rozměry

uvedenými na obrázku číslo 21. Ke zkoušce byly použity dva vzorky, z nichž se každý vzorek skládal ze šesti kusů. Všechny destičky měly stejné rozměry i tloušťku, tudíž tahová zkouška proběhla na rozměrově identických destičkách.

Každý vzorek byl označen vyražením čísla do levého horního rohu. Do všech zkušebních vzorků byl také vyvrtán otvor o průměru 5 mm. Tento otvor sloužil k následnému připevnění na závěsnou tyč v korozní komoře. Po důkladném očištění a zvážení vzorků pro určení hmotnostního úbytku následovala tepelná expozice.



Obr. 21: Výkres tahové destičky [autor]

4.2 Tepelné zpracování

Použité vzorky byly v dodaném stavu rekrystalizačně žíhány. Polovina vzorků však byla určena k dalšímu tepelnému zpracování, konkrétně zušlechtnění. Zušlechtnění proběhlo dle následujícího postupu. Vzorky byly vloženy na 15 minut do elektrické muflové pece MP 05 – 1.1 předehřáté na 800°C. Po 15 minutách v elektrické peci následovalo prudké zchlazení v oleji. Díky tomuto procesu byly vzorky zakaleny. Kalené vzorky byly následně opět vloženy do elektrické pece předehřáté tentokrát na 600°C, po dobu 30 minut. Po vyjmutí vzorků z pece proběhlo pozvolné zchlazení na vzduchu, čímž byly vzorky popuštěny.



Obr. 22: Laboratorní pec MP 05 - 1.1 [autor]

4.3 Korozní degradace

Všechny vzorky byly následně umístěny do korozní komory, ve které byly vystaveny urychleným korozním podmínkám (neutrální solné mlze). Zkouška proběhla dle normy EN ISO 9227. Neutrální solná mlha funguje na principu rozprašování roztoku demineralizované vody a chloridu sodného do zkušební komory, ve které musí být dodržena teplota $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Solný roztok měl koncentraci $50\text{g/l} \pm 5\text{g/l}$ a hodnotu pH 6,5 až 7,2. Zkoumané destičky byly pomocí předvrtané díry a drátu potaženého tenkou vrstvou PVC (odolný vůči korozi, neovlivňuje zkoumaný materiál) připevněny na závěsnou tyč a umístěny do komory. Vzorky byly do komory umístěny tak, aby nebyly v přímém směru proudění postřiku z rozprašovače. Zároveň byly uspořádány tak, aby nepřišly do styku s vnitřním povrchem komory a také s povrchem sousedícího vzorku.

Pravidelně byla prováděna kontrola korozní komory. Část vzorků určených k výpočtu hmotnostního úbytku byla odebrána po 28 dnech, zbylé vzorky po 56 dnech vystavení zrychleným korozním podmínkám - neutrální solné mlze. [16]

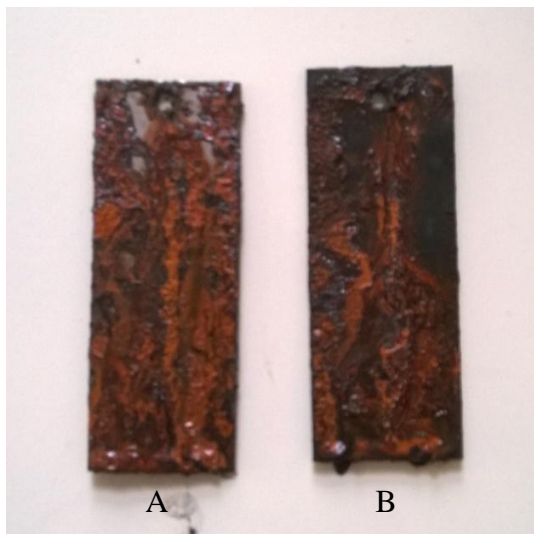


Obr. 23: Použitá korozní komora pro korozní zkoušku solnou mlhou [autor]

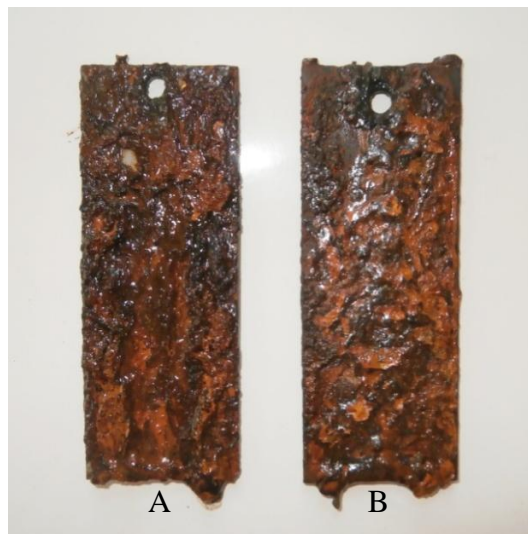


Obr. 24: Umístění a uspořádání vzorků v korozní komoře [autor]

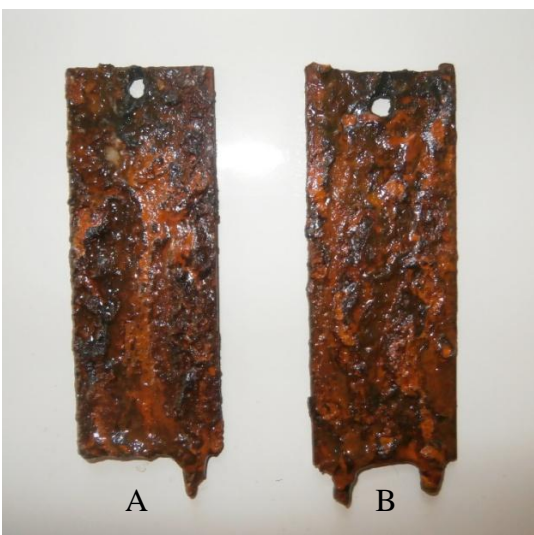
4.3.1 Průběh korozní degradace u vzorků určených pro výpočet hmotnostního úbytku a vzorků k tahové zkoušce



po 7 dnech



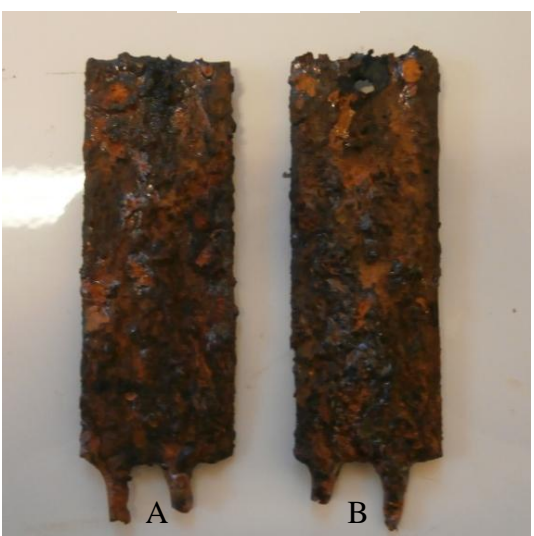
po 21 dnech



po 28 dnech



po 42 dnech



po 56 dnech

Legenda:

A - rekrytalizačně žíhaný

B - zušlechtěný

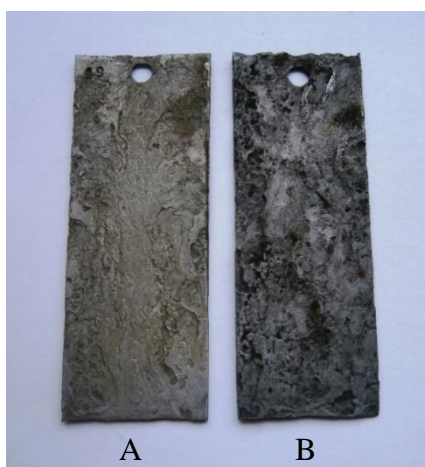
Obr. 25: Stav vzorků vystavených agresivním podmínkám v solné mlze [autor]



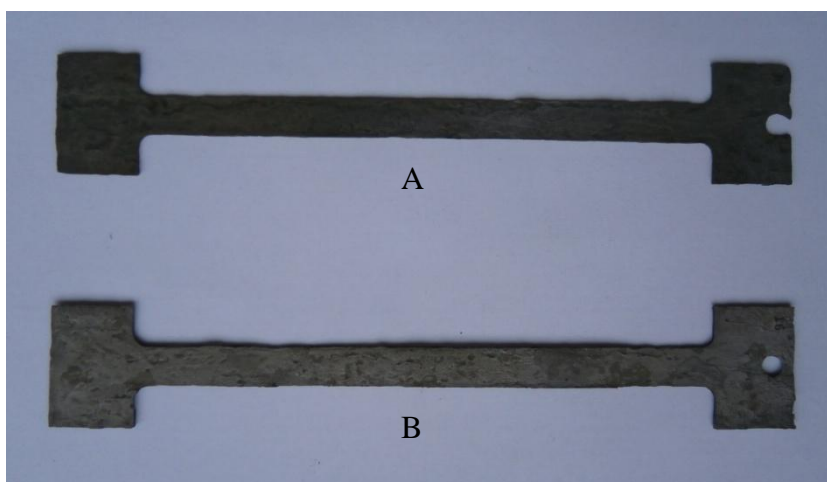
Obr. 26: Stav tahových destiček vystavených agresivním podmínkám v solné mlze [autor]

4.4 Chemické čištění

Po odebrání vzorků z korozní komory bylo nutné provést chemické očištění vzorků dle normy ISO 8407. Mořicí cyklus trvá 10 minut a za pomoci mořidla (500 ml HCl, 3,5 hexamethylentetramínu jako inhibitoru koroze, 50 ml destilované vody) je odstraněn povlak. Po moření se referenční vzorky při teplotě okolí důkladně opláchnou vodou a následně se osuší. Jakmile byly vzorky zbaveny korozních zplodin a očištěny, byly opět zváženy, aby bylo možno dopočítat jejich hmotnostní úbytek způsobený korozí. Ještě před vložením vzorků do mořidla byla provedena tzv. zkouška naslepo. Při slepém pokusu byl vypočten hmotnostní úbytek materiálu vyvolaný mořidlem, který měl hodnotu $5,625 \text{ [g} \cdot \text{m}^{-2}]$. Na přiložených snímcích je možné vidět stav vzorků po odstranění korozních zplodin. [22]



Obr. 27: Stav vzorků po odstranění korozních zplodin a) rekrystalizace b) žilování [autor]



Obr. 28: Stav tahových destiček po odstranění korozních zplodin a) žilování b) rekrystalizace [autor]

4.5 Stanovení hmotnostního úbytku

Referenční vzorky byly zváženy na začátku zkoušky před vložením do korozní komory a také na konci zkoušky po odstranění korozních zplodin. Pro stanovení úbytku hmotnosti kovu na metr čtverečný se od zjištěného hmotnostního úbytku odečte úbytek materiálu při slepém pokusu a výsledek se vydělí plochou exponovaného povrchu referenčního vzorku.

$$m_k = \frac{(m_1 - m_2)}{S} - m_3$$

m_k = hmotnostní úbytek materiálu [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]

m_1 = hmotnost vzorku před korozní zkouškou [g]

m_2 = hmotnost vzorku po odstranění korozních zplodin [g]

m_3 = úbytek materiálu při slepém pokusu [g]

S = plocha povrchu [m^2]

Tab. 2 Naměřené a zpracované hodnoty pro zušlechtěné vzorky [autor]

Zušlechtěné vzorky					
Číslo vzorku	Počet dní v korozní komoře	Hmotnost vzorku před vložením do korozní komory [g]	Hmotnost vzorku po odstranění korozních zplodin [g]	Rozdíl hmotností [g]	Hmotnostní úbytek materiálu [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]
1	56	27,95	19,26	8,69	1804,8
2	56	28,24	18,25	9,29	1929,8
3	56	29,02	19,61	9,41	1954,8
4	56	28,94	20,05	8,89	1846,5
5	56	28,88	18,96	9,92	2061,0
6	56	29,47	19,74	9,73	2021,5
7	56	29,34	19,98	9,36	1944,4
8	28	27,53	22,16	5,37	1113,1
9	28	29,47	23,46	6,01	1246,5
10	28	28,11	22,38	5,73	1188,1

Tab. 3: Naměřené a vypočtené hodnoty pro rekrystalizačně žíhané vzorky [autor]

Rekrystalizačně žíhané vzorky					
Číslo vzorku	Počet dní v korozní komoře	Hmotnost vzorku před vložením do korozní komory [g]	Hmotnost vzorku po odřezení [g]	Rozdíl hmotností [g]	Hmotnostní úbytek materiálu [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]
11	56	28,27	20,41	7,86	1631,9
12	56	29,25	21,47	7,78	1615,2
13	56	28,78	20,53	8,25	1713,1
14	56	29,42	21,43	7,99	1659,0
15	56	27,99	20,32	7,67	1592,3
16	56	29,62	21,26	8,36	1736,0
17	56	29,23	20,86	8,37	1738,1
18	28	27,65	22,52	5,13	1063,1
19	28	28,44	23,02	5,42	1123,5
20	28	28,73	23,26	5,47	1134,0

Srovnáme-li jednotlivá měření, je patrné že hmotnostní úbytky jsou u zušlechtěných vzorků vyšší než u vzorků v dodaném stavu, tedy rekrystalizačně žíhaných. Dle experimentálního měření, které bylo provedeno v korozní komoře za působení solné mlhy, lze konstatovat, že konstrukční ocel třídy 12 050 má velice nízkou korozní odolnost. Vzorky byly napadány již během prvních dnů expozice a po 14 dnech vykazoval povrch 100 % degradaci. Můžeme také říci, že rychlost korozní degradace byla nejvyšší v prvním měsíci expozice a poté měla klesající tendenci. Pro vzorky vystavené 56 dnům v prostředí se solnou mlhou byla provedena statistická analýza dat viz. tabulka číslo 3.

Tab. 4: Statistická analýza dat [autor]

	Kalené/popuštěné	Rekrystalizačně žíhané
Aritmetický průměr hmotnostních úbytků materiálu [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]	1937,5	1669,4
Směrodatná odchylka [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]	90,06	59,83
Variační koeficient [%]	4,65	3,58
Interval spolehlivosti 95% [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]	1854,30 až 2029,78	1614,06 až 1724,68

4.6 Tahová zkouška

Všechny tahové destičky byly podrobeny tahové zkoušce na universálním zkušebním stroji. Tahová zkouška se řadí mezi zkoušky mechanických vlastností. Pomocí zkoušky lze určit základní mechanické charakteristiky používané k hodnocení jakosti materiálu i k obecnému posouzení vhodnosti určitých technických operací. Při zkoušce tahem je na obou koncích vzorek pevně upnut do trhacího stroje. Tahová destička je postupně zatěžována silou, až do přetržení nebo po dobu, kdy maximální síla poklesne na 60 %. Zkouška obvykle probíhá při teplotě



Obr. 29: Trhací stroj [autor]

okolí. V průběhu tahové zkoušky se zakresluje grafický záznam v souřadnicích síla a prodloužení. Při každém měření si počítač do paměti ukládá závislost síly na prodloužení tahové destičky – diagram tahové zkoušky. K tahové zkoušce byly použity

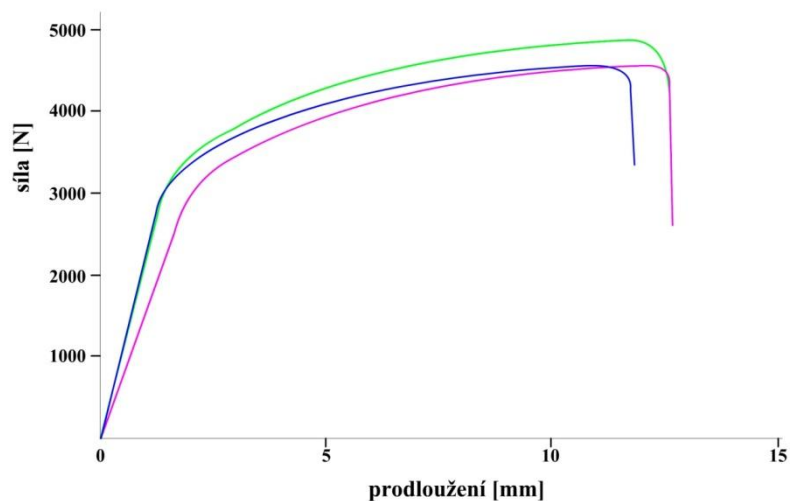
dva vzorky, z nichž se každý skládal ze šesti tahových destiček. Každý vzorek byl totožného tepelného ovlivnění a lišil se pouze v době vystavení zrychleným korozním podmínkám. Hodnoty uvedené v tabulce číslo 4 jsou tedy naměřené ze tří hodnot, ze kterých se následně vypočítal aritmetický průměr maximální působící síly F a prodloužení tahových destiček.

Tab. 5: Naměřené a zpracované hodnoty pro tahovou zkoušku [autor]

	Zušlechtěné vzorky		Rekrystalizačně žíhané vzorky	
Doba vystavení zrychleným korozním podmínkám – solné mlže [dny]	56	0	56	0
Průměrná dosažená maximální síla F_{max} [N]	6353	11831	4681	7648
Průměrné prodloužení [mm]	3,32	15,7	12,57	28,4

Z naměřených a zpracovaných hodnot lze pozorovat, že koroze má velký vliv na změnu mechanických vlastností materiálu. S přibývajícím dnem v agresivním korozním prostředí se maximální dosažená síla i prodloužení výrazně snižovaly. Průměrně nejvyšší maximální síly na přetržení 11831, 02 N dosáhly zušlechtěné tahové destičky. U stejných destiček vystavených solné mlže měly hodnoty výrazně klesající tendenci. Maximální síla poklesla o 46,3 % a průměrné prodloužení se snížilo dokonce o 78,85 %. U rekrystalizačně žíhaných vzorků byla průměrná maximální síla u zkorodovaných destiček o 37,79 % menší než u tahových destiček v dodaném stavu a průměrné prodloužení pokleslo o 55,74 %.

4.6.1 Tahová zkouška rekrystalizačně žíhaných vzorků vystavených solné mlze



Obr. 30: Diagram tahových zkoušek rekrystalizačně žíhaných destiček vystavených zrychleným korozním podmínkám – solné mlze [autor]

Tab. 6: Naměřené hodnoty [autor]

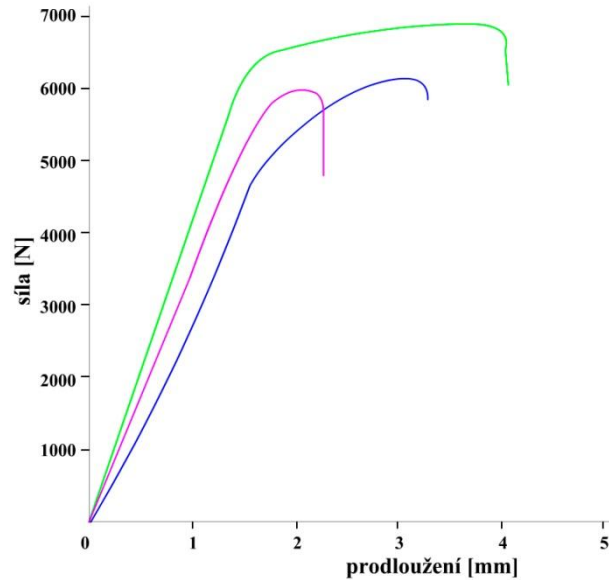
Číslo vzorku	F_{max} [N]	Prodloužení [mm]
14	4582	12,71
16	4568	12,14
37	4895	12,86

Z tahového diagramu můžeme říci, že se tahové destičky chovaly při zkoušce velmi podobně a diagram tahové zkoušky má nevýraznou mez kluzu. V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty během tahové zkoušky. Z fotografie můžeme vidět, že také lomy si jsou velice podobné.



Obr. 31: Tahové destičky po tahové zkoušce [autor]

4.6.2 Tahová zkouška kalených a popuštěných vzorků vystavených solné mlze



Obr. 32: Diagram tahových zkoušek zušlechtěných destiček vystavených zrychleným korozním podmínkám – solné mlze [autor]

Tab. 7: Naměřené hodnoty [autor]

Číslo vzorku	F_{max} [N]	Prodloužení [mm]
27	6123	3,46
28	6939	4,22
30	5997	2,28

Na tahovém diagramu jde vidět, že dva vzorky se při zkoušce chovaly podobně, u třetího vzorku bylo potřeba vyvinout větší sílu na přetržení a prodloužení bylo také větší. U všech vzorků má však diagram nevýraznou mez kluzu. Když se podíváme na lomy, vidíme, že vypadají velice podobně.



Obr. 33: Tahové destičky po tahové zkoušce [autor]

5 ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce s názvem Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů bezprostředně reaguje na cíle práce uvedené v úvodu. Bakalářská práce je rozdělena do dvou rovin. V první části jsou zpracovány poznatky ryze teoretického charakteru obsažené v odborné literatuře a druhá část se již plně věnuje experimentu, který byl uveden v zadání.

V teoretické části práce je popsáno všeobecné rozdělení korozní degradace kovových materiálů dle různých hledisek a způsoby možné ochrany proti korozi. Nedílnou součástí je také popis korozních zkoušek. U vybraných laboratorních zkoušek byla blíže popsána příprava zkoušky a hodnocení korozních změn.

Praktická část seznamuje s navrženou metodikou zkoušek pro ověření vlivu tepelného zpracování a agresivního prostředí se solnou mlhou na změnu hmotnostního úbytku materiálu a změnu mechanických vlastností konstrukční oceli třídy 12 050. Jednotlivé kapitoly experimentální části zahrnují výběr zkušebního materiálu a zhotovení zkušebních vzorků. Dále také tepelné zpracování zkušebních vzorků a jejich následující expozici v korozním prostředí se solnou mlhou dle doporučení EN ISO 9227. Tahová zkouška a výpočet hmotnostního úbytku potvrdily, že zušlechtnuté vzorky dosahují vyšších pevností, než vzorky rekrystalizačně žíhané, ale jsou náchylnější ke korozi. Podrobné výsledky a průběh korozní degradace jsou zaznamenány v doložených tabulkách, grafech a fotodokumentaci.

Jelikož je koroze závažným problémem, který má obrovský dopad na dnešní moderní svět, je velice důležité neustále zdokonalovat protikorozní ochranu a předcházet tak těmto nežádoucím procesům a účinně chránit využívané materiály.

LITERATURA

- [1] BARTONÍČEK, R. *Koroze a protikoroziční ochrana kovů*. 1. vyd. Praha: ČSAV, 1966, 719 s.
- [2] ČERNÝ M. a kol., 1984: *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. 1. vyd., SNTL, Praha, 264 s. DT 620.193:669.018
- [3] ČÍHAL, V. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1999, 437 s. ISBN 80-200-0671-0.
- [4] HLUCHÝ, M., HANĚK, V., *Strojírenská technologie 2. 2.*, upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 176 s. ISBN 80-718-3245-6.
- [5] KLUČKOVÁ, K.: *Význam korozních zkoušek při hodnocení degradace kovových součástí a zařízení*. Brno: Bakalářská práce. Brno: MZLU, 2013
- [6] KŘÍŽ, R. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W- Výrobky se slinovaných prášků, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z- Protikoroziční ochrana materiálu*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998, 255 s. ISBN 80-718-3054-2.
- [7] MÍŠEK B., HRSTKA J., 1982: *Koroze a povrchová úprava kovů*. SNTL-Nakladatelství technické literatury, Praha, 208 s.
- [8] MOHYLA M., 1981: *Koroze a povrchové úpravy kovů ve strojírenství*. VŠB-Technická univerzita, Ostrava, 214 s.
- [9] PODJUKLOVÁ, J., *Speciální technologie povrchových úprav I: Určeno pro posl. 5. roč. Fak. strojní*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1994, 71 s. ISBN 80-707-8235-8.
- [10] POŠTA J., 2002: *Provozní schopnost strojů*. 1. vyd., Učební texty, Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Praha, 154 s. ISBN 80-213-0966-0.
- [11] PTÁČEK, L., *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
- [12] ROVNANÍKOVÁ P., ROVNANÍK P. A KŘÍSTEK R., 2005: *Degradace stavebních materiálů a chemie kovů*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 48 s.
- [13] ŠČERBEJOVÁ, M., *Strojírenská technologie: Určeno pro posl. provozně ekon. fak. mechanizační obor*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993, 132 s. ISBN 80-715-7083-4.

Použité normy:

- [14] ČSN 41 2050, 1976: Ocel 12 050
- [15] ČSN EN ISO 8565, 1996: Atmosférické korozní zkoušky – Základní požadavky na staniční zkoušky
- [16] ČSN EN ISO 9227, 2007: Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou
- [17] ČSN ISO 1520, 1999: Nátěrové hmoty – Zkouška hloubením
- [18] ČSN ISO 1519, 1994: Nátěrové hmoty – Ohybová zkouška na válcovém trnu
- [19] ČSN ISO 2808, 1999: Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru
- [20] ČSN ISO 6988, 1994: Zkouška oxidem siřičitým s povšechnou kondenzací vlhkosti
- [21] ČSN ISO 8131, 1973: Korozní zkouška v kondenzační komoře
- [22] ČSN ISO 8407, 1991: Odstraňování korozních zplodin ze vzorků podrobených korozním zkouškám

Internetové zdroje:

- [23] KLIMATICKO – KOROZNÍ ZKOUŠKY, *Http://www.vzlu.cz/* [online]. [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.vzlu.cz/cz/aktivity/zkusebni-laboratore-akreditovane-zkusebnictvi/klimaticko-korozni-zkousky>
- [24] KRAUS V.: *Povrchy a jejich úpravy*, Databáze online [cit. 2015-02-21]. Dostupné na WWW: <<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>>.
- [25] MS PRAHA spol. s.r.o., Korozní ochrana potrubí. *Http://www.mspraha.cz/* [online]. 2010 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.mspraha.cz/novinky/korozni-ochrana-potrubi.html>
- [26] OSTRÁ, Ing., Bc. Vladislava. *Atlas korozního napadení* [online]. Praha, 2011 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/_aktuality/Atlas_korozniho_napadeni.pdf. Studijní materiál pro studenty Fakulty strojní a ostatní zájemce o studium povrch. úprav a koroze. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ.
- [27] SVÚOM Praha, *Atmosférická koroze* [online]. c2012, poslední revize 10. 2. 2015 [cit. 2015-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.svuom.cz/index.php?zobraz=atmkoroze&lang=cz>>.

- [28] VOJENSKÝ HISTORICKÝ ÚSTAV, Restaurování vzduchovky, kterou poškodila voda s naplaveninami. *Vojenský historický ústav* [online]. 2012 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://www.vhu.cz/restaurovani-vzduchovky-kterou-poskodila-voda-s-naplaveninami/>
- [29] VŠCHT Praha, *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. c2009, poslední revize 20. 2. 2015 [cit. 2015-02-21]. Dostupný z WWW: < <http://vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/> >.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Stav povrchu před a po napadení rovnoměrnou korozi [26]	13
Obr. 2: Stav povrchu před a po napadení skvrnitou korozi [26].....	14
Obr. 3: Stav povrchu před a po napadení bodovou korozi [26].....	14
Obr. 4: Stav povrchu před a po napadení důlkovou korozi [26].....	15
Obr. 5: Stav povrchu před a po napadení nitkovou korozi [26]	15
Obr. 6: Stav povrchu před a po napadení mezikrystalovou korozi [26].....	16
Obr. 7: Transkrystalová koroze [11]	16
Obr. 8: Selektivní koroze [11]	17
Obr. 9: Kavitační koroze [28]	17
Obr. 10: Koroze v atmosféře [27]	18
Obr. 11 Koroze ve vodách [25].....	18
Obr. 12: Koroze v půdách [24]	19
Obr. 13: a) nevhodné konstrukční řešení, b) vhodné konstrukční řešení [24].....	21
Obr. 14: Komora pro zkoušky za působení solné mlhy [23]	27
Obr. 15: Kondenzační komora [23].....	27
Obr. 16: Kondenzační komora s SO ₂ [autor]	28
Obr. 17: Korozní atmosférické zkoušky [27]	29
Obr. 18: Erichsenův přístroj [29]	29
Obr. 20: Měření tloušťky nátěrové hmoty ELCOMETREM [29]	30
Obr. 19: Zařízení pro zkoušku ohybem [29].....	30
Obr. 21: Výkres tahové destičky [autor]	32
Obr. 22: Laboratorní pec MP 05 - 1.1 [autor].....	33
Obr. 23: Použitá korozní komora pro korozní zkoušku solnou mlhou [autor]	34
Obr. 24: Umístění a uspořádání vzorků v korozní komoře [autor].....	34
Obr. 25: Stav vzorků vystavených agresivním podmínkám v solné mlze [autor]	35
Obr. 26: Stav tahových destiček vystavených agresivním podmínkám v solné mlze [autor]	36
Obr. 27: Stav vzorků po odstranění korozních zplodin a) rekrystalizace žíhaný b) zušlechtěný [autor]	37
Obr. 28: Stav tahových destiček po odstranění korozních zplodin a) zušlechtěná b) rekrystalizačně žíhaná [autor]	37
Obr. 29: Trhací stroj [autor].....	40

Obr. 30: Diagram tahových zkoušek rekrystalizačně žíhaných destiček vystavených zrychleným korozním podmínkám – solné mlže [autor].....	42
Obr. 31: Tahové destičky po tahové zkoušce [autor]	42
Obr. 32: Diagram tahových zkoušek zušlechtěných destiček vystavených zrychleným korozním podmínkám – solné mlže [autor].....	43
Obr. 33: Tahové destičky po tahové zkoušce [autor].....	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Chemické složení oceli ČSN 41 2050 [14].....	31
Tab. 2 Naměřené a zpracované hodnoty pro zušlechtěné vzorky [autor]	38
Tab. 3: Naměřené a vypočtené hodnoty pro rekrystalizačně žíhané vzorky [autor].....	39
Tab. 4: Statistická analýza dat [autor]	40
Tab. 5: Naměřené a zpracované hodnoty pro tahovou zkoušku [autor].....	41
Tab. 6: Naměřené hodnoty [autor]	42
Tab. 7: Naměřené hodnoty [autor]	43