Pedagogická fakulta
Faculty of Education
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
University of South Bohemia in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

Měření korozní odolnosti materiálu

Vypracoval: Denisa Švarcová
Vedoucí práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

České Budějovice 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Brloze dne 9.7.2021 Denisa Švarcová

Anotace

Cílem bakalářské práce je přiblížení pojmu koroze žákům druhého stupně základní školy. V teoretické části je shrnutí pojmu koroze, druhy koroze a ochrana proti korozi. V praktické části je provedeno měření korozní odolnosti martenzitické oceli v závislosti na teplotě a času. Didaktická část se skládá z laboratorního cvičení, kde si žáci vyzkouší sami provést měření korozní odolnosti materiálu v různých prostředích, a z pracovního listu, který slouží k zopakování a ucelení pojmu koroze.

Klíčová slova

Koroze, ocel, laboratorní cvičení, druhý stupeň

Abstract

Aim of the bachelor thesis is bringing the concept of corrosion closer to second grade pupils of elementary school. In the theoretical part of the work is summary of the concept of corrosion, types of corrosion and protection against corrosion. In the practical part is performed measurement of corrosion resistance of martensitic steel depending on temperature and time. The didactic part of the work consists of laboratory exercises, where the pupils try to measure the corrosion resistance of the material in different environments, and of worksheet, which is used to repetition and to complete of the concept corrosion.

Keyword

Corrosion, steel, a lab exercise, secondary school

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu RNDr. Pavlu Křížovi, Ph.D. za rady při psaní a tvorbě této práce. Dále bych ráda poděkovala své rodině, konkrétně mamce, která mě podporovala po celou dobu studia nejen psychicky. Následně bych chtěla poděkovat svému příteli, který mi pomáhal zvládat vše, i když to se mnou není vždy jednoduché. Poděkovala bych i přátelům, kteří to se mnou neměli lehké a podporovali mě, co jim síly stačili. A nakonec bych chtěla poděkovat firmě Robert Bosch, spol. s.r.o., která mi poskytla možnost vypracovat praktickou část u nich ve firmě.

Obsah

1. Úvod 7

2. Koroze 8

3. Dělení koroze kovů 9

3.1. Podle vnitřního mechanismu 9

3.2. Podle druhu napadení 9

4. Dělení nerovnoměrné koroze 11

4.1 Bodová koroze 11

4.2. Štěrbinová koroze 11

4.3. Mezikrystalová koroze 12

4.4. Transkrystalová koroze 12

4.5. Selektivní koroze 12

5. Korozní praskání 13

6. Korozní únava 14

7. Koroze ovlivněná mechanickými vlivy 15

7.1. Erozní koroze 15

7.2. Tribokoroze 15

7.3. Poškození vodíkem 16

8. Korozní prostředí 17

8.1. Atmosféra 17

8.2. Voda 18

8.3. Půda 19

8.4. Beton 19

8.5 Palivo jako korozní prostředí 19

9. Korozní zkoušky 22

9.1. Konstantní zkoušky 22

9.2. Cyklické zkoušky 22

9.3. Atmosférické zkoušky 22

9.4. Ponorové zkoušky 22
10. Železo a oceli 23
10.1.Modifikace železa 23
10.2. Feritická ocel 23
10.3. Austenická ocel 23
10.4. Martenzitická ocel 24
10.5. Korozivzdorné oceli 24
11. Kovové povlaky a nátěry 26
11.1. Technologie nanášení povlaků a nátěrů 26
12.Experimentální práce 28
12.1. Martenzitická korozivzdorná ocel 1.4037 28
12.2. Příprava vzorku 28
12.3.Vlastní zkouška 30
12.4.Vyhodnocení 30
13. Didaktická část 45
13.1. Laboratorní cvičení – koroze 47
13.2. Vypracované laboratorní cvičení 49
13.3. Pracovní list 51
14. Závěr 53
15. Seznam literatury 54
16. Seznam obrázků, tabulek a rovnic 55
17. Přílohy 56

1. Úvod

Pro lidstvo mělo objevení kovů a jejich zpracování důležitou roli. Lidé kovy využívají už téměř deset tisíc let. Využití kovů začalo výrobou šperků a jednoduchých zbraní, až se člověk naučil kovy zpracovávat a získávat ve větším množství a vyrábět nástroje, které pomohly rozvoji civilizace.

Kovy jsou získávány převážně z rud, které při přeměně na kov musí projít několika úpravami. Při těchto úpravách je substrátu dodána energie. Po převedení rudy na kov, lze kov využít čistý anebo smíchat více různých kovů a dalších prvků nebo sloučenin a získat tak slitinu. Získáváním a zpracováním slitin se zabývá obor hutnictví.

Mezi jeden ze základních kovů patří měď, která byla objevena v době měděné neboli eneolitické na ostrově Kypr, od kterého je odvozen název cuprum [1]. Eneolit je označení pro historické období v pravěku, jinak se mu také říká pozdní doba kamenná [2]. V této době se z mědi hojně vyráběly nástroje, zbraně a šperky. Lidé se učili měď zpracovávat a zdokonalovat po několik století, až došli k objevu slitiny mědi a cínu – bronz. Období, kdy se hojně používal bronz, se nazývá doba bronzová. Z bronzu se vyráběly nejen zbraně a šperky, ale také se odlévaly sochy a ozdobné předměty. Po době bronzové nastala doba železná, která označuje období, kdy lidé začali hojně užívat železo pro výrobu zbraní a nástrojů. V tomto období docházelo k rozvoji zemědělství, ale také vojenské techniky.

Kovy jsou také hojně využívány jako platidla. Mezi směnné kovy patřilo zlato a stříbro. Nejprve se využívaly jako kousky kovu nebo šperky. Takováto podoba placení byla jen do doby, než se rozšířilo ražení mincí, které je praktičtější a využívá se i dnes.

Od doby železné už nedošlo k mnoha objevům kovů. Mnoho kovů, bylo objeveno až po 18. a 19. století, kdy došlo k vynalezení parního stroje. Toto období je známé jako průmyslová revoluce. Mnoho objevů kovů bylo provázeno rozvojem vědy a techniky. Došlo k objevu takzvaných transuranů. Transurany jsou kovy, které nebyly nalezeny v přírodě, ale byly vytvořeny uměle v urychlovačích částic nebo jaderných reaktorech.

Kovy a slitiny jsou nedílnou součástí průmyslu, ale také našich životů. Bez kovů se už pomalu neobejdeme. Jsou využívané například ve strojírenství, stavebnictví, dopravě a elektrotechnice. Máme ale také kovy, které ještě nemají využití, i když máme značné pokroky v naší moderní době.

Mezi dnes nejvíce využívané kovy patří železo, měď, olovo, zlato, stříbro a jejich slitiny. Významným kovem je i nikl, který byl objeven v 18. století. Nikl je významný pro svou ochranu dalších kovů před korozí, a proto je přidáván do slitin. [3,4]

Tato práce je zaměřena na seznamování žáků s korozí kovů a na návrh pracovních listů pro žáky, ve kterých si pojem koroze ucelí. Pro lepší přiblížení bylo provedeno experimentální měření koroze martenzitické oceli v palivu za přítomnosti chloridů. Cílem je sledování nejen vlivu chloridů přítomných v palivu, ale také teploty a doby vlivu paliva na materiál a také je cílem výpočet korozního úbytku.

2. Koroze

Každý se s korozí už někdy setkal například na automobilu, kovovém potrubí nebo na rezivějícím plotu. Koroze znehodnotí daný materiál a zhorší jeho vlastnosti. Takto znehodnocený materiál může být nebezpečný a může selhat ve své funkci. Může například dojít ke zranění, poškození majetku, narušení statiky budov nebo znečištění prostředí. Proto jsou materiály podrobovány korozním zkouškám, aby se ověřila jejich odolnost. U materiálů též dochází k úpravě proti korozím například protikorozní vrstvou, poté je ve zkouškách testována odolnost nanesené vrstvy.

Koroze kovů je fyzikálněchemický děj, při kterém dochází k interakci kovu a prostředí. Dochází při ní k trvalé chemické změně kovu a k zásadní změně jeho fyzikálních, chemických a mechanických vlastností. Prostředím, se kterým kovy reagují, můžou být například rozpuštěné kovy, plyny, bezvodé elektrolyty, vodné elektrolyty, ale také atmosféra.

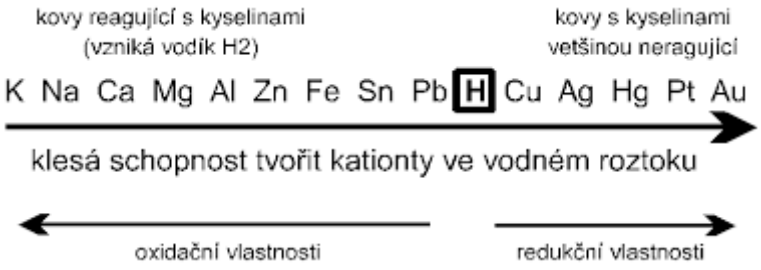
K popisu, definici děje a ovlivňování děje slouží termodynamika a kinetika. Koroze probíhá u kovů spontánně. Kov se snaží díky ní dostat do svého přirozeného stavu. Tento stav pro ně není pouze přirozený, ale je také termodynamicky výhodnější. Nacházejí se v tomto stavu normálně v přírodě. Pro přeměnu na čistý kov jsme nuceni dodat velké množství energie, aby k reakci došlo. Čistý kov značíme M^0 a nazývá se metastabilní a za normálních podmínek má snahu se vrátit do stavu stabilního M^+. Stabilního stavu lze dosáhnout oxidací podle rovnice (1), kde M^0 je čistý kov, M^{n+} je jeho oxidovaná forma, e^- je elektron a n je přirozené číslo.

$$M^0 \rightarrow M^{n+} + ne^- \tag{1}$$

Chemické prostředí musí být schopno přijímat elektrony, které vzniknou oxidací a samo sebe redukovat podle rovnice (2), kde X^0 je oxidační činidlo, X^{n-} je jeho redukovaná forma, e^- je elektron a n je přirozené číslo.

$$X^0 + ne^- \rightarrow X^{n-} \tag{2}$$

Rychlost koroze kovů je dána nejen složením kovu, ale také složením prostředí. Korozní odolnost lze odhadnout za pomocí Beketovovy řady kovů. Beketova řada kovů má vícero podob a jednu z nich lze vidět na obrázku č.1.Tyto kovy jsou seřazeny od nejzápornějšího k nejkladnějšímu potenciálu. Standardní potenciál kovu lze změřit vůči standardní vodíkové elektrodě, kde je kov ponořen v roztoku svých iontů o jednotkové aktivitě. Napravo od vodíku jsou kovy ušlechtilé a nalevo jsou neušlechtilé. U některých neušlechtilých kovů (titan, hliník, chrom) dochází k pasivaci a tím pádem jejich korozní rychlost je snížená na minimum. [4]



Obrázek 1 Beketova řada kovů [5]

3. Dělení koroze kovů

Korozi lze dělit podle vnitřního mechanismu, kterým probíhá, a podle druhu napadení.

3.1. Podle vnitřního mechanismu

Podle vnitřního mechanismu lze korozi rozdělit na chemickou, která probíhá v nevodivém prostředí, a na elektrochemickou, která probíhá v prostředí vodivém. Pro naše účely je zajímavá elektrochemická koroze.

Elektrochemická koroze

Princip elektrochemické reakce, která v elektrochemické korozi probíhá, lze vysvětlit za pomocí Daniellova článku. Daniellův článek je složen z měděné elektrody ponořené do roztoku síranu měďnatého (katoda) a zinkové elektrody ponořené do síranu zinečnatého (anoda). Vodivé propojení zajišťuje solný můstek. Na obě elektrody článku je připojena odporová zátěž. Na anodě dochází k oxidaci a na katodě k redukci. Na anodě dochází k rozpouštění zinku podle rovnice (3), kde Zn^0 je čistý zinek, Zn^{2+} jsou zinečnaté kationty a e^- je elektron.

$$Zn^0 \rightarrow Zn^{2+} + 2e^- \tag{3}$$

Na katodě dochází k absorpci měděných kationtů z elektrolytu na povrch elektrody podle rovnice (4), kde Cu^0 je čistá měď, Cu^{2+} jsou měďnaté kationty a e^- je elektron.

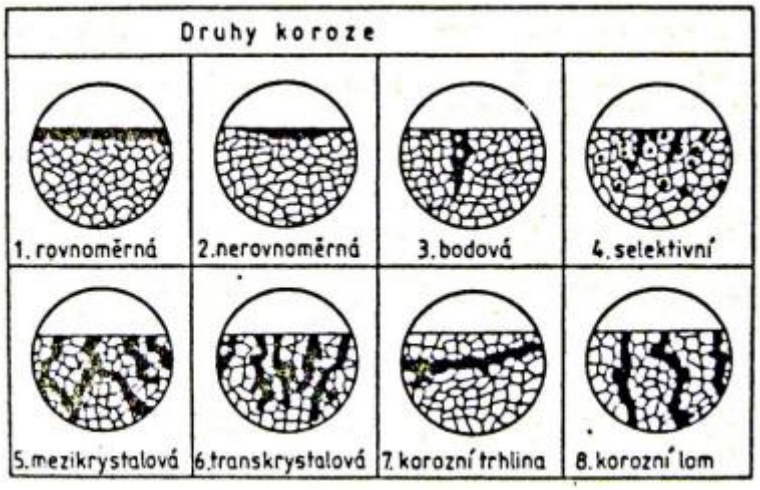
$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu^0 \tag{4}$$

Počet elektronů odevzdaných na anodě a přijatých na katodě je stejný. Měď se tedy vylučuje v kovové formě na měděné elektrodě a zinková elektroda se rozpouští za vzniku roztoku síranu zinečnatého. Elektrochemická koroze pracuje na stejném principu, kde do elektrolytu je ponořen kovový materiál složený ze dvou kovů. Anodová reakce lze zapsat rovnicí (1).

Katodová reakce, které se říká depolarizační, je zodpovědná za redukci oxidujících složek roztoku. Katodová reakce může být vybíjení iontů vodíku. Tato reakce se nazývá vodíková depolarizace. Také může být katodová reakce redukce kyslíku, který je rozpuštěný v elektrolytu. Této reakci se říká kyslíková depolarizace. Katodovou reakci lze popsat rovnicí (2). V korozních dějích není zapotřebí mít samostatnou anodu a katodu, reakce může probíhat na povrchu homogenního kovu současně. [6]

3.2. Podle druhu napadení

Podle druhu napadaní lze korozi rozdělit na rovnoměrnou a nerovnoměrnou. Na obrázku č.2 lze vidět ukázku některých korozí.



Obrázek 2 Druhy koroze [7]

Rovnoměrná koroze

Rovnoměrná nebo také plošná koroze, je koroze, která probíhá na celém povrchu kovu přibližně stejnou rychlostí. Rychlost této koroze je dobře předvídatelná, příkladem je koroze železných kovů v atmosféře. [4]

Nerovnoměrná koroze

Tato koroze probíhá intenzivně a výrazně pouze na některých částech povrchu kovu. Nerovnoměrná koroze se dále dělí na korozi bodovou, štěrbinovou, mezikrystalovou, transkrystalovou a selektivní. [4]

4. Dělení nerovnoměrné koroze

4.1 Bodová koroze

Při této korozi vznikají na kovovém povrchu hluboké důlky a okolí nemá pozorovatelné napadení. Mezi ionty, díky kterým vzniká bodová koroze, patří hydroxidové a chloridové. Hydroxidové ionty pasivní vrstvu, nebo-li ochrannou vrstvu, vytvoří a chloridové ionty jí naruší. [4]

Pasivní vrstva je narušena lokálně, koroze tedy nevznikne po celém povrchu kovu, ale jen v místech narušení pasivní vrstvy. Narušená část pasivní vrstvy se chová jako anoda, zatímco nenarušená část se bude chovat jako katoda. Rozpouštění kovu je soustředěno tedy na malou plochu, může tedy dojít k rychlému proděravění kovu v místě koroze.

Bodová koroze se nejčastěji vyskytuje u korozivzdorných ocelí, hliníku, titanu a dalších pasivovatelných kovů a slitin. K poškození pasivní vrstvy může dojít penetračním mechanismem, mechanismem oslabení pasivní vrstvy nebo mechanismem penetrace trhlinami. Při penetračním mechanismu dochází k transportu agresivních iontů pasivní vrstvou a následnému napadení kovu na rozhraní kov – pasivní vrstva. Při mechanismu oslabení pasivní vrstvy reagují agresivní ionty s pasivní vrstvou a vznikají rozpustné sloučeniny, dále dochází k rozpuštění rozpustných sloučenin a k oslabení pasivní vrstvy.

V mechanismu penetrace trhlinami dochází k transportu agresivních iontů trhlinami a nespojitostmi, které se nacházejí v pasivní vrstvě, k povrchu kovu a zde způsobují rozpouštění pasivní vrstvy. Na katodě dochází k redukci kyslíku a na anodě k oxidaci kovu (železa). Redukci kyslíku se říká kyslíková depolarizace. Kyslíkovou depolarizací se rozumí reakce, kdy si kyslík bere elektrony z katody. Elektrony si katoda bere z anody, která je získává z kovu. Díky přebytku kladného náboje v důlku dochází k migraci agresivních aniontů do důlku. V důlku dochází k hydrolýze iontů kovu za vzniku vodíkových iontů. Vodíkové ionty zajistí silný pokles pH. Vzniklé nízké pH podporuje další anodické rozpouštění a migraci agresivních iontů do důlku. [8]

4.2. Štěrbinová koroze

Probíhá ve štěrbinách kovu nebo v mezerách mezi kovovým povrchem a jiným povrchem, který může být i nekovový. Ústí štěrbiny je velmi malého rozměru. Tento rozměr nebrání iontové výměně mezi elektrolytem ve štěrbině a nad štěrbinou, ale nedovolí promíchání elektrolytů. Princip štěrbinové koroze je podobný principu bodové koroze. Dochází zde ke katodické reakci kyslíku, která je po vyčerpání kyslíku na vnitřním povrchu štěrbiny nahrazena katodickou reakcí kyslíku na povrchu kovu. Uvnitř štěrbiny vznikne anodická oblast. Přebytek kladného náboje ve štěrbině je kompenzován migrací agresivních iontů. Ve štěrbině dojde k chemické rovnováze, která vede k hydrolýze vody. Z hydrolýzy vody vzniká přebytek vodíkových iontů a pH roztoku klesne. Snížení pH zvýší agresivitu elektrolytu. [4]

4.3. Mezikrystalová koroze

Mezikrystalová koroze má vliv na strukturální změny kovu. Nejčastěji vzniká v místech svaru. Vznikají zde místa, která jsou ochuzená o chrom. Materiál, ve kterém dochází k této korozi, ztrácí mechanickou pevnost, aniž by došlo k pozorovatelné změně vzhledu. Při určitých podmínkách dochází k přednostní korozi na ochuzené hranici zrn. [4] Nastává nejčastěji u austenitických ocelí, u kterých vlivem setrvání v kritické oblasti teplot dochází k vylučování karbidů chromu na hranici zrn. Po vyloučení karbidů může dojít k poklesu chromu v oceli na hodnotu, kdy již není ocel schopná pasivace. V místě ochuzeném o chrom dochází k přednostní korozi na hranici zrn. Prevencí před mezikrystalovou korozí u korozivních ocelí je snížení obsahu uhlíku pod 0,03 % nebo legování doprovodnými prvky, které mají větší afinitu k uhlíku než chrom (např. titan, niob). [8]

4.4. Transkrystalová koroze

Transkrystalová koroze se řadí do korozního praskání, které může způsobit až rozpad kovu. Rozpad kovu může být bez zbytkového nebo aplikovaného napětí. Dochází k němu v přítomnosti korozního prostředí, působením chemické látky na kov, ale také jsou potřebné další faktory. Jako příklad chemických látek lze uvést například měď. Měď jak ve slitině, tak čistá je náchylná na amoniak. Nerezové oceli jsou náchylné k chloridům a měkké oceli jsou náchylné k zásadám. [9]

4.5. Selektivní koroze

Díky korozním procesům dochází u selektivní koroze k odstranění jedné složky slitiny. Nejznámějším představitelem této koroze je odzinkování mosazí. Dochází k přeměně části původního materiálu slitiny mědi a zinku na houbovitou měď. Tento jev může nastat na celém povrchu nebo lokálně. Houbovitá měď nemá žádnou pevnost, a nakonec dochází k prasknutí stěny. Oceli s množstvím zinku větším než 15 % jsou náchylné k odzinkování. Při odzinkování dochází k rozpuštění mědi a zinku a poté se opět vyloučí měď. Může docházet k rovnoměrnému odzinkování v slabě kyselých vodách s malým obsahem solí a běžné teplotě. K lokálnímu odzinkování dochází v neutrální a slabě alkalické vodě s vysokým obsahem solí, zvláště při zvýšené teplotě. [4]

5. Korozní praskání

Působení statického tahového napětí na kovový materiál vystavený specifickému prostředí dochází ke koroznímu praskání. K šíření trhliny ve struktuře kovu dochází buďto po hranicích zrn (mezikrystalová koroze) nebo přes zrna (transkrystalově). Mechanismus je vysvětlován aktivním rozpouštěním na čele trhliny, která zároveň působí jako koncentrátor napětí. Koncentrátor napětí je poškození povrchu kovu a v těchto místech dochází ke korozním trhlinám. Čisté kovy jsou proti koroznímu napadení nejodolnější, materiály s vysokou pevností v tahu jsou náchylnější.

Trhliny se zvětšují hlavně ve směru kolmém na tahové namáhání. V místě štěrbinové nebo bodové koroze vznikají často trhliny, protože v nerovnosti na povrchu je tahové namáhání větší než na zbytku povrchu kovu. V trhlině se nachází agresivnější prostředí než v okolí povrchu kovu. Jako příklad korozního praskání lze uvést takzvanou louhovou křehkost oceli, ke které docházelo v kotlích z uhlíkové oceli, pro kterou se voda alkalizovala k potlačení rovnoměrné koroze. Došlo zde ke zkoncentrování hydroxidu přehřátím v místě nýtovaných spojů a docházelo k tahovému namáhání nýtů, které praskly a způsobily výbuch kotle. [4]

6. Korozní únava

Korozní únava vyžaduje působení korozního prostředí a cyklického mechanického namáhání s tahovou složkou. Cyklickým zatěžováním dochází zatížením nad mez únavy k vzniku trhlin i bez korozního prostředí. Při korozní únavě u cyklického namáhání v agresivním prostředí neexistuje mez únavy. Trhlina vzniklá při korozní únavě je transkrystalická a šíří se nespojitě. Na rychlosti šíření trhlin má vliv míra zatěžování. Čím je míra zatěžování nižší, tím větší je vzrůst trhliny za jeden cyklus. Porušení korozní únavou se projeví často již při nízkém počtu cyklů zatěžování. Trhlina je zde šířena z míst narušení povrchu stejně jako u korozního praskání. [4]

7. Koroze ovlivněná mechanickými vlivy

Korozi můžeme ovlivnit přidáním dalšího mechanického působení jako je například tření. Mezi mechanicky ovlivněné typy koroze lze zařadit erozní korozi, poškození vodíkem, koroze způsobená třením nebo kavitační koroze.

7.1. Erozní koroze

Erozní koroze má největší význam v kombinaci s korozními účinky. Čistě mechanického poškození materiálu můžeme docílit díky rychle proudící kapalině nebo plynu, které se setkají s kovem. Ke zvýšení poškození dojde, pokud v proudící látce budou přítomné částice. Tyto částice jsou v plynu pevné nebo kapalné a v kapalině pevné nebo plynné. Plynnými částečkami jsou myšlené bubliny. Ke zvýšení korozního účinku v elektrolyticky vodivém prostředí dochází, i pokud je mechanické poškozování velmi malé. Mechanické působení snižuje pasivační vrstvu na kovu, která brání v anodickém rozpouštění. Turbulentní proudění má větší účinek než proudění laminární. Korozní rychlost začne narůstat rychleji pokud proudění překročí určitou rychlost, tato rychlost je stanovena například u slitin mědi na 1 m/s. Většina pasivovatelných kovů vydrží větší rychlosti. Pokud kapalina obsahuje částice, je korozní napadení zvětšeno již při nízkých rychlostech. Je to dáno tím, že pasivní vrstva není nijak veliká a částice v kapalině jsou oproti ní veliké. Dojde ke zničení pasivní vrstvy v místě nárazu. U samopasivovatelných kovů by došlo k nápravě za určitých podmínek za pomoci anodického rozpouštění kovu, ale erozní účinek nedovolí, aby se vytvořila dostatečná pasivní vrstva, která by zajišťovala přijatelnou korozní rychlost. [4]

7.2. Tribokoroze

Pojem tribokoroze je spojení dvou disciplín, a to koroze a tribologie. Obor tribologie je zaměřen na studium tření a opotřebení.

Při tribokorozi dochází k působení vlivu tření a korozního prostředí. Dochází zde k nevratné změně podpovrchových vrstev kovu, které jsou způsobeny mechanickým působením, ale také chemickým působením. Interakce kovu s prostředím je chemická, elektrochemická a mechanická současně. U předmětů, na které působí tření dochází k mechanické degradaci materiálu a u koroze je způsobena chemickým nebo elektrochemickým působením na materiál. Koroze vznikající na předmětech, kde dochází ke tření, je urychlená. Erozní koroze jde také zařadit do tribokoroze, protože při ní dochází k mechanickému a chemickému účinku na tekutiny, které následně ovlivňují erozi pevných vrstev. [10]

7.3. Poškození vodíkem

V průmyslových podmínkách je významným poškozovacím dějem reakce kovu s vodíkem. Vodík může vznikat na povrchu kovu při korozní katodické reakci. Díky malé velikosti vstupují následně atomy vodíku do mřížky kovu. Ke vzniku vodíku na povrchu kovu může také docházet ve vodných elektrolytech při katodické polarizaci povrchu ocelí. Slučování atomárních vodíků v kovu má za následek vznik velkých vnitřních tlaků, které vedou k tzv. vodíkovým puchýřkům, pokud nebude přítomno další napěťové pole. Místa, kde se v kovech zachytává vodík, jsou nazývána jako vodíkové pasti. Tyto pasti mohou mít bodový, lineární, plošný nebo objemový charakter. Korozivzdorné oceli mají menší záchyt vodíku oproti uhlíkovým ocelím. Zachytávání vodíku je nevratný děj. Závislost rozpouštění vodíku do kovu určuje také struktura mřížky, pokud bude uspořádání těsné je náchylnější. Takové to uspořádání mají feritické oceli, kdežto austenitické oceli jsou odolnější. Projevem napadených materiálů je ztráta pevnosti, která se projevuje vodíkovou křehkostí. Vodíková křehkost bývá zaměňována za korozní praskání. [4]

8. Korozní prostředí

Korozní prostředí je chemický prvek, sloučenina nebo roztok, které způsobují korozi u kovů a slouží pro korozní testování. Pro jeden kov může jedno prostředí být agresivní, ale jinému kovu to samé prostředí nemusí způsobit nic. Každý kov má tedy své agresivní prostředí. Díky korozním zkouškám jde zjistit, jaké prostředí je, pro jaký kov agresivní a najít způsob jakým zabránit nežádoucím reakcím. Mezi typická korozivní prostředí patří kyselé a zásadité roztoky. Korozním prostředím může též být atmosféra, půda a beton. [11]

8.1. Atmosféra

Koroze způsobená atmosférou je příčinou 80% ztrát. Je to způsobeno tím, že většina kovových materiálů je vystavena atmosféře. Atmosférická koroze má elektrochemický mechanismus za běžných teplot. K atmosférické korozi dochází díky vlhkosti atmosféry, suchý vzduch nemá opakovaný erozní účinek. Při překročení vlhkosti o 60–80 %, to je nadkritická vlhkost vzduchu, jsou splněny podmínky pro korozní reakce. Podmínkou je dostatečně tlustý film na povrchu kovu. Podkritická vlhkost způsobuje také korozi kovů, ale lze ji zanedbat. Korozní působení je dáno takzvanou dobou ovlhčení povrchu kovu, tj. doba po kterou, je elektrolyt na povrchu kapalný za nadkritické atmosféry. Nejagresivnější je elektrolyt vzniklý při mlze. Atmosféra je agresivní díky přítomnosti mnoha látek, kde mezi nejvýznamnější pro korozi jsou oxid siřičitý a chloridy. Z oxidu siřičitého vznikají oxidací, například ozonem, sírany, které pomáhají aktivnímu rozpouštění železa. Při působení atmosféry ve vnitřních prostorách dochází k přidání dalších znečišťujících látek, mezi které patří sirovodík, kyselina mravenčí, kyselina octová, formaldehyd a další. Hlavním mechanismem reakce koroze v atmosféře je katodická redukce kyslíku. U železa může jako katodická reakce probíhat redukce rzi na magnetit. Vzniklý magnetit bude následně oxidován vzdušným kyslíkem na rez. Rez vznikající na železném materiálu nemá významný ochranný účinek a znehodnocuje materiál vzhledově. Množství rzi závisí na střídání period vlhkosti. Pokud bude materiál dlouhodobě vystavován nadkritické vlhkosti budou vznikat objemné korozní produkty. U patinujících ocelí je využíván účinek rzi k dekoraci a ochraně. Patinující ocel je uhlíková ocel, ve které je přídavek desetin procent chromu, niklu, mědi. Rez vzniká rovnoměrně a má též rovnoměrné zbarvení. Litinu na rozdíl od uhlíkových ocelí chrání oxidy, které vznikají při lití. Litiny mají větší tloušťku stěny než uhlíkové oceli, ale korozní rychlost je jen zdánlivě menší u litiny než u oceli. Sírany a chloridy z atmosféry přemění měď, zinek a olovo na tuhé korozní produkty. Tyto produkty mají ochranné účinky a nemohou být dále aktivně rozpouštěny. Atmosférickou korozi ovlivňuje také obsah dalších složek. Mezi tyto složky lze zařadit prach, který usnadňuje kapalnění. Vodivé částice mohou fungovat jako elektroda která urychluje korozi vznikem galvanických článků. [4]

8.2. Voda

Do korozního prostředí není zahrnuta pouze voda chemicky čistá, ale patří sem hlavně voda, která je díky koloběhu přírodou a průmyslem obohacena o látky získané. Korozi nezpůsobuje jen voda v přírodě, ale také voda pitná nebo vody průmyslové, na které je agresivita vody přenesena. Přírodní vodu lze rozdělit na vodu mořskou, sladkou, minerální a sladkou vodu znečištěnou slanou vodou, které se říká voda brakická. Čistá voda, která neobsahuje kyslík svým působením na materiál způsobuje zanedbatelnou korozi. Voda přírodní i průmyslová obsahují v různém zastoupení příměsi, které jsou odpovědny za korozi. Nejvíce ovlivňuje agresivitu vody přítomnost kyslíku a typ a množství rozpuštěných solí, dále přítomnost organických látek a mikroorganismů. Vliv na agresivitu vody mají také pH, teplota, obsah pevných částic a rychlost proudění. Kyslík, plyn rozpuštěný ve vodě, má největší vliv na korozi, je to dáno rychlostí redukce kyslíku, která řídí korozi ve vodě. Kyslík může také podporovat vznik ochranných vrstev, ne ji pouze urychlovat. Pokud je obsah kyslíku ve vodě vysoký, může dokonce zabraňovat vzniku koroze. Obsah kyslíku v čisté vodě, která je ve styku s atmosférou, není pro pasivaci uhlíkové oceli dostatečný. Oxid uhličitý je také složka, která ovlivňuje agresivitu vody. Způsobuje pokles hodnoty pH, podobný účinek má také oxid siřičitý, který se do vody dostane ze znečištěné atmosféry. V kyselých vodách může docházet i k jiným katodickým reakcím, než je redukce kyslíku. Sulfan nebo amoniak přítomné ve vodě mohou být příčinou korozního praskání kovů. U solí, které jsou ve vodě rozpuštěny, probíhá hydrolýza a dochází při ní k poklesu pH a zvýšení vodivosti. Mohou být příčinou vzniku nerovnoměrné koroze, protože ovlivňují tvorbu vrstev na povrchu. Soli se vyskytují ve vodě v malém množství, mořská voda je výjimkou, takže elektrická vodivost vody je poměrně malá. Následkem je častý výskyt nerovnoměrného napadení. Všechny vody obsahují chloridy, které působí potíže mnoha kovů. pH vody se pohybuje v rozmezí 3 až 9, proto u většiny kovů vznikne na povrchu vrstva nerozpustných korozních produktů. Tato vrstva chrání katodická místa, na kterých dochází k redukci kyslíku. Ochranná vrstva vzniká díky přítomnosti hydrogenuhličitanových, vápenatých a hořečnatých iontů. Ke vzniku ochranné vrstvy dojde, pokud bude nastolena rovnováha iontů podle rovnice (7), kde Ca^{2+} jsou vápenaté ionty, HCO^{-}_{3} je hydrogenuhličitan, OH^{-} je hydroxidový ion, $CaCO_3$ je uhličitan vápenatý a H_2O je voda.

$$Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^- \leftrightarrow CaCO_3 + H_2O \quad (5)$$

Stejně jako reagují vápenaté ionty, budou reagovat hořečnaté ionty. Reakce hořečnatých iontů je zapsána v rovnici (8), kde Mg^{2+} jsou hořečnaté ionty, HCO^{-}_{3} je hydrogenuhličitan, OH^{-} je hydroxidový ion, $MgCO_3$ je uhličitan hořečnatý a H_2O je voda.

$$Mg^{2+} + HCO_3^- + OH^- \leftrightarrow MgCO_3 + H_2O \quad (6)$$

Jestliže bude rovnováha posunuta ke vzniku uhličitanu vápenatého nebo hořečnatého budou vznikat kaly a úsady, pokud bude rovnováha posunuta ve prospěch rozpuštěných složek, také nedojde k vytvoření ochranné vrstvy. Rovnováha posunutá ve prospěch uhličitanů vytváří podmínky pro štěrbinovou a důlkovou korozi a rovnováha posunutá ve prospěch rozpuštěných látek je vhodná pro inverzní korozi.

Vliv na průběh koroze mají také mikroorganismy, které se ve vodě nacházejí. Mohou působit přímo odstíněním části povrchu a vytvořením podmínek vhodných pro korozi anebo mohou působit nepřímo produkty metabolismu anebo rozkladem mikroorganismů. Látky, které vznikají metabolismem nebo rozkladem mikroorganismů se pak účastní korozního děje.

Teplota může mít na korozní děj jak vliv negativní, kdy urychlí katodické i anodické reakce, tak také vliv pozitivní, kdy se sníží rozpustnost kyslíku a dalších plynů ve vodě. Na rovnováhu mezi vrstvami vzniklými na kovu a rozpuštěnými látkami má teplota také vliv. [4]

8.3. Půda

V půdách se nacházejí ocelové trubky pro dopravu plynů, ropy, vody, výrobky litiny a v malém množství i výrobky z korozivzdorných ocelí, mědi, olova, zinku a hliníku. V půdě lze také nalézt historické předměty, které byly vyrobeny z kovů. Půdě dodává její agresivitu typ a soudržnost, chemické složení včetně plynů, homogenita, vlhkost, pH a redoxní potenciál, kolísání spodní vody. Bez vlhkosti by bylo korozní napadení zcela bezvýznamné. Důležitý je půdní elektrolyt, jehož složení závisí na řadě faktorů. Půda může vodu zadržovat nebo propouštět a tato schopnost je pro korozi důležitá. Půdy, které vodu propouští nejsou agresivní jako půdy, které vodu vážou. Při vysychání jílovitých půd dochází na povrchu k vzniku trhlin, kterými se do půdy dostává vzduch a voda ze srážek. Plyny nacházející se v půdním elektrolytu jsou závislé na druhu půdy, hloubce, ročním obdobím, množství atmosférických srážek, složení povrchových vod, činnosti mikroorganismů a na teplotě. Koncentrace kyslíku je vyšší u povrchu, postupem do hloubky se jeho koncentrace snižuje, zvláště u jílovitých, močálových a bažinatých půd. Kromě katodické reakce může kyslík napomáhat při rozkladu organických látek, dále oxiduje sulfidy až na kyselinu sírovou. Samovolně vznikající ochranné vrstvy jsou nepříznivě narušovány oxidem uhličitým. Oxid uhličitý při pH 4,5 až 5 je agresivnější než kyselina chlorovodíková při stejném pH. V hlubších vrstvách půdy lze nalézt více oxidu uhličitého než na povrchu, způsobuje to oxidace organických látek a působení mikroorganismů. Půdy se pohybují v pH v rozmezí 5 až 9. Půdy s hodnotou pH nad 8,5 už se považují za neagresivní a pod hodnotu 6,5 jsou půdy vysoce agresivní. [4]

8.4. Beton

Uhlíková ocel v čerstvém betonu nereaguje, protože volný hydroxid vápenatý vytváří po průniku vody pórovitý roztok o pH 12,5 až 13,5, podle obsahu alkalických hydroxidů v cementu. Díky takto vysokému zásaditému pH dochází k nečinnosti oceli a korozní působení je velmi malé. Pórovitý roztok má oxidační vlastnosti díky přístupu kyslíku z atmosféry. Přístup chloridů a oxidu uhličitého k ocelové výztuži ovlivňuje korozní agresivitu pórového roztoku v betonu. Oxid uhličitý, který pronikne z atmosféry do vlhkého betonu, reaguje s volným hydroxidem vápenatým. Dojde k jeho přeměně na uhličitan vápenatý, dochází ke karbonataci betonu a nastane snížení pH pórovitého roztoku. Pokud se karbonatační fronta dostane k výztuži, dojde k aktivaci oceli a zvýší se korozní rychlost. Kvalita cementu a betonu, ale také vlhkost betonu určuje rychlost postupu karbonatační fronty. K poklesu pH mohou také napomoci kyselé deště. Při průniku chloridů do betonu dojde k aktivaci železa. K této aktivaci není potřeba poklesu pH pórovitého roztoku. [4]

8.5 Palivo jako korozní prostředí

Čisté palivo, kam patří benzín a nafta jsou směs uhlovodíků. Nemají žádný korozní účinek. Pokud k čistému palivu přidáme methanol nebo ethanol nastává zde šance korozního účinku. Korozní působení by zde zajišťovali kyselina mravenčí nebo kyselina octová, které vznikají oxidací obou alkoholů. Mezi další látky přidávané do paliva, díky kterým dochází ke koroznímu účinku jsou například voda a chloridy. Voda způsobuje lepší rozpustnost anorganických solí jako jsou sírany a chloridy, tím značně podporuje korozní děj. Chloridy v palivech jsou nejagresivnější a jsou nebezpečné pro korozivzdorné oceli. [12]

Složení ropy a její korozivita

Ropa se skládá z alkanů, cykloalkanů a arenů což jsou organické látky, které obsahují ve svém řetězci nejčastěji uhlík, vodík a kyslík. Mezi další složky ropy patří vosky, které se skládají z esterů vyšších mastných kyselin a vyšších alkoholů. Dále zde nalezneme heterocyklické sloučeniny síry, dusíku a kyslíku, rozpuštěné plyny mezi které patří methan, ethan, propan, butan a sulfan. V ropě se také nacházejí rozpuštěné kovy, mezi které patří vanad, nikl, železo, hliník, sodík, draslík, vápník a měď. Ropa nemá za pokojové teploty korozivní účinky, také většina látek rozpuštěných v ropě není agresivní vůči kovům a jejich slitinách. Korozní účinky ropy nejčastěji způsobují anorganické složky, mezi které patří převážně chloridy, sulfan a síra. Mezi chloridy přítomné v ropě a způsobující korozní účinky patří chlorid sodný, chlorid hořečnatý a chlorid vápenatý. [13]

Sloučeniny síry lze rozdělit na vysoce korozivní, kam patří elementární síra, sulfan a merkaptany, korozivní, kam patří sulfidy a disulfidy, a nakonec nekorozivní a sem patří alkylthiofeny a alkylbenzothiofeny. Některé sloučeniny síry nezpůsobují korozi, ale naopak zajišťují její zpomalení, nazývají se inhibitory. Mezi tyto inhibitory lze zařadit polysulfidy, thiofeny a sulfany. U sloučenin síry roste korozivita s rostoucí teplotou. S povrchem kovu reagují sirné sloučeniny, až na thiofeny, za vzniku sulfidů daných kovů, sulfanů a dalších sloučenin. U sirných sloučenin dochází ke korozi bodové, erozní nebo rovnoměrné. Sulfid železitý může vytvořit v některých případech vrstvu, která bude sloužit jako pasivní vrstva. Proti napadení sirnými sloučeninami nejsou odolné uhlíkové oceli. Naproti tomu oceli legované, kde je obsah chromu vyšší jak 1,25 % a korozivzdorné oceli jsou odolné vůči koroznímu napadení. Sulfan obsažený v ropě se dá částečně odstranit odsolováním ropy a při destilaci ropy se rozpouští do všech frakcí ropy. Může vznikat rozkladem sirných sloučenin za vyšších teplot. Sulfan je dobře rozpustný ve vodě, v jednom litru vody lze rozpustit tři litry sulfanu za vzniku slabé kyseliny. Sulfidy jsou nerozpustné ve vodě, ale některé můžeme rozpustit v kyselině chlorovodíkové. Mezi sulfidy rozpustné v kyselině chlorovodíkové patří sulfid železnatý, sulfid zinečnatý a sulfid manganatý. K sulfidům nerozpustným v kyselině chlorovodíkové patří sulfid měďnatý a sulfid olovnatý. Struktura organických sloučenin síry ovlivňuje jejich korozivitu. Organické sloučeniny síry jsou rozděleny nerovnoměrně do jednotlivých frakcí při destilaci ropy. Se stoupajícím bodem varu dané frakce v ní stoupá obsah korozivních sirných organických sloučenin. Vůči uhlíkové oceli jsou nejvíce korozivní merkaptany. Sirné sloučeniny mají nejvyšší korozivitu při teplotách 260 – 540 °C. [13]

Mezi organické sloučeniny kyslíku, které lze najít v palivu patří fenoly, estery, ketony, aldehydy, alkoholy a karboxylové kyseliny. Obsah kyselin v palivu jde zjistit pomocí čísla kyselosti, které udává celkový obsah anorganických i organických kyselin a vyjadřuje se v mg hydroxidu draselného na jeden gram ropného produktu. Karboxylové kyseliny mají největší korozivní účinek, ale některé mohou fungovat jako korozní inhibitory. Kyseliny s dlouhým řetězcem nemají silný korozivní účinek, ale kyseliny nízkomolekulární, mezi které patří například kyselina mravenčí nebo octová, mají korozní účinek vysoký. Uhlíkové a nízkolegované oceli nejsou odolné vůči naftalenovým kyselinám při teplotách v rozmezí 190 – 360 °C. Kyseliny nemusí být v palivu obsaženy, můžou zde vznikat z peroxidů a hydroperoxidů oxidací uhlovodíků rozpuštěným kyslíkem. [13]

V palivu se také objevují organické sloučeniny dusíku, mezi které patří pyridiny, chinoliny, alkylchinoliny, benzochinoliny, akridiny, pyrroly, indoly, karbazoly, benzokarbazoly, amidy. Ne všechny sloučeniny dusíku mají korozivní účinky. Mezi organickými sloučeninami s dusíkem jsou i takové, které působí jako inhibitory koroze. Patří mezi ně například pyridin a některé amidy a jejich deriváty. Za vyšších teplot dochází k rozkladu organických dusíkatých látek na amoniak. Ten je korozivní vůči mědi, zinku a jejich slitinám. [13]

Rozpustnost kyslíku v palivech

Kyslík se díky nepolárním molekulám dobře rozpouští v uhlovodících. Způsobuje oxidaci nestabilních paliv i korozní napadení kovových materiálů. Tyto procesy jsou řízeny difuzí kyslíku v palivu. Rozpustnost závisí na teplotě, tlaku okolní atmosféry a na typu paliva. Rozpustnost stoupá s rostoucí molekulovou hmotností, hustotou a bodem varu. Kyslík se rozpouští v palivech a uhlovodících desetkrát až stokrát více než ve vodě při stejné teplotě. Rozpustnost v uhlovodících stoupá v následujícím pořadí: biopaliva, alkoholy, uhlovodíky, topné oleje, plynový olej, petrolej a nejvíce se rozpouští v benzínu. Rozpustnost klesá s rostoucí teplotou a roste s jeho parciálním tlakem. Kyslík se v palivech rozpouští výrazně více než dusík. [13]

Rozpustnost vody v palivech

Rozpustnost vody je závislá na typu paliva a také na teplotě. Rozpustnost vody je nejmenší v alkanech, po nich následují cykloalkany, alkeny a nejvíce se rozpouští v arenech. Rozpustnost vody klesá s klesající teplotou a s rostoucí délkou řetězce. Rozpustnost v palivech ovlivňuje tedy obsah alkenů a arenů. [13]

9. Korozní zkoušky

9.1. Konstantní zkoušky

U těchto zkoušek jsou zajištěny konstantní podmínky, mezi které patří například teplota, vlhkost a další. Konstantní zkoušky neodpovídají reálným podmínkám, kterým je materiál vystavován po dobu své životnosti. Jsou vhodné pro zkoušení kvality povrchových úprav, při kterých by mohli vznikat například trhliny, mikroskopické póry. [12]

9.2. Cyklické zkoušky

Při cyklických zkouškách dochází ke změně podmínek během cyklu. Mezi tyto podmínky, které se mohou měnit patří teplota, vlhkost, zkušební medium. Podmínky cyklických zkoušek už se blíží reálným podmínkám, ve kterých se materiál nachází po dobu své životnosti. Současně je materiál namáhán i tepelnou roztažností, která je vhodná například pro testování nátěrů. [12]

9.3. Atmosférické zkoušky

Při atmosférických zkouškách je vzorek vystaven vlivu atmosférických podmínek. Dělí se na přirozené a urychlené. Přirozené jsou dlouhodobé a jsou nejčastěji prováděny v atmosférických zkušebních stanicích, jsou nejčastěji využívány k vyhodnocování korozní agresivity atmosféry, sestavování korozních map a podobně. Urychlené jsou krátkodobé, probíhají v laboratoři a mohou být konstantní nebo cyklické. [12]

9.4. Ponorové zkoušky

Ponorové zkoušky lze rozdělit na konstantní a cyklické. Materiál je v nich ponořen do zkušební kapaliny, u které známe složení, například palivo, směs kyselin, roztok chloridu sodného. U konstantních zkoušek je materiál ponořen do kapaliny po stanovenou dobu. U cyklických probíhá buďto střídavý ponor do různých zkušebních kapalin nebo ponor do zkušební kapaliny střídaný s expozicí na vzduchu. [12]

10. Železo a oceli

Oceli jsou slitiny železa s uhlíkem a dalšími prvky, především manganu a křemíku. Obsahují méně než přibližně dvě hmotnostní procenta uhlíku. Podle ČSN EN musí ocel obsahovat železa více než jiných prvků anebo podle ČSN musí být celkový obsah ostatních prvků menší než 50 % hmotnostních. Mezi typické vlastnosti oceli patří, že jde tvářet za tepla. [14]

10.1.Modifikace železa

Železo patří mezi alotropické kovy, což znamená, že může tvořit různé krystalové modifikace. Krystalizuje ve čtyřech modifikacích, v závislosti na teplotě. Těmito modifikacemi jsou železo α, β, γ, δ. α modifikace se vyskytuje do teplot 768 ^{o}C a je feromagnetická. Nad touto teplotou se vyskytuje β modifikace. Modifikace α a β se liší pouze magnetickými vlastnostmi, ostatní vlastnosti mají stejné, a proto se modifikace β zahrnuje do modifikace α. Teplota 768^{o}C se nazývá Curieův bod železa. Nad 910^{o}C je modifikace γ. Při přeměně modifikace α na modifikaci γ se snižuje objem materiálu. Je to způsobeno tím, že při přeměně modifikace α na modifikaci γ se struktura stává více směstnanou. Modifikace δ se vyskytuje nad teplotou 1390^{o}C a má strukturu BCC (z angl. Body Centered Cubic), od modifikace α se liší pouze rozměry elementární buňky. [14]

10.2. Feritická ocel

Tuhý roztok uhlíku v α-železe, se základní buňkou prostorově středěnou kubickou BCC. Je měkký, dobře tvarovatelný, má nízkou mez kluzu i pevnost, je houževnatý, má vysokou hodnotu kontrakce a tažnosti ve srovnání s ostatními strukturami za stejné teploty. Je výborně svařitelný, feromagnetický do teploty 768 ^{o}C. Má nejvyšší modul pružnosti oproti ostatním strukturám. Vzniká krystalizací taveniny o obsahu uhlíku menší než 0,1 % hmotnostních. Při eutektoidní teplotě se obsah uhlíku snižuje na 0,02 % hmotnostních a při teplotě okolí na 0,001 % hmotnostních. [14]

10.3. Austenická ocel

Austenit je tuhý roztok uhlíku v γ-železe. Základní buňka je plošně středěná kubická FCC (z angl. Face Centered Cubic). Je nejtvárnější při srovnání s jinými strukturami oceli při stejné teplotě. Je to důsledek konfigurace FCC. Existuje stabilní nebo nestabilní. V uhlíkových ocelích je stabilní pouze nad eutektoidní teplotou, ale ve slitinách s niklem, kde je nikl v obsahu 8 % hmotnostních nebo při obsahu manganu nad 13 % hmotnostních je stabilní i pod touto teplotou a také může existovat i při teplotách kryogenních. Zvýšení mechanických hodnot austenitu docílíme tvářením za studena. Austenitické korozivzdorné oceli mají v porovnání s ostatními ocelemi nižší tepelnou vodivost. Při porovnání s feritem má austenit nižší modul pružnosti a vyšší koeficient teplotní roztažnosti. Krystalizací taveniny nebo peritektickou přeměnou získáme stabilní austenit. Nestabilní austenit lze získat prudkým ochlazováním ocelí po inkubační dobu. [14]

10.4. Martenzitická ocel

Martenzit je přesycený tuhý roztok uhlíku v α-železu. Vzniká bezdifuzní přeměnou austenitu, při ochlazování pod teplotu M_S. Teplotou M_S rozumíme teplotu, při níž dochází k přeměně austenitu na martenzit (z angl. martensite start). Základní buňka může být buďto kubická nebo tetragonální. Tetragonální martenzit je extrémně tvrdý, pevný, netvařitelný, je křehký, tato křehkost je zapříčiněna vysokým vnitřním pnutím. Díky této křehkosti je samostatně technicky nepoužitelný. Kubický se vyznačuje vysokou tvrdostí a je téměř bez vnitřního pnutí. Martenzitické oceli se vyznačují vysokou pevností a otěruvzdorností. [14]

10.5. Korozivzdornost oceli

Mezi korozivzdorné oceli patří feritická ocel, která je odolná vůči koroznímu praskání za napětí, je málo plastická, obtížně svařitelná a je u ní riziko křehnutí za vysokých teplot. Austenitická ocel má dobrou odolnost vůči bodové korozi, je výborně svařitelná a je náchylná ke koroznímu praskání za napětí. Martenzitická ocel je tvrdá, otěruvzdorná, obtížně svařitelná, má nižší korozní odolnost a je náchylná k praskání za napětí. Je také ocel duplexní. Duplexní ocel obsahuje jak feritickou, tak austenitickou fázi, má tedy kombinované výhody obou typů ocelí. Je odolná vůči bodové korozi, koroznímu praskání za napětí tak vůči korozi štěrbinové.

Martenzitická ocel s obsahem 0,15 – 0,25 % uhlíku a 13 % chromu se využívá v atmosféře, páře, přírodních podmínkách a v mírně kyselém a agresivním prostředí, využívá se například na výrobu lopatek lodních turbín,je součástí čerpadel. Martenzitická ocel s obsahem 0,3 – 0,4 % uhlíku a 13 % chromu má vyšší otěruvzdornost a tvrdost, není svařitelná z důvodu vysokého obsahu uhlíku, je tedy využívaná na chirurgické nástroje a nože. Martenzitická ocel s obsahem 0,2 – 0,6 % uhlíku a 15 % chromu, je legována molybdenem, wolframem nebo vanadem, má zvýšenou tvrdost a otěruvzdornost, má také zvýšenou korozivzdornost díky vlivu chromu a molybdenu, má lepší odolnost vůči chloridům. Je využívána na kuchyňské nože. Martenzitická ocel s obsahem 0,7 – 1 % uhlíku a 17 % chromu a legováná molybdenem nebo vanadem má dobrou korozní odolnost a je odolná vůči opotřebení. Využívá se proto na mechanicky namáhané díly v agresivních prostředích. Martenzitická ocel s obsahem niklu ma vyšší plasticitu a pevnost, je odolná vůči působení vody, páry a zředěných roztoků kyselin. Supermartenzitická ocel obsahuje 0,015 % uhlíku, 12 % chromu, 6 % niklu, 2 % molybdenu a také měď, titan, dusík a vanad. Má velmi dobrou korozní odolnost, má zvýšenou houževnatost díky přítomnosti niklu, má vysokou pevnost a svařitelnost. Je využívána k těžbě a transportu zemního plynu kde je součástí agresivní složky oxid uhličitý a sulfan.

Feritická ocel s obsahem 13 - 30 % chromu a méně než 1 % uhlíku má dobrou korozní odolnost ve sladké vodě, v atmosféře, vodní páře a ve zředěných anorganických kyselinách. Je nevhodná pro silně znečištěné vody, mořskou vodu a silně znečištěné průmyslové atmosféry. Feritická ocel s obsahem 16 - 18 % chromu, méně než 0,08 % uhlíku, legovaná molybdenem a stabilizovaná titanem nebo niobem, má dobrou odolnost vůči znečistěným průmyslovým vodám a atmosférám, odolává koroznímu praskání za napětí a má dobrou odolnost vůči bodové korozi. Je používána v potravinářském průmyslu například na pivo, mléko nebo ocet. Feritická ocel s obsahem 25 % chromu a méně než 0,25 % uhlíku má vyšší korozní odolnost díky vyššímu obsahu chromu. Její nevýhodou je, že je náchylná ke křehnutí. Superferitická ocel s obsahem 18 – 29 % chromu a velmi malým obsahem uhlíku a niklu má dobrou svařitelnost, tvářitelnost a tažnost, vyšší pevnost. Je odolná vůči mezikrystalové korozi, má vysokou odolnost vůči bodové a štěrbinové korozi. Její nevýhodou je křehnutí za vyšších teplot.

Využívá se na tepelné výměníky pro vody s vysokým obsahem chloridových iontů, na odsolovací zařízení a v petrochemii.

Základním typem austenitické oceli je ocel o obsahu 0,08 % uhlíku, 18 % chromu a 9 % niklu má korozní odolnost v oxidujících kyselinách, která je zajištěna díky chromu, dále má korozní odolnost v redukujících kyselinách, kterou podporuje nikl. Je odolná vůči bodové a štěrbinové korozi, která je zvyšována legováním molybdenem. Chromniklová austenitická ocel má dobrou odolnost vůči sladké vodě a atmosféře. Je nevhodná pro znečištěné atmosféry a mořskou vodu. Je náchylná k mezikrystalové korozi a je využívána například v potravinářství. Austenitická ocel složená z chromu, niklu a molybdenu se dělí na nestabilizované a stabilizované. Stabilizaci zajišťuje titan nebo niob. Obsah uhlíku je v ní menší než 1 %. Dalším typem austenitické oceli je ocel složená z chromu, niklu a manganu, která má vysokou pevnost a tažnost a je odolná vůči korozi. Používá se v prostředí s mořskou vodou, na čerpadla pro chemický průmysl, hřídele a pružiny. Vysokolegovaná austenitická ocel obsahuje 19 – 23% chromu, do 30 % niklu, do 7 % molybdenu a přísady mědi a dusíku a mají velmi nízký obsah uhlíku. Má vysokou odolnost vůči rovnoměrné, mezikrystalové, bodové a štěrbinové korozi. Neodolává koroznímu praskání za napětí, využívá se v chemickém průmyslu. Superaustenitické ocel má obsah niklu více než 30 %. Má výbornou odolnost vůči rovnoměrné, bodové a štěrbinové korozi, při obsahu niklu více než 40 % odolává i koroznímu praskání za napětí. Používá se v chemickém průmyslu, nebo na trvalý ponor v mořské vodě. [8]

11. Kovové povlaky a nátěry

Povlaky a nátěry patří mezi nejrozšířenější způsob ochrany kovů. Mezi jejich funkce patří ochranná a ozdobná, ale také mohou povrchu dodávat jiné vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti například patří odolnost proti otěru, elektrická vodivost, odrazivost světla, tření a další. Tyto vlastnosti jsou závislé nejen na materiálu povlaku, ale také na materiálu kovu, na který je povlak nanášen. Také jsou závislé na tloušťce nanesené vrstvy a na způsobu, kterým je vrstva vytvářena. Volba metody nanášení povlaku je omezena velikostí předmětu, povahou chráněného materiálu, členitostí povrchu předmětu i přípustnými změnami mechanických vlastností a rozměrů. [15]

11.1. Technologie nanášení povlaků a nátěrů

Nanášení povlaků a nátěrů je založeno na několika principech, a to mechanický, fyzikální, chemický a elektorcemický. [15]

Mechanický způsob

Ochranná vrstva se nanáší za pomocí tlaku. Využívá se k nanášení větších vrstev, které se pohybují velikostně od 100 μm do několika milimetrů. Spojení mezi vrstvou a kovem je mechanické, ale při dostatečném tepelném působení lze dosáhnout spojení i difuzního. Dochází ke vzniku plátovaných materiálů, protože silná vrstva korozivzdorného materiálu je naválcována na desku základního kovu. Podkladový kov má nosnou funkci a nanesená vrstva má funkci ochrannou. Na stejném principu funguje také plátování výbuchem a žárové stříkání. [15]

Fyzikální způsob

Jejich princip je založen na kondenzaci, difuzi anebo tuhnutí, což jsou fyzikální procesy. Při kondenzaci dochází k nanášení povlaku z par, které kondenzují na studeném povrchu kovu. Koncentrace par napařovaného kovu musí být dostatečná, lze toho dosáhnout ohřevem ve vakuu nebo elektrickým obloukem. Tloušťka ochranné vrstvy se pohybuje v rozmezí 0,05 až 2,5 μm a spojení mezi povrchem kovu a ochrannou vrstvou je mechanické.

U principů difuzních a tuhnutí je spojení mezi kovem a ochrannou vrstvou difuzní. Jsou doprovázeny vznikem intermetalických sloučenin. Při využití principu tuhnutí je předmět ponořen do roztaveného kovu, na povrchu předmětu vznikne vrstva roztaveného kovu, která po zatuhnutí je součástí povlaku. Tento způsob je využíván nejen k ochraně polotovarů, ale také rozměrnějších předmětů. Mezi kovy využívané pro tento způsob patří například zinek, u kterého se minimální tloušťka vrstvy pohybuje mezi 2 až 10 μm a maximální mezi 20 až 160 μm. Mezi další příklady patří cín a olovo. Jejich tloušťka vrstvy se pohybuje v rozmezí 20 až 30 μm. Při zahřívání základního kovu v prášku povlakového materiálu dochází ke vzniku difuzní vrstvy. Tímto způsobem lze hromadně pokovovat malé součástky, u kterých je potřeba dodržet předepsané tolerance. [15]

Chemický a elektrochemický způsob

Fungují na chemických, popřípadě elektrochemických reakcích základního a povlakového materiálu.

Při vysokoteplotních reakcích vzniká difuzní vrstva. Využívá se při nich účinku par anebo taveniny solí nanášeného kovu. U postupů, které jsou využívány, dojde nejprve k uvolnění difundujícího kovu redukcí jeho sloučeniny nebo jejím tepelným rozkladem. Nebo dojde k jeho redukci chráněným kovem.

U nízkoteplotních způsobů vzniká spojení mezi povlakem a kovem bez difuzního spojení. K vyloučení povlaku může docházet elektrochemickou redukcí kationtů nanášeného kovu z elektrolytu na povrch kovu. Může být také využito účinku chemického redukčního činidla. Způsobu s elektrolytem říkáme elektrolytické – galvanické pokovování, které se využívá především k vytvoření tenčích vrstev povlaku o minimální tloušťce 1 až 2 μm a maximální 50 μm. Na elektrolytické pokovování se nejčastěji využívá nikl, chrom a zinek. U chemického pokovování se nejčastěji využívá nikl, kobalt a měď. Chemické pokovování je vhodné pro ochranu součástí s členitějším povrchem, silnější vrstvy a také pro pokovení elektricky nevodivých materiálů. [15]

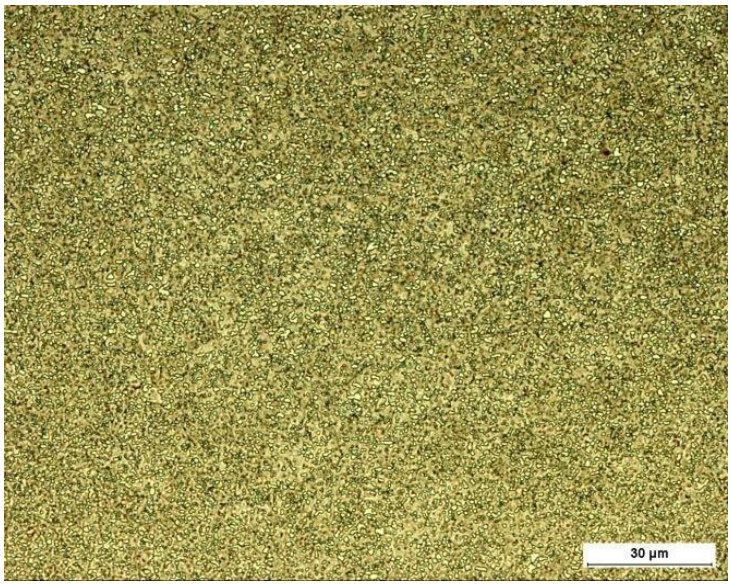
12.Experimentální práce

12.1. Testovaný druh oceli

Pro experimenty jsem použila martenzitickou korozivzdornou ocel 1.4037. Tato ocel obsahuje 0,68 % uhlíku, 0,4 % křemíku, 0,6 % manganu a 13 % chromu. Má vynikající odolnost vůči opotřebení. Je korozně odolná. Na obrázku č.3. lze vidět mikrostrukturu oceli 1.4037, která obsahuje velké množství malých nerozpuštěných karbidů. [16]

Hustota materiálu je 7,70 kg/dm3, elektrická rezistivita při 20 °C je 0,55 Ω mm^2/m, tepelná vodivost při 20 °C je 30 W/m K. Tento druh oceli se nejčastěji využívá v lékařském nebo farmaceutickém průmyslu. Déle ve strojírenství, na výrobu příborů, čepelí a v průmyslu vyrábějícím nástroje, nářadí, ložiska.

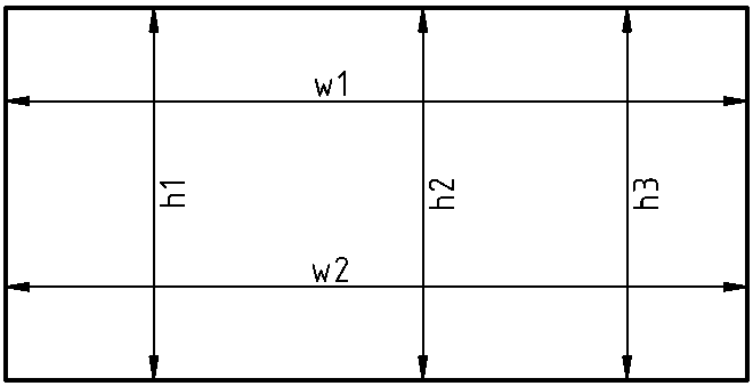
Ocel má dobrou korozní odolnost v prostředí, které neobsahuje chloridy jako mýdla, čistící přípravky a organické kyseliny. Má dobrou odolnost vůči vodě a páře. Není odolná vůči lokální korozi ve stavu, ve kterém je dodávána nebo ve svařovaném stavu. [17]



Obrázek 3 Mikrostruktura martenzitické korozivzdorné oceli 1.4037 [16]

12.2. Příprava vzorku

Vzorky byly připraveny vyříznutím obdélníčků z plechu martenzitické oceli 1.4037. Těmto obdélníčkům se říká kupóny. U kupónů byly změřeny rozměry podle obrázku č.4. Kupóny byly zváženy na analytických vahách XP504 od výrobce Mettler Toledo po odmaštění a odmoření. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce č. 1. Při manipulaci s kupóny byla používána pinzeta, aby bylo zamezeno přenosu mastnoty a nečistot na kupón.



Obrázek 4 Schéma měření kupónů

Před použitím kupónů došlo k jejich odmaštění za pomocí 250 ml acetonu, destilované vody, lihu a heptanu, ve kterých byly kupóny ponořeny vždy na pět minut v každé kapalině. K čištění byla použita ultrazvuková lázeň SUPER RK 510H. Po dokončení odmaštění byly díly dány na 15 minut na usušení do sušárny Binder FD53. Kupóny následně podstoupily moření. Moření bylo provedeno, aby došlo k odstranění produktů oxidace po laserovém gravírování kupónů. K moření byl použit roztok hydrogenuhličitanu amonného o koncentraci 150 g/l. Tento postup je v souladu s normou ISO 8407. [18]. K přípravě jsem použila 30 g hydrogenuhličitanu amonného bezvodého, který jsem rozpustila v 200 ml destilované vody. Kupóny jsem ponořila do připraveného roztoku v kádince a ponechala v ultrazvukové lázni při 70 °C po dobu 90 minut. Na obrázcích č. 5. a č. 6. lze vidět kupóny před a po moření. Stejný postup byl využit pro odstranění korozních zplodin z kupónů i po každé zkoušce. Za pomoci mikroskopu Keyence VHX 6000 byly pořízeny snímky kupónů před zkouškou. Na mikroskopu bylo vybráno dobré nasvětlení plíšku, následně se nastavila minimální a maximální výška pro nafocení. Jde o výšky, ve kterých jde ještě dobře zaostřit povrch kupónů. Výsledná fotografie je poskládána ze snímků, které mikroskop pořídí při změně vzdálenosti z maximální do minimální. Stejně byly nafoceny kupóny i po zkoušce. Při focení po zkoušce došlo také k měření hloubky důlků. Zaostříme plochu kuponu v místě důlku a zaznamenáme pozici objektivu. Následně zaostříme dno důlku. Též zapíšeme pozici objektivu a následně vypočteme hloubku důlku odečtením pozice objektivu při zaostření plochy kuponu a pozice objektivu zaostřeném na dno důlku.

Obrázek 5Kupón před mořením

Obrázek 6 Kupón po moření

12.3.Vlastní zkouška

Do sklenice o objemu 500 ml byly vloženy dva kupony a následně zality 250 ml paliva, které obsahovalo 6 % hmotnostních vody, 20mg/kg kyseliny octové a 3mg/kg chloridů ve formě chloridu sodného. Samotné palivo bylo složeno ze 70 % izooktanu a 30 % toluenu. Takto připravené vzorky byly rozděleny na tři sady, po třech sklenicích, kdy jedna byla ponechána při teplotě 25 °C, další při 40 °C byla dána do komory CTS TS-70 /860-5 ex/i. Do komory byla dána i poslední sada, která byla při 60 °C. Po dvou týdnech byla odebrána z každé sady jedna sklenice, další následovala po třech týdnech a poslední byla vyndána po čtyřech týdnech. Vzorky vyndané z paliva byly očištěny lihem. Posléze kupony prošly mořením po zkoušce. Očištěné kupóny byly zváženy na analytických vahách.

12.4.Vyhodnocení

Z naměřených hodnot byly vypočítány průměrná výška, průměrná šířka, hmotnostní úbytek, obsah, korozní rychlosti a korozní úbytky. V tabulce č. 1. se nachází hodnoty hmotností před a po zkoušce a z nich vypočtený hmotnostní úbytek. Hmotnostní úbytek (Δm) jsme získali odečtením hmotnosti po zkoušce od hmotnosti před zkouškou.

Tabulka 1 Tabulka hmotností před a po zkoušce a hmotnostního úbytku

číslo kupónu	m_0	m_1	Δm
	[g]	[g]	[g]
861	4,0000	3,9995	0,0005
862	4,1170	4,1167	0,0003
1060	4,0919	4,0909	0,0010
1069	4,0812	4,0801	0,0011
998	4,0298	4,0274	0,0024
999	4,0573	4,0552	0,0021
1104	4,0854	4,0837	0,0017
1105	4,0855	4,0838	0,0017
1106	4,0741	4,0712	0,0029
1107	4,0851	4,0814	0,0037
1108	4,0887	4,0841	0,0046
1109	4,0451	4,0402	0,0049
1063	4,0959	4,0893	0,0066
1064	4,0840	4,0706	0,0134
1065	4,1215	4,1102	0,0113
1066	4,1198	4,1045	0,0153
1067	4,0951	4,0694	0,0257
1068	4,0747	4,0531	0,0216

V tabulce č. 2. jsou zapsány hodnoty šířky a výšky kupónů, ze kterých byly vypočteny průměrné hodnoty. V tabulce č. 2. se také nachází obsah (S), který byl získán vynásobením průměrné výšky a průměrné šířky.

Tabulka 2 Tabulka šířky, výšky a obsahu kupónů

číslo dílu	h_1	h_2	h_3	h_p	ϑ_h	w_1	w_2	w_p	ϑ_w	S	ϑ_S
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm^2]	[mm^2]
861	12,89	12,89	12,87	12,883	0,007	30,22	30,20	30,21	0,01	389,2	0,2
862	12,88	12,88	12,87	12,877	0,003	30,23	30,22	30,225	0,005	389,2	0,1
1060	12,87	12,87	12,88	12,873	0,003	30,22	30,22	30,220	0,000	389,0	0,1
1069	12,86	12,87	12,87	12,867	0,003	30,18	30,23	30,21	0,03	388,6	0,3
998	12,87	12,80	12,92	12,86	0,03	30,20	30,22	30,21	0,01	389	1
999	12,86	12,86	12,89	12,87	0,01	30,23	30,31	30,27	0,04	389,6	0,6
1104	12,87	12,84	12,86	12,857	0,009	30,15	30,14	30,145	0,005	387,6	0,3
1105	12,87	12,87	12,86	12,867	0,003	30,18	30,17	30,175	0,005	388,3	0,1
1106	12,87	12,85	12,87	12,863	0,007	30,20	30,18	30,19	0,01	388,3	0,2
1107	12,85	12,87	12,87	12,863	0,007	30,19	30,25	30,22	0,03	388,7	0,4
1108	12,88	12,86	12,87	12,870	0,006	30,17	30,15	30,16	0,01	388,2	0,2
1109	12,83	12,88	12,86	12,86	0,01	30,23	30,23	30,230	0,000	388,7	0,4
1063	12,87	12,87	12,87	12,870	0,000	30,23	30,20	30,22	0,02	388,9	0,2
1064	12,87	12,87	12,87	12,870	0,000	30,21	30,20	30,205	0,005	388,74	0,06
1065	12,87	12,87	12,89	12,877	0,007	30,23	30,19	30,21	0,02	389,0	0,3
1066	12,87	12,88	12,86	12,870	0,006	30,21	30,19	30,20	0,01	388,7	0,2
1067	12,87	12,86	12,86	12,863	0,003	30,19	30,21	30,20	0,01	388,5	0,2
1068	12,87	12,87	12,86	12,867	0,003	30,22	30,26	30,24	0,02	389,1	0,3

Korozní úbytky byly vypočítány ze vzorce, který je v rovnici (7).

$$K = \frac{\Delta m}{S} \tag{7}$$

Pro výpočet hodnot korozní rychlosti byl použit vzorec, který je zapsán v rovnici (8).

$$\mathrm{v_{kor}} = \frac{K}{t} \tag{8}$$

Vypočtené hodnoty korozích úbytků a korozní rychlosti jsou v tabulce č. 3.

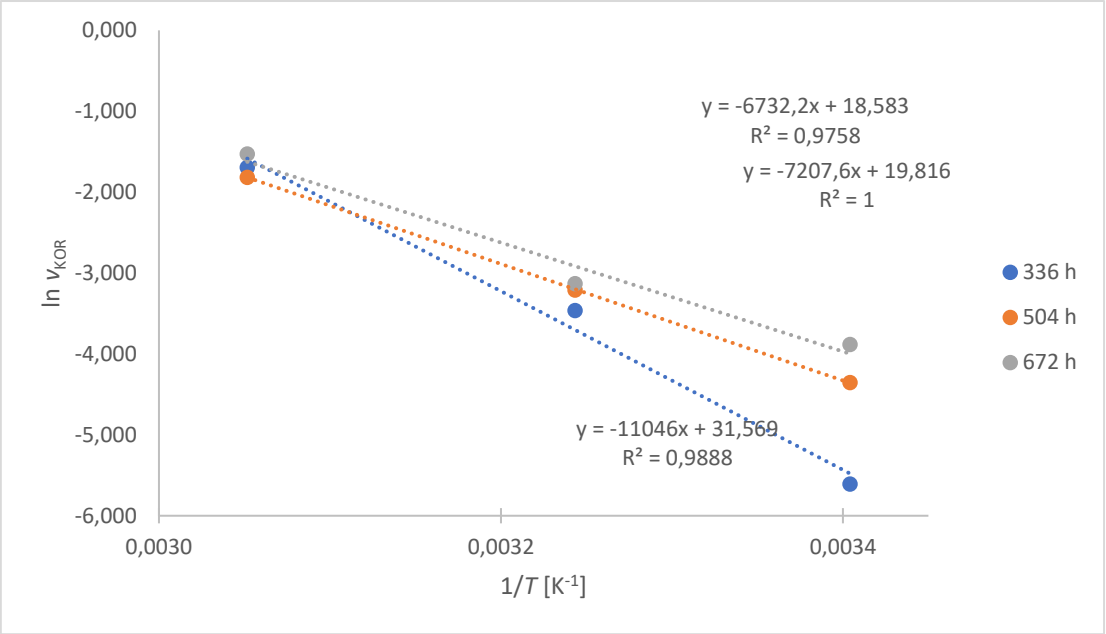
Tabulka 3 Tabulka hodnot korozního úbytku a korozní rychlosti

hodiny	teplota	číslo dílu	K	v_{KOR}
[hod]	[°C]		[mg/cm^2]	[mg/(cm^2 × d)]
336	25	861	0,051	0,004
336		862	0,051	0,004
504	25	1060	0,257	0,012
504		1069	0,283	0,013
672	25	998	0,618	0,022
672		999	0,539	0,019
336	40	1104	0,439	0,031
336		1105	0,438	0,031
504	40	1106	0,747	0,036
504		1107	0,952	0,045
672	40	1108	1,185	0,042
672		1109	1,261	0,045
336	60	1063	1,697	0,121
336		1064	3,447	0,246
504	60	1065	2,905	0,138
504		1066	3,936	0,187
672	60	1067	6,616	0,236
672		1068	5,551	0,198

Z hodnot v tabulce č. 4. byl sestrojen graf závislosti logaritmu korozní rychlosti na převrácené hodnotě teploty, který lze vidět na obrázku č. 7.

Tabulka 4 Tabulka hodnot pro sestrojení grafu č. 7. a hodnot aktivační energie

hodiny	**teplota**	***T***	**1/*T***	v_{KOR}	**ln (*v*KOR)**	**a (směrnice)**	E_A
[hod]	**[°C]**	**[K]**	**[K^{-1}]**	**[mg/(cm^2 × d)]**	**ln[mg/(cm^2 × d)]**	**[K]**	**kJ/mol**
336	25	298	0,0034	0,003671	-5,607	-11046	91,83
	40	313	0,0032	0,03130	-3,464		
	60	333	0,0030	0,18372	-1,694		
504	25	298	0,0034	0,012859	-4,354	-7208	59,92
	40	313	0,0032	0,04044	-3,208		
	60	333	0,0030	0,1629	-1,815		
672	25	298	0,0034	0,02065	-3,880	-6732	55,97
	40	313	0,0032	0,04368	-3,131		
	60	333	0,0030	0,21727	-1,527		



Obrázek 7 Graf závislosti logaritmu korozní rychlosti na převrácené hodnotě teploty

V grafu na obrázku č. 7. lze vidět závislost logaritmu korozní rychlosti na převrácené hodnotě teploty. Z grafu lze vyčíst, že logaritmus korozní rychlosti klesá s klesající hodnotou převrácené hodnoty teploty, což svědčí o tom, že teplotní závislost reakční rychlosti má arrheniovský průběh. Z této skutečnosti vyplývá, že s rostoucí teplotou roste korozní rychlost.

Z grafu byla vyčtena hodnota směrnice přímky a byla vypočtena hodnota aktivační energie. Vycházelo se z Arrheniovy rovnice, která je zapsána v rovnici (9), kde A je předexponenciální (frekvenční) faktor v kg/(m^2·s), E_A aktivační energie vyjadřovaná v J/mol, k je korozní rychlost udávaná v kg/(m^2·s), R je univerzální plynová konstanta (8,314 J/(K.mol)) a T je termodynamická teplota udávaná v kelvinech.

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}} \text{ [6]} \tag{9}$$

Zlogaritmováním této rovnice získáme rovnici ve tvaru zapsaném v rovnici (10).

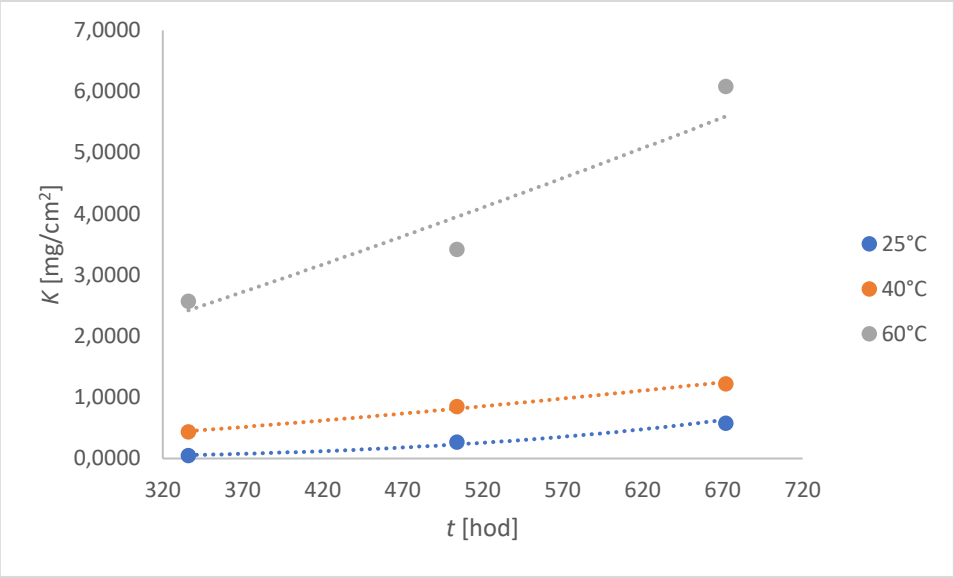
$$\ln \mathrm{k} = \ln \mathrm{A} - \left(\frac{E_A}{R} \cdot \frac{1}{\mathrm{T}}\right) \tag{10}$$

Směrnice přímky (a) nám určuje hodnotu - E_A/R, pro výpočet aktivační energie tedy lze použít rovnici (11).

$$a = \frac{E_A}{R} \tag{11}$$

Hodnoty aktivační energie jsou v tabulce č. 4.

Z hodnot korozního úbytku a času byl sestrojen graf závislosti korozního úbytku na čase. Tento graf je na obrázku č. 8.



Obrázek 8 Graf závislosti korozního úbytku na čase

V grafu závislosti korozního úbytku na čase, který je na obrázku č. 8. lze vidět, že čím déle se nachází vzorek v palivu, tím více roste i hodnota korozního úbytku. Také lze z grafu vyčíst, že s vyšší teplotou je vyšší korozní úbytek. Mohli bychom tedy říct, že korozní úbytek roste jak s teplotou, tak také s časem. Avšak korozní děj je obecně závislý na více vlivech a mé měření nebylo provázeno v takovém rozsahu, kdy by se tato tvrzení dala věrohodně podložit. V grafu je posunut počátek, a tedy osa x a osa y se neprotínají v hodnotě 0. Kdybychom směrnici posunuli tak, aby procházela 0, všimli bychom si nepatrného mocninného narůstání křivky. K většímu koroznímu úbytku mohlo přispět také položení vzorku ve sklenici, kde v místě kontaktu se dnem sklenice vznikala štěrbina, která byla hůře zásobovaná kyslíkem, a docházelo zde tedy ke štěrbinové korozi. Na této straně bylo vygravírováno označení dílu pro jeho lepší identifikaci, čímž mohlo také dojít k narušení povrchu a koroze zde mohla probíhat snáze. K dalším místům, která mohla na vzorcích snadněji podléhat korozi, patří hrany kupónů, které byly vyřezány a tím také došlo k narušení povrchu a zvýšení drsnosti.

V tabulce č. 5., č. 6. a č. 7. jsou zaznamenány hodnoty hloubky důlků a jejich maximální a minimální hodnoty.

Tabulka 5 Tabulka hloubek důlků pro vzorky při 25 °C

č. vzorku	**č. důlku**	**vrchní pozice**	**spodní pozice**	***h***	**střed**	h_{max}	h_{min}	**ϑ**
		[µm]	**[µm]**	**[µm]**	**[µm]**	**[µm]**	**[µm]**	**[µm]**
861	nebyly nalezeny žádné důlky							
862	1	6627,4	6616,6	11	76	140	11	65
	2	6627,4	6487,1	140				
1060	1	25767,9	25624,8	143	146	159	129	4
	2	25768,5	25614,3	154				
	3	25767,0	25620,5	147				
	4	25763,0	25616,4	147				
	5	25758,1	25628,7	129				
	6	25764,7	25606,2	159				
1069	1	25725,5	25582,6	143	146	149	143	3
	2	25783,1	25633,9	149				
998	1	1633,2	1463,7	170	130	170	84	10
	2	1552,1	1459,3	93				
	3	1551,5	1403,1	148				
	4	1552,9	1417,0	136				
	5	1743,6	1659,3	84				
	6	1743,4	1577,4	166				
	7	1645,9	1534,4	112				
	8	1644,5	1523,7	121				
	9	1642,7	1503,1	140				
999	1	1700,6	1539,3	161	117	161	98	15
	2	1677,5	1568,6	109				
	3	1690,4	1589,6	101				
	4	1628,8	1531,1	98				

Tabulka 6 Hodnoty hloubek důlků pro vzorky při 40 °C

č. vzorku	č. důlku	vrchní pozice	spodní pozice	h	střed	h_{max}	h_{min}	ϑ
		[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]
1104	1	7772,4	7670,6	102	78	130	33	11
	2	7769,2	7716,4	53				
	3	7757,2	7667,2	90				
	4	7676,6	7567,9	109				
	5	7676,6	7546,7	130				
	6	7926,3	7856,6	70				
	7	7926,3	7853,7	73				
	8	7910,5	7863,3	47				
	9	7904,4	7871,5	33				
1105	1	6067,9	5950,5	117	101	120	86	7
	2	6084,4	5964,0	120				
	3	6085,9	6000,2	86				
	4	6088,5	5979,9	109				
	5	6080,6	5994,9	86				
	6	5984,7	5899,1	86				
1106	1	33587,1	33459,8	127	81	157	31	7
	2	33582,5	33509,8	73				
	3	33581,9	33550,6	31				
	4	33582,1	33535,6	47				
	5	33700,7	33594,4	106				
	6	33692,5	33636,7	56				
	7	33687,9	33590,6	97				
	8	33688,9	33585,2	104				
	9	33680,6	33543,2	137				
	10	33676,2	33586,7	90				
	11	33670,8	33568,9	102				
	12	33673,6	33599,1	75				
	13	33675,1	33564,0	111				
	14	33664,1	33588,3	76				
	15	33660,7	33555,8	105				
	16	33668,2	33588,6	80				
	17	33670,9	33635,7	35				
	18	33693,0	33586,8	106				
	19	33686,3	33605,4	81				
	20	33652,0	33606,9	45				
	21	33647,7	33607,3	40				
	22	33648,8	33590,5	58				
	23	33647,0	33603,7	43				
	24	33655,9	33499,0	157				
	25	33651,3	33616,9	34				
1107	1	34960,3	34843,1	117	72	119	17	12

	2	34953,6	34889,8	64				
	3	34952,6	34917,6	35				
	4	34949,0	34931,8	17				
	5	34965,6	34846,6	119				
	6	34932,4	34831,0	101				
	7	34969,9	34917,8	52				
	8	34820,0	34758,1	62				
	9	34800,2	34717,0	83				
1108	1	25690,5	25582,0	109	95	136	29	6
	2	25692,8	25596,7	96				
	3	25694,7	25604,2	91				
	4	25694,1	25569,0	125				
	5	25694,2	25569,6	125				
	6	25687,9	25570,2	118				
	7	25695,5	25559,8	136				
	8	25701,7	25586,3	115				
	9	25733,4	25651,2	82				
	10	25734,5	25605,3	129				
	11	25602,7	25559,2	44				
	12	25592,9	25506,9	86				
	13	25691,8	25593,5	98				
	14	25691,1	25605,9	85				
	15	25684,1	25591,3	93				
	16	25684,1	25561,8	122				
	17	25685,9	25575,4	111				
	18	25687,9	25612,0	76				
	19	25606,5	25505,6	101				
	20	25588,6	25559,7	29				
	21	25591,3	25511,8	80				
	22	25589,8	25497,5	92				
	23	25585,5	25540,0	46				
1109	1	25584,5	25508,6	76	81	144	36	12
	2	25577,0	25533,4	44				
	3	25680,9	25603,3	78				
	4	25626,5	25590,9	36				
	5	25628,9	25523,3	106				
	6	25620,2	25570,5	50				
	7	25633,3	25547,0	86				
	8	25585,6	25441,3	144				
	9	25583,0	25470,3	113				

Tabulka 7 Hodnoty hloubky důlků pro vzorky při 60 °C

č. vzorku	č. důlku	vrchní pozice	spodní pozice	h	střed	h_{max}	h_{min}	ϑ
		[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]
1063	1	12765,5	12716,7	49	30	50	16	2
	2	12765,5	12715,6	50				
	3	12765,0	12736,0	29				
	4	12760,7	12725,2	36				
	5	12764,1	12718,9	45				
	6	12764,1	12725,0	39				
	7	12764,1	12717,8	46				
	8	12868,5	12839,0	30				
	9	12863,5	12838,2	25				
	10	12863,5	12828,9	35				
	11	12861,8	12835,5	26				
	12	12860,0	12816,9	43				
	13	12855,6	12836,1	20				
	14	12854,8	12838,9	16				
	15	12854,6	12832,2	22				
	16	12851,9	12830,4	22				
	17	12849,8	12813,3	37				
	18	12845,1	12815,4	30				
	19	12822,0	12784,6	37				
	20	12761,2	12735,9	25				
	21	12759,6	12727,2	32				
	22	12758,2	12737,7	21				
	23	12758,2	12739,1	19				
	24	12871,8	12844,8	27				
	25	12871,8	12835,2	37				
	26	12874,8	12849,2	26				
	27	12871,2	12851,3	20				
	28	12871,2	12846,0	25				
	29	12863,3	12834,9	28				
	30	12860,2	12837,7	23				
	31	12860,2	12831,3	29				
	32	12854,9	12836,6	18				
	33	12853,3	12821,5	32				
	34	12852,2	12835,6	17				
	35	12844,3	12807,2	37				
	36	12844,1	12798,0	46				
	37	12842,0	12815,8	26				
1064	1	12687,7	12665,6	22	37	49	22	3
	2	12687,7	12658,1	30				
	3	12687,7	12653,0	35				
	4	12687,7	12640,2	48				

	5	12686,3	12642,1	44				
	6	12686,3	12637,5	49				
	7	12677,7	12629,3	48				
	8	12737,0	12711,6	25				
	9	12737,0	12698,4	39				
	10	12754,0	12726,8	27				
	11	12677,0	12634,2	43				
	12	12681,2	12643,2	38				
	13	12674,6	12643,2	31				
1065	1	3690,0	3663,7	26	36	63	11	2
	2	3690,0	3652,7	37				
	3	3690,0	3644,2	46				
	4	3689,3	3650,9	38				
	5	3689,3	3658,4	31				
	6	3679,5	3646,1	33				
	7	3658,8	3623,2	36				
	8	3664,7	3638,9	26				
	9	3664,7	3651,4	13				
	10	3608,2	3553,9	54				
	11	3608,6	3577,8	31				
	12	3605,1	3541,8	63				
	13	3605,1	3574,9	30				
	14	3605,1	3583,0	22				
	15	3605,1	3578,9	26				
	16	3606,8	3576,1	31				
	17	3607,1	3566,9	40				
	18	3607,1	3569,4	38				
	19	3607,1	3565,8	41				
	20	3611,6	3598,7	13				
	21	3611,3	3600,3	11				
	22	3594,0	3560,5	34				
	23	3596,4	3547,2	49				
	24	3595,2	3555,1	40				
	25	3592,6	3548,6	44				
	26	3591,6	3547,1	45				
	27	3590,0	3547,7	42				
	28	3513,1	3490,5	23				
	29	3515,0	3493,9	21				
	30	3511,4	3477,5	34				
	31	3510,2	3469,3	41				
	32	3508,6	3479,4	29				
	33	3504,7	3452,0	53				
	34	3504,7	3466,6	38				
	35	3504,7	3470,9	34				

	36	3504,7	3466,4	38				
	37	3499,4	3475,9	24				
	38	3499,4	3451,5	48				
	39	3502,0	3459,1	43				
	40	3503,4	3456,5	47				
	41	3503,4	3457,8	46				
	42	3465,4	3420,9	45				
1066	1	1854,6	1823,2	31	35	63	10	2
	2	1854,6	1820,2	34				
	3	1854,6	1819,6	35				
	4	1854,6	1827,5	27				
	5	1854,6	1833,6	21				
	6	1854,6	1820,6	34				
	7	1854,6	1809,7	45				
	8	1854,6	1814,3	40				
	9	1857,5	1825,5	32				
	10	1857,5	1840,1	17				
	11	1857,5	1831,0	27				
	12	1857,5	1836,0	22				
	13	1857,5	1847,9	10				
	14	1859,2	1830,8	28				
	15	1859,2	1833,9	25				
	16	1859,2	1837,1	22				
	17	1857,6	1818,2	39				
	18	1857,6	1832,5	25				
	19	1857,6	1822,3	35				
	20	1857,6	1829,3	28				
	21	1847,2	1812,6	35				
	22	1847,2	1789,5	58				
	23	1847,2	1784,7	63				
	24	1847,2	1799,1	48				
	25	1854,4	1833,3	21				
	26	1854,4	1822,6	32				
	27	1849,0	1815,1	34				
	28	1849,0	1808,3	41				
	29	1849,0	1794,5	55				
	30	1849,0	1818,4	31				
	31	1849,0	1824,0	25				
	32	1849,0	1809,9	39				
	33	1839,8	1817,3	23				
	34	1839,8	1798,8	41				
	35	1839,8	1812,3	28				
	36	1839,8	1804,1	36				
	37	1839,8	1793,8	46				

	38	1839,8	1803,0	37				
	39	1832,7	1791,3	41				
	40	1832,7	1791,0	42				
	41	1832,7	1792,8	40				
	42	1832,7	1793,1	40				
	43	1832,7	1782,3	50				
	44	1844,4	1807,3	37				
	45	1842,7	1785,8	57				
	46	1842,7	1817,6	25				
	47	1842,7	1807,2	36				
	48	1849,0	1817,5	32				
	49	1849,0	1809,0	40				
	50	1849,0	1820,6	28				
1067	1	7388,1	7352,6	36	38	49	25	1
	2	7380,0	7334,1	46				
	3	7446,9	7400,3	47				
	4	7376,5	7332,3	44				
	5	7356,6	7319,2	37				
	6	7346,4	7321,2	25				
	7	7349,6	7309,2	40				
	8	7333,8	7297,7	36				
	9	7331,0	7291,2	40				
	10	7324,0	7287,2	37				
	11	7310,2	7272,8	37				
	12	7302,8	7275,6	27				
	13	7298,1	7261,9	36				
	14	7300,3	7266,3	34				
	15	7298,8	7261,0	38				
	16	7356,6	7322,7	34				
	17	7350,5	7318,3	32				
	18	7350,2	7320,3	30				
	19	7350,2	7325,0	25				
	20	7350,2	7314,0	36				
	21	7348,8	7312,5	36				
	22	7355,0	7306,4	49				
	23	7335,0	7291,5	44				
	24	7328,6	7282,2	46				
	25	7317,9	7276,2	42				
	26	7343,7	7298,9	45				
	27	7304,6	7256,7	48				
	28	7304,1	7270,8	33				
	29	7295,7	7254,5	41				
1068	1	10744,3	10697,1	47	41	62	24	2
	2	10748,7	10696,4	52				

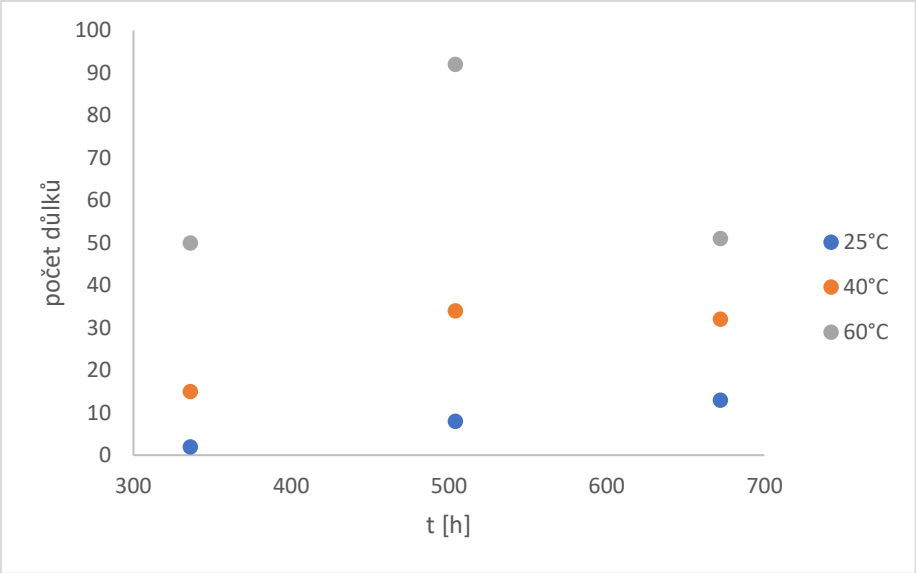
	3	10743,9	10711,5	32				
	4	10705,1	10658,6	47				
	5	10695,7	10657,5	38				
	6	10691,6	10642,4	49				
	7	10692,8	10653,0	40				
	8	10689,3	10639,8	50				
	9	10525,4	10488,3	37				
	10	10523,6	10480,4	43				
	11	10546,1	10518,0	28				
	12	10494,7	10451,1	44				
	13	10683,3	10659,1	24				
	14	10659,6	10597,6	62				
	15	10641,8	10609,1	33				
	16	10636,8	10596,0	41				
	17	10516,6	10483,9	33				
	18	10519,3	10473,8	46				
	19	10515,4	10463,3	52				
	20	10515,7	10465,8	50				
	21	10550,5	10523,8	27				
	22	10496,2	10461,6	35				

V tabulce č. 8. je shrnutí počtu důlků na vzorcích podle počtu hodin ponořených v palivu a podle teploty při které byly testovány.

Tabulka 8 Tabulka počtu důlků při jednotlivých teplotách

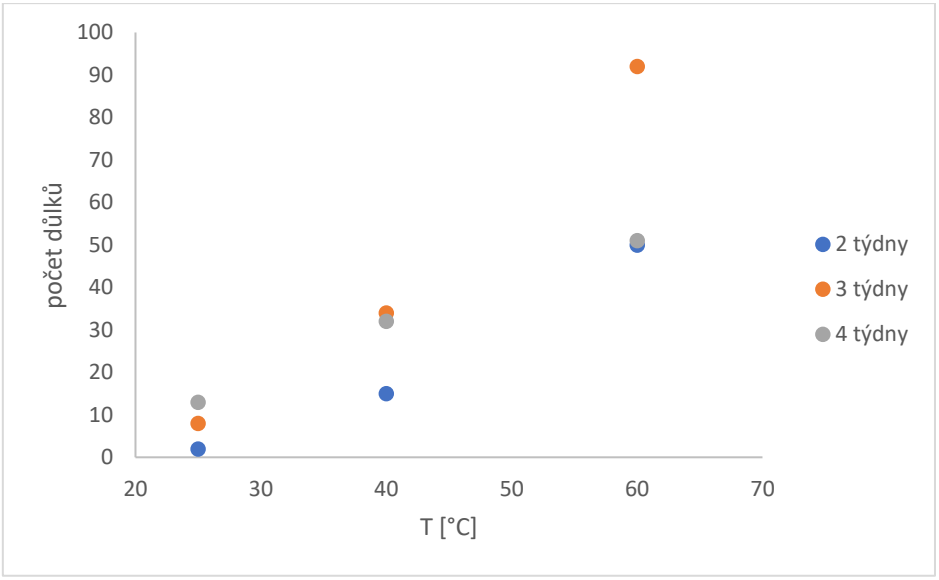
T	*t*	počet důlků	*h*max	*h*min
[°C]	[h]		[mm]	[mm]
25	336	2	140	11
25	504	8	159	129
25	672	13	170	84
40	336	15	130	33
40	504	34	157	17
40	672	32	144	29
60	336	50	50	16
60	504	92	63	10
60	672	51	62	24

Z hodnot v tabulce č. 8. byl sestrojen graf, který je na obrázku č. 9. tj. graf závislosti počtu důlků na čase.



Obrázek 9 Graf závislosti počtu důlků na čase

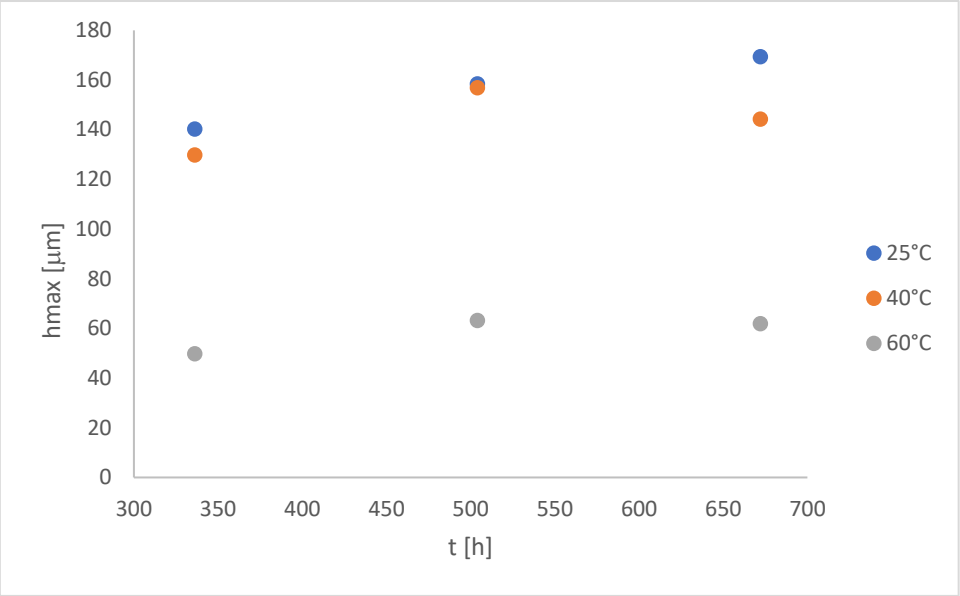
Graf závislosti počtu důlků na čase, který se nachází na obrázku č. 9 znázorňuje, jak s rostoucí dobou, kdy se vzorky nachází v palivu, roste počet důlků do času 504 hodin, pro dobu 672hodin nastává stagnace. Pro potvrzení by bylo potřeba provést opakovaná měření, což není z časového a prostorového hlediska možné. Dalo by se říct, že se zvyšující se dobou dochází k rozsáhlejšímu koroznímu napadení materiálu. Dále byl sestrojen graf nacházející se na obrázku č. 10 tj. graf závislosti počtu důlků na teplotě.



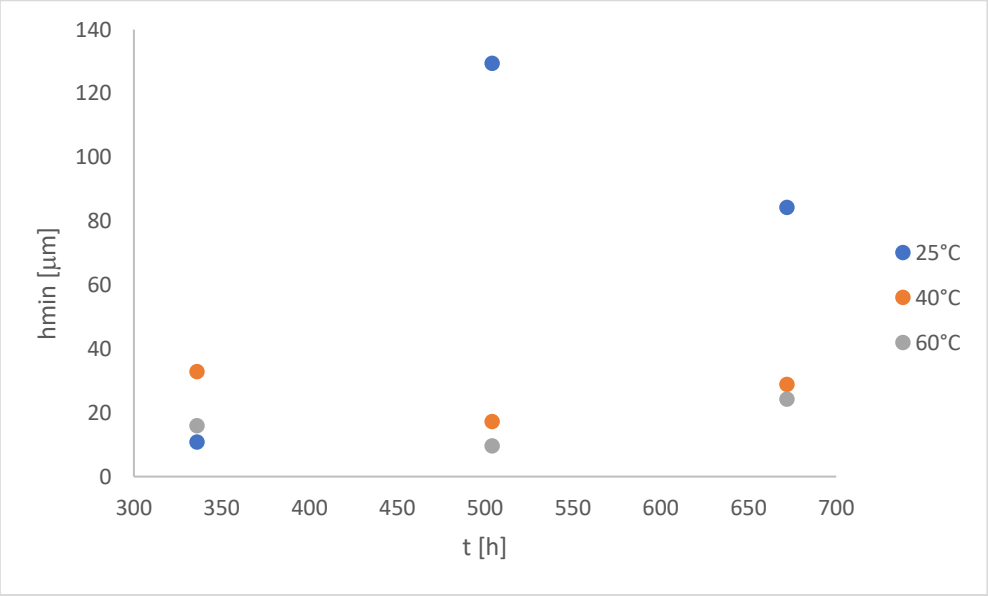
Obrázek 10 Graf závislosti počtu důlků na teplotě

Na obrázku č. 10 se nachází graf závislosti počtu korozních důlků na teplotě. Tento graf nám říká, že s rostoucí teplotou se zvyšuje počet důlků vznikajících na kupónech. Mohli bychom tedy říct, že za nízkých teplot vzniká méně důlků než za teplot vyšších.

Následně z hodnot v tabulce č. 8 byly sestrojeny graf č. 11, graf závislosti maximální hloubky důlků na čase, a graf č. 12, graf závislosti minimální hloubky důlků na čase.



Obrázek 11 Graf závislosti maximální hloubky důlků na čase



Obrázek 12 Graf závislosti minimální hloubky důlků na čase

Z grafu závislosti maximální hloubky důlku na čase, který je na obrázku č. 11, lze říct, že hloubka důlků s časem mírně stoupá. Lze sledovat, že při nízkých teplotách dochází k menšímu narušení kupónů a dochází tedy k hlubšímu napadení již vzniklých důlků. Při vyšších teplotách dochází k většímu narušení kupónů, a tedy u vzniklých důlků nedochází k většímu prohlubování. Při pohledu na graf závislosti minimální hloubky z obrázku č. 12, lze vidět, že minimální hloubka důlků při všech teplotách se pohybuje v přibližně stejném rozmezí. Odlehlé hodnoty, které se v grafu nachází, mohou být způsobeny nízkým počtem vzorků, který byl nízký kvůli velké časové náročnosti experimentů i jejich vyhodnocení. Také nebyly do hodnocení zařazeny výsledky gravírované strany, kde mohlo docházet k rozsáhlejšímu napadení bodovou korozí.

13. Didaktická část

Téma koroze a jejího vyhodnocení lze zařadit do více částí rámcového vzdělávacího programu. Ve vzdělávací oblasti Matematika a její aplikace pro druhý stupeň v kapitole závislost, vztahy a práce s daty, kde lze splnit očekávané výstupy M-9-2-01 vyhledává, vyhodnocuje a zpracovává data, M-9-2-02 porovnává soubory dat a M-9-2-04 vyjádří funkční vztah tabulkou, rovnicí, grafem.

Ve fyzice Látky a tělesa v očekávaných výstupech lze splnit F-9-1-01 změří vhodně zvolenými měřidly některé důležité fyzikální veličiny charakterizující látky a tělesa.

Ve vzdělávacím obsahu oboru chemie se lze na korozi zaměřit v pozorování, pokus a bezpečnost práce v CH-9-1-01 určí společné a rozdílné vlastnosti látek, CH-9-1-02 pracuje bezpečně s vybranými dostupnými a běžně používanými látkami a hodnotí jejich rizikovost; posoudí nebezpečnost vybraných dostupných látek, se kterými zatím pracovat nesmí. V oblasti chemické reakce CH-9-4-01 rozliší a zapíše rovnici výchozí látky a produkty chemických reakcí, uvede příklady prakticky důležitých chemických reakcí a zhodnotí jejich využívání, dále CH-9-4-02 aplikuje poznatky o faktorech ovlivňující průběh chemických reakcí v praxi a při předcházení jejich nebezpečnému průběhu. Mezi další patří chemie a společnost, kde v učivu je napsaná koroze v chemickém průmyslu. Zde by šlo o očekávaný výstup CH-9-7-03 orientuje se v přípravě a využívání různých látek v praxi a jejich vlivech na životní prostředí a zdraví člověka.

Šla by zde zařadit i oblast člověk a svět práce, kde druhý stupeň má zařazenou práci s technickými materiály. Jednalo by se o očekávané výstupy ČSP-9-1-01 žák provádí jednoduché práce s technickými materiály a dodržuje technologickou kázeň, ČSP-9-1-02 řeší jednoduché technické úkoly s vhodným výběrem materiálů, pracovních nástrojů a nářadí, ČSP-9-1-03 organizuje a plánuje svoji pracovní činnost, ČSP-9-1-04 užívá technickou dokumentaci, připraví jednoduchý náčrt výrobku, ČSP-9-1-05 dodržuje obecné zásady bezpečnosti a hygieny při práci i zásady bezpečnosti a ochrany při práci s nástroji a nářadím, poskytne první pomoc při úrazu. V oblasti člověk a svět práce lze splnit očekávané výstupy z práce s laboratorní technikou, kde by se jednalo o očekávané výstupy ČSP-9-6-01 vybere a prakticky využívá vhodné pracovní postupy, přístroje, zařízení a pomůcky pro konání konkrétních pozorování, měření a experimentů, ČSP-9-6-02 zpracuje protokol o cíli, průběhu a výsledcích své experimentální práce a zformuluje v něm závěry, k nimž dospěl, ČSP-9-6-03 vyhledá z dostupných informačních zdrojích všechny podklady, jež mu co nejlépe pomohou provést danou experimentální práci, ČSP-9-6-04 dodržuje pravidla bezpečné práce a ochrany životního prostředí při experimentální práci a výstup ČSP-9-6-05 poskytne první pomoc při úrazu v laboratoři. Při laboratorní práci by šlo využít také digitální technologie například fotoaparát na získávání snímků vzorků. Zde by splnil očekávané výstupy ČSP-9-7-01 ovládání základní funkce digitální techniky, diagnostikuje a odstraňuje základní problémy při provozu digitální techniky, ČSP-9-7-02 propojuje vzájemně jednotlivá digitální zařízení a ČSP-9-7-05 dodržuje základní hygienická a bezpečnostní pravidla a předpisy při práci s digitální technikou a poskytne první pomoc při úrazu.

Práce s fotoaparátem anebo kamerou při zaznamenání experimentu lze zařadit i filmovou/audiovizuální výchovu, která je zařazena do doplňujících vzdělávacích oborů. Do očekávaných výstupů lze zařadit FAV-9-1-01 pracuje se základními prvky filmového záběru (velikost, úhel, obsah) a tvořivě je užívá v jednoduchých praktických cvičeních a námětech, FAV-9-1-05 pracuje samostatně s jednoduchou kamerou (fotoaparátem) a ovládá její (jeho) základní funkce pro svůj záměr.

Dále si žáci budou rozvíjet klíčové kompetence. Mezi tyto kompetence lze zařadit kompetence k řešení problémů, kompetence komunikativní, kompetence pracovní a kompetence digitální. K plnění těchto kompetencí i výstupů jednotlivých oblastí zmíněných nahoře by mohla sloužit laboratorní úloha mnou připravená. V této laboratorní úloze by žáci sledovali vliv koroze na kovový materiál. Já jsem vybrala železné hřebíky. Pro sledování působení různých kapalin na kovový materiál bude postačovat jeden až dva hřebíky. Pro zjišťování hmotnostních úbytků je potřeba použít více hřebíků pohromadě, aby byl korozní úbytek snáze vážitelný i na kuchyňských vahách. Tento pokus jsem si sama experimentálně provedla v domácích podmínkách. Pro časovou náročnost jsem pokus provedla jen v roztoku z kuchyňské soli.

Základem pracovního listu je stanovení přesně daného cíle, kterého má žák dosáhnout. Text by měl být strukturován, tak aby byla jasná posloupnost. Součástí pracovního listu by měla být také část procvičovací, která je zaměřena na fakta, a slouží k upevnění učiva.

Pro svou práci jsem zvolila laboratorní cvičení na téma koroze. Žáci si zde sami vyzkouší, v jakém prostředí snáze materiál koroduje, popíšou, jak materiál vypadá po určitých časových intervalech. Dále si vyzkouší vážení na vahách, přípravu roztoků, a nakonec výpočet korozního úbytku a následné sestrojení grafu. V části s procvičováním jsem zvolila jednoduché úlohy, na které žáci odpovídají nebo doplňují do textu.

13.1. Laboratorní cvičení – koroze

Úkoly:

1. Pozorování vlivu různých prostředí na korozi železných hřebíků.
2. Sledovat hmotnostní úbytek železných hřebíků ponořených v různých prostředích.

Pomůcky: skleničky (např, od přesnídávek), váhy, pinzeta nebo kleště (rukavice), železné hřebíky, váhy

Chemikálie: voda, šťáva z citronu, roztok kuchyňské soli ve vodě

Postup:

Připravíme si tři skleničky, ve kterých budeme pozorovat vliv prostředí na železné hřebíky. Skleničky nadepíšeme příslušným názvem kapalin. Před vložením železných hřebíků do skleniček si je zvážíme na vahách. Hmotnosti zaznamenáme do připravené tabulky. Po navážení a vložení hřebíků do skleniček, zalijeme hřebíky kapalinami. Slaný roztok připravíme rozpuštěním 10 g kuchyňské soli v 250 ml vody. Do tabulky budeme zaznamenávat změny hmotnosti na železných hřebících v různých prostředích. Dále budeme popisovat změny pozorovatelné pouhým okem na železných hřebících ponořených v kapalinách. Po ukončení pokusu hřebíky zvážíme, následně je očistíme od korozních nečistot v roztoku kyseliny citronové a následně znovu zvážíme.

Tabulka pozorování:

prostředí	0 týdnů	1 týden	2 týdny	3 týdny	4 týdny
voda					
kuchyňská sůl					
citronová šťáva					

Tabulka hmotností:

prostředí	m_0 [g]	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	m_4 [g]	m_5 [g]
voda						
kuchyňská sůl						
citronová šťáva						

kde: m_0 je hmotnost před zkouškou, m_1 hmotnost po 1 týdnu, m_2 hmotnost po 2 týdnech, m_3 hmotnost po 3 týdnech, m_4 hmotnost po 4 týdnech. Hmotnost m_5 po očištění od korozních nečistot v roztoku kyseliny citronové, připraveném rozpuštěním 15g kyseliny citronové.

Z navážených hodnot vypočítáme rozdíl hmotností Δm, podle vzorce $\Delta m_i = m_0 - m_i$.

prostředí	Δm_1	Δm_2	Δm_3	Δm_4	Δm_5
voda					
kuchyňská sůl					
citronová šťáva					

Z vypočtených hodnot sestrojte graf závislosti hmotnostního úbytku Δm na čase působení korozního prostředí.

13.2. Vypracované laboratorní cvičení

Úkoly:

1. Pozorování vlivu různých prostředí na korozi železných hřebíků.
2. Sledovat hmotnostní úbytek železných hřebíků ponořených v různých prostředí.

Pomůcky: sklenička, váhy, rukavice, železné hřebíky, váhy

Chemikálie: roztok kuchyňské soli ve vodě

Postup:

Osm hřebíků bylo zváženo na kuchyňských vahách. Do skleničky byl připraven roztok kuchyňské soli. Hřebíky byly následně vloženy do skleničky a uzavřeny víčkem. Po týdnu byly hřebíky vyndány, osušeny a následně zváženy. Po zvážení byly opět vráceny do sklenice. Tento postup se opakoval i po dvou, třech a čtyřech týdnech. Po zvážení po čtyřech týdnech byly hřebíky očištěny od korozních nečistot za pomoci roztoku kyseliny citronové a následně zváženy. Z naměřených dat byl vypočten korozní úbytek pro jednotlivé týdny $\Delta m = m_0 - m_x$. Z hodnot korozního úbytku byl sestrojen graf.

Výsledky:

Tabulka 1: Hmotnosti hřebíků

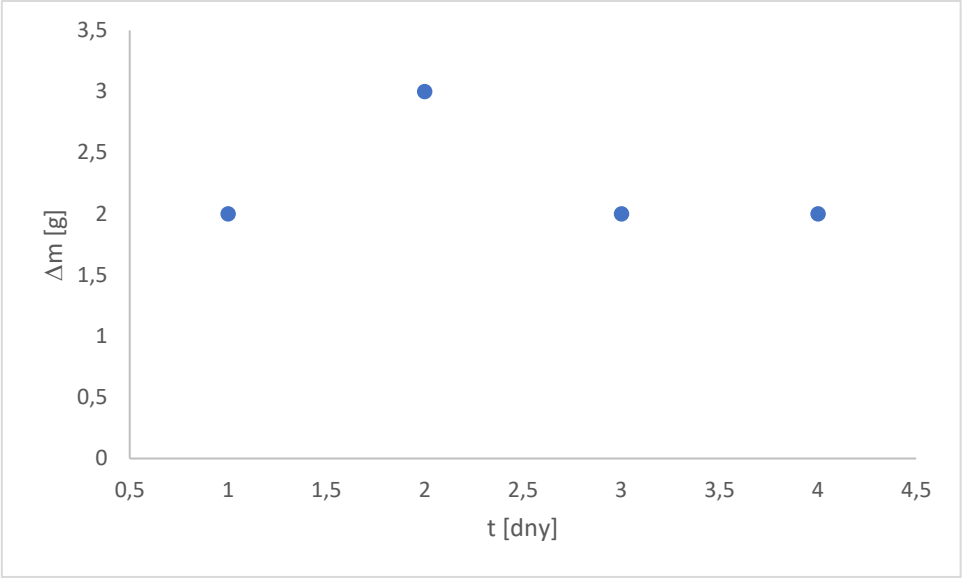
prostředí	m_0 [g]	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	m_4 [g]	m_5 [g]
Kuchyňská sůl	58	56	55	56	56	55

Z hodnot v tabulce 1 byly vypočteny hodnoty korozního úbytku a zaznamenány v tabulce č.2.

Tabulka 2: Korozní úbytky.

prostředí	Δm_1	Δm_2	Δm_3	Δm_4	Δm_5
Kuchyňská sůl	2	3	2	2	3

Z tabulky č. 2 byl sestrojen graf závislosti korozního úbytku na čase.



Graf závislosti korozního úbytku na čase

Závěr:

Z grafu lze vidět, jak nejprve dochází k úbytku hmotnosti. Následně lze pozorovat ustálený rozdíl úbytku na hmotnosti, který je způsoben obalením hřebíku korozními nečistotami a zabránění dalšímu koroznímu napadení. Toto tvrzení by si žáci mohli ověřit, tak že by jeli dvě sady vzorku ve stejném roztoku, kdy by jednu sadu vždy zvážili a následně vrátili zpátky a druhou po zvážení očistili kyselinou citronovou a následně znovu zvážili a poté vrátili do roztoku.

13.3. Pracovní list

1. Vypiš, kde všude se s korozí můžeš setkat.

2. Jaké druhy koroze znáš?

3. Pojmenuj následující sloučeniny.

Fe_2O_3
$FeO(OH)$
$Fe(OH)_3$
O_2

4. Zakroužkuj předměty, které mohou korodovat.

5. Doplň následující rovnice:

$$Fe^{3+} + \quad \text{e} \rightarrow Fe^{0}$$

$$-4\text{e} \rightarrow 2O^{2-}$$

6. Napište alespoň jeden příklad, kde je koroze škodlivá.

7. Napište alespoň jeden příklad, kde je koroze užitečná.

8. Spoj značku prvku s jejím názvem.

I.	Fe	a.	měď
II.	Al	b.	zlato
III.	Cu	c.	hliník
IV.	Au	d.	stříbro
V.	Ag	e.	železo

9. Vyber pravdivou větu o povlacích kovů.
    a. Povlaky mají jen dekorativní efekt.
    b. Povlaky mají kov chránit před korozí.
    c. Povlaky způsobují korozi kovu.
10. Která věta popisuje nerovnoměrnou korozi.
    a. Vzniká po celém povrchu.
    b. Vzniká pouze na některých částech povrchu.
    c. Nerovnoměrná koroze neexistuje.
11. U soch má koroze ochranný a dekorativní význam. Vzniká na nich tzv. měděnka. Jakou barvu měděnka má? Z jakého materiálu socha musí být, aby na nich měděnka vznikala?

14. Závěr

Cílem práce bylo seznámit žáky s pojmem koroze. Tento pojem byl zaměřen na korozi kovů, protože pojem koroze se na základní škole pojí právě s kovy. Korozi jiných materiálů, například plastů, žáci na základní škole neprobírají. Vzhledem k velkému rozšíření používání plastů, které jsou hojně využívány snad ve všech oborech, by bylo možné na mou didaktickou část navázat prací obeznamující žáky s korozí plastů

Ke splnění cíle bylo vytvořeno laboratorní cvičení, ve kterém si žáci vyzkouší, jak na materiál působí různá prostředí. Pro ujištění se, že lze vykonávat laboratorní cvičení i bez využití laboratorních pomůcek, jako jsou například analytické váhy, byl proveden pokus v domácích podmínkách za použití prostředí slaného roztoku. Tento pokus vedl ke zjištění, že v domácích podmínkách lze toto cvičení provádět za využití kuchyňské váhy. Toto cvičení bude tedy proveditelné i ve školních podmínkách, kde jsou podmínky podobně omezené. Následně byl vytvořen pracovní list k ucelení pojmu koroze.

Pro splnění cíle praktické části bylo potřeba provést měření korozního úbytku na materiálu. Při plnění cíle bylo zjištěno, že při vyšších teplotách dochází k častějšímu narušení kupónů. Při teplotách nižších není narušení tak časté, za to dochází v místě narušení k vyššímu prohlubování. Pro korozní úbytky bylo zjištěno, že s dobou působení paliva a teplotou roste. Pro potvrzení těchto tvrzení by bylo potřeba provést měření za stejných podmínek ve větším rozsahu.

Pokud bych měla šanci práci dělat znovu určitě bych přemýšlela o použití více kupónů pro získání více údajů. Teplotní rozhraní a časové intervaly bych neměnila.

Na tuto mou práci lze navázat provedením stejného měření, ve větším rozsahu, které by vedlo k získání více dat, a také lze změnit druh paliva, například palivo se sírany a sledovat vliv síranů.

Do laboratorního cvičení lze například zapojit video, kde by žák prováděl snímání vzorků fotoaparátem a následně spojil záznamy do jednoho. Tak by mohli žáci sledovat změny na materiálu v krátkém časosběrném videu.

15. Seznam literatury

[1] Měď. Pedagogická fakulta MU [online]. Dostupné z: https://www.ped.muni.cz/wchem/sm/hc/hist/chemlat/med.html [cit. 14.03.2021]

[2] Eneolit. Filozofická fakulta MU [online]. Dostupné z: https://www.phil.muni.cz/archeo/webmaster%20peppe/stara_mura/morarch/Vyzkumy/eneolit/eneolit.html

[3] Historie kovů | Investiční Web. Zpravodajský portál pro investory | Investiční Web [online]. Copyright ©2021 Investičníweb.cz [cit. 14.03.2021]. Dostupné z: https://www.investicniweb.cz/investice/historie-kovu

[4] Novák, Pavel, Koroze kovů, Ústav kovových materiálů a korozního prostředí, Fakulta chemické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, dostupné z: https://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected

[5] Základní škola a Mateřská škola Knínice [online]. Copyright © [cit. 30.06.2021]. Dostupné z: https://www.zskninice.cz/data/File/Paroulkova/CH9/Vzor%20-%20vyu%C5%BEit%C3%AD%20sol%C3%AD%20-%20elektrol%C3%BDza.pdf

[6] HADZIMA, Branislav a Tatiana LIPTÁKOVÁ. Základy elektrochemickej korózie kovov. Žilina: Žilinská univerzita, 2008. ISBN 978-80-8070-876-4.

[7] SŠTO HAVÍŘOV | Poděkování na konci školního roku 2020/2021 | [online]. Copyright © [cit. 30.06.2021]. Dostupné z: https://www.ssto-havirov.cz/katalog-obrazku/clanek-171/1972-vy-52-inovace-528-13.pdf

[8] Brenner, O. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. MM Průmyslové spektrum 2003.

[9] What is Transcrystalline Corrosion? - Definition from Corrosionpedia. The Online Hub for Corrosion Professionals [online]. Copyright © 2021 Corrosionpedia Inc. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: https://www.corrosionpedia.com/definition/1109/transcrystalline-corrosion (9.3.2021)

[10] What is Tribocorrosion? - Definition from Corrosionpedia. The Online Hub for Corrosion Professionals [online]. Copyright © 2021 Corrosionpedia Inc. [cit. 16.03.2021]. Dostupné z: https://www.corrosionpedia.com/definition/1263/tribocorrosion

[11] What is a Medium? - Definition from Corrosionpedia. The Online Hub for Corrosion Professionals [online]. Copyright © 2021 Corrosionpedia Inc. [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: https://www.corrosionpedia.com/definition/767/medium

[12] Radotínský, D. *Koroze* [přednáška]. České Budějovice: Robert Bosch, spol. s.r.o., 1.9.2020

[13] Groysman, A. Corrosion in Systems for Storage and Transportation of Petroleum Products and Biofuels. Identification, Monitoring and Solutions., 1st ed.; Springer: Dordrecht, 2014.

[14] MACHEK, Václav. Kovové materiály 1: struktury kovových materiálů. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05248-8.

[15] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. Koroze a technologie povrchových úprav. Praha: České vysoké učení technické, 1984.

[16] Sandvik Sanprint® EPS — Sandvik Materials Technology. Document Moved [online]. Copyright © Sandvik AB [cit. 29.03.2021]. Dostupné z: https://www.materials.sandvik/en/materials-center/material-datasheets/strip-steel/sandvik-sanprint-eps/

[17] Data sheets Stainless, acid and heat-resistant steels. *Www.dew-stahl.de* [online]. [cit. 2021-7-2]. Dostupné z: https://www.dew-stahl.com/…pdf

[18] ISO 8407. Corrosion of metals and alloys - Removal of corrosion products from corrosion test specimens. Geneva: ISO, 2009. 8 p.

16. Seznam obrázků, tabulek a rovnic

Seznam obrázků

Obrázek 1 Beketova řada kovů [5] 8
Obrázek 2 Druhy koroze [7] 10
Obrázek 3 Mikrostruktura martenzitické korozivzdorné oceli 1.4037 [16] 28
Obrázek 4 Schéma měření kupónů 29
Obrázek 5Kupón před mořením 29
Obrázek 6 Kupón po moření 29
Obrázek 7 Graf závislosti logaritmu korozní rychlosti na převrácené hodnotě teploty 33
Obrázek 8 Graf závislosti korozního úbytku na čase 34
Obrázek 9 Graf závislosti počtu důlků na čase 43
Obrázek 10 Graf závislosti počtu důlků na teplotě 43
Obrázek 11 Graf závislosti maximální hloubky důlků na čase 44
Obrázek 12 Graf závislosti minimální hloubky důlků na čase 44

Seznam tabulek

Tabulka 1 Tabulka hmotností před a po zkoušce a hmotnostního úbytku 30
Tabulka 2 Tabulka šířky, výšky a obsahu kupónů 30
Tabulka 3 Tabulka hodnot korozního úbytku a korozní rychlosti 32
Tabulka 4 Tabulka hodnot pro sestrojení grafu č.7. a hodnot aktivační energie 32
Tabulka 5 Tabulka hloubek důlků pro vzorky při 25 °C 35
Tabulka 6 Hodnoty hloubek důlků pro vzorky při 40 °C 36
Tabulka 7 Hodnoty hloubky důlků pro vzorky při 60 °C 38
Tabulka 8 Tabulka počtu důlků při jednotlivých teplotách 42

Seznam rovnic

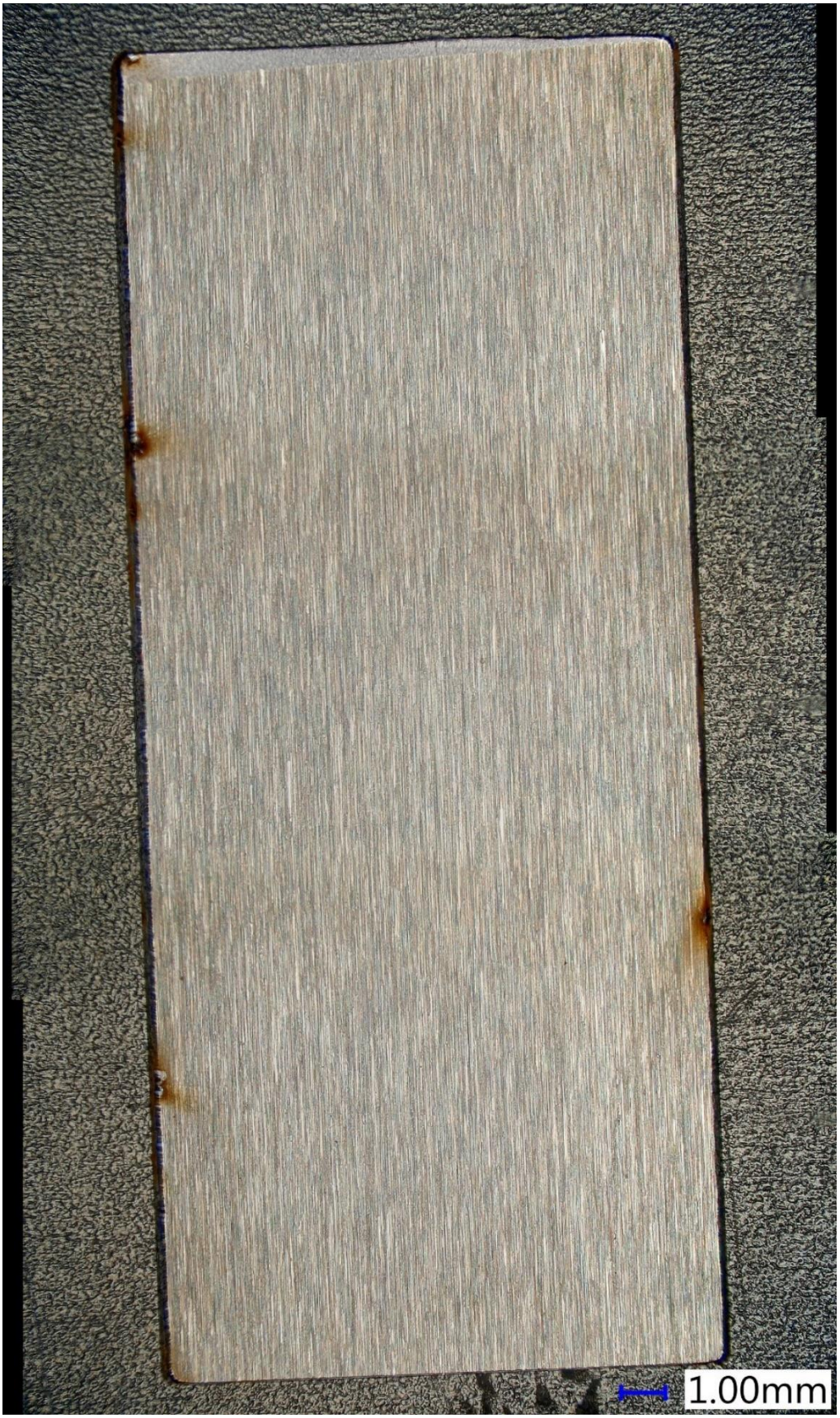
1. Rovnice oxidace čistého kovu 9
2. Rovnice redukce prostředí 9
3. Rovnice oxidace zinku 10
4. Rovnice redukce mědi 10
5. Rovnice rovnováhy vápenatých iontů 16
6. Rovnice rovnováhy hořečnatých iontů 16
7. Rovnice pro výpočet korozního úbytku 28
8. Rovnice pro výpočet korozní rychlosti 28
9. Arrheniova rovnice 30
10. Logaritmický tvar Arrheniovy rovnice 30
11. Rovnice směrnice přímky 30

17. Přílohy

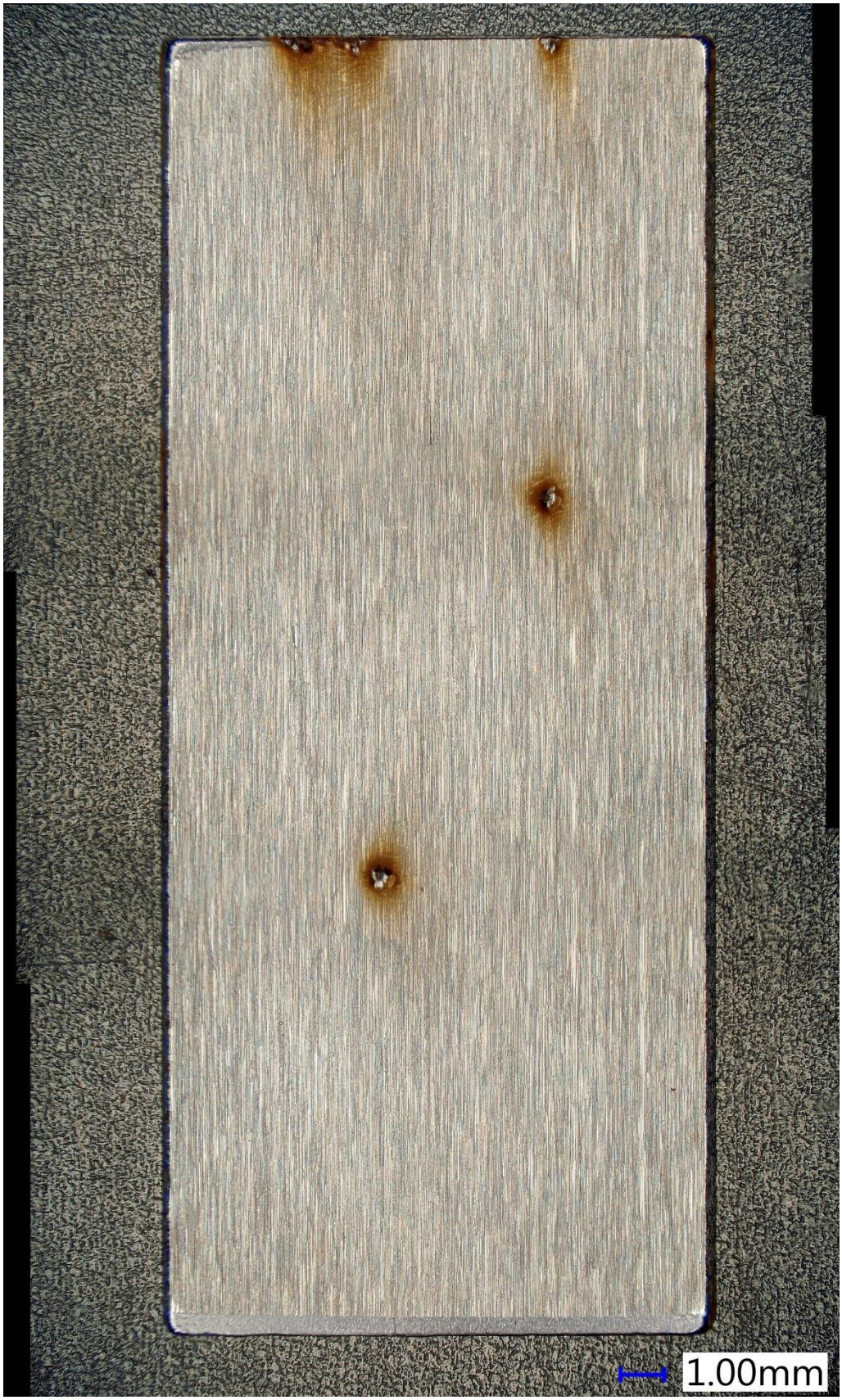
V příloze jsou uvedeny fotografie kupónů po zkoušce. Také jsem sem vložila fotografie pořízené při zkoušení laboratorního cvičení.

Seznam příloh

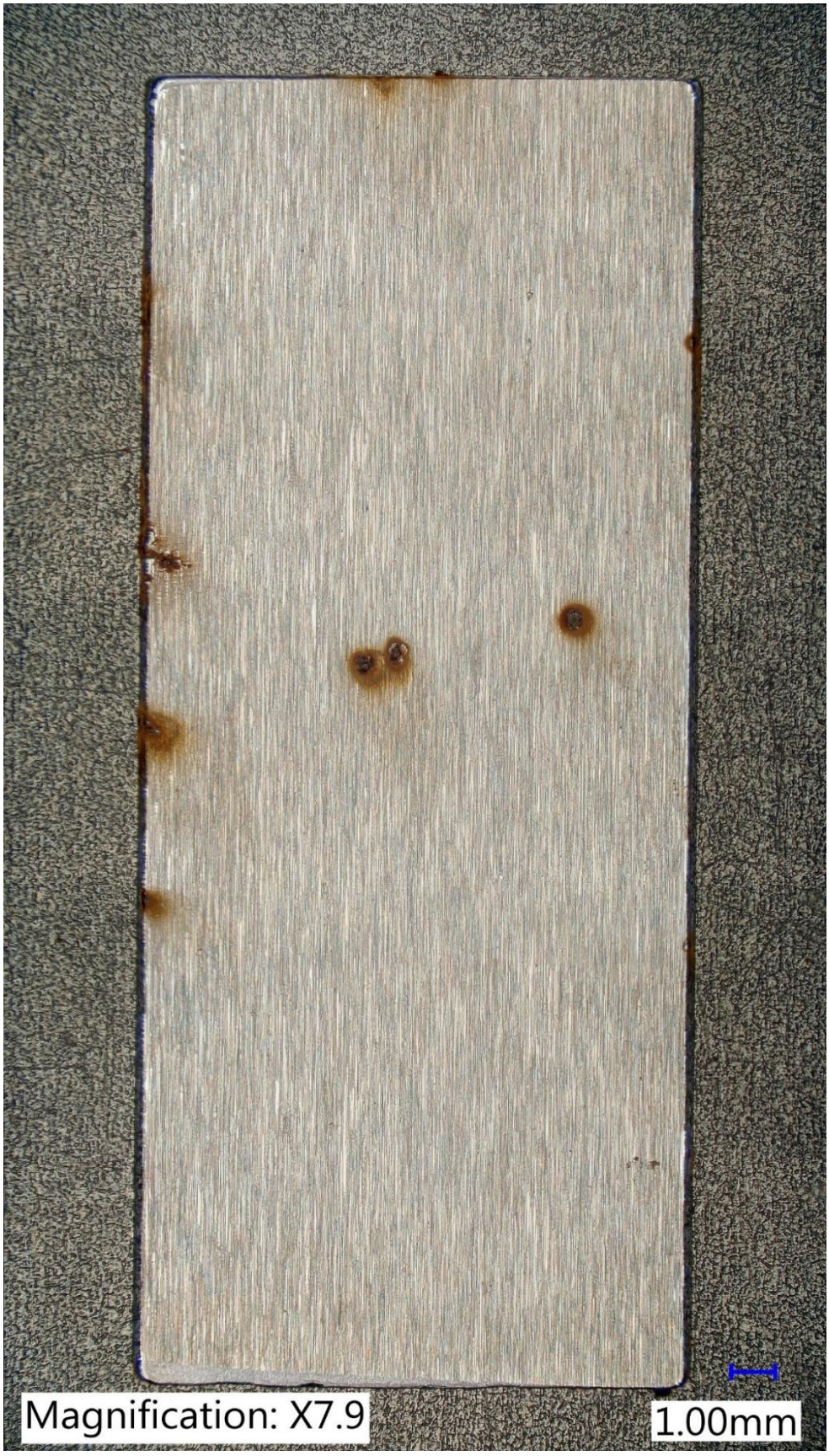
Obrázek 13 kupón č. 861 při 25 °C, 336 H 57
Obrázek 14 kupón č. 862 při 25 °C, 336 H 58
Obrázek 15 kupón č. 1104 při 40 °C, 336 H 59
Obrázek 16 kupón č. 1105 při 40 °C, 336 H 60
Obrázek 17 kupón č. 1063 při 60 °C, 336 H 61
Obrázek 18 kupón č. 1064 při 60 °C, 336 H 62
Obrázek 19 kupón č. 1060 při 25 °C, 504 H 63
Obrázek 20 kupón č. 1069 při 25 °C, 504 H 64
Obrázek 21 kupón č. 1106 při 40 °C, 504 H 65
Obrázek 22 kupón č. 1107 při 40 °C, 504 H 66
Obrázek 23 kupón č. 1065 při 60 °C, 504 H 67
Obrázek 24 kupón č. 1066 při 60 °C, 504 H 68
Obrázek 25 kupón č. 998 při 25 °C, 672 H 69
Obrázek 26 kupón č. 999 při 25 °C, 672 H 70
Obrázek 27 kupón č. 1108 při 40 °C, 672 H 71
Obrázek 28 kupón č. 1109 při 40 °C, 672 H 72
Obrázek 29 kupón č. 1067 při 60 °C, 672 H 73
Obrázek 30 kupón č. 1068 při 60 °C, 672 H 74
Obrázek 32 Hřebíky ve slaném roztoku (den první) 75
Obrázek 31 Hřebíky ve slaném roztoku (po týdnu) 75
Obrázek 33 Hřebíky ve slaném roztoku (po dvou týdnech) 76
Obrázek 34 Hřebíky před očištěním kyselinou citronovou 76



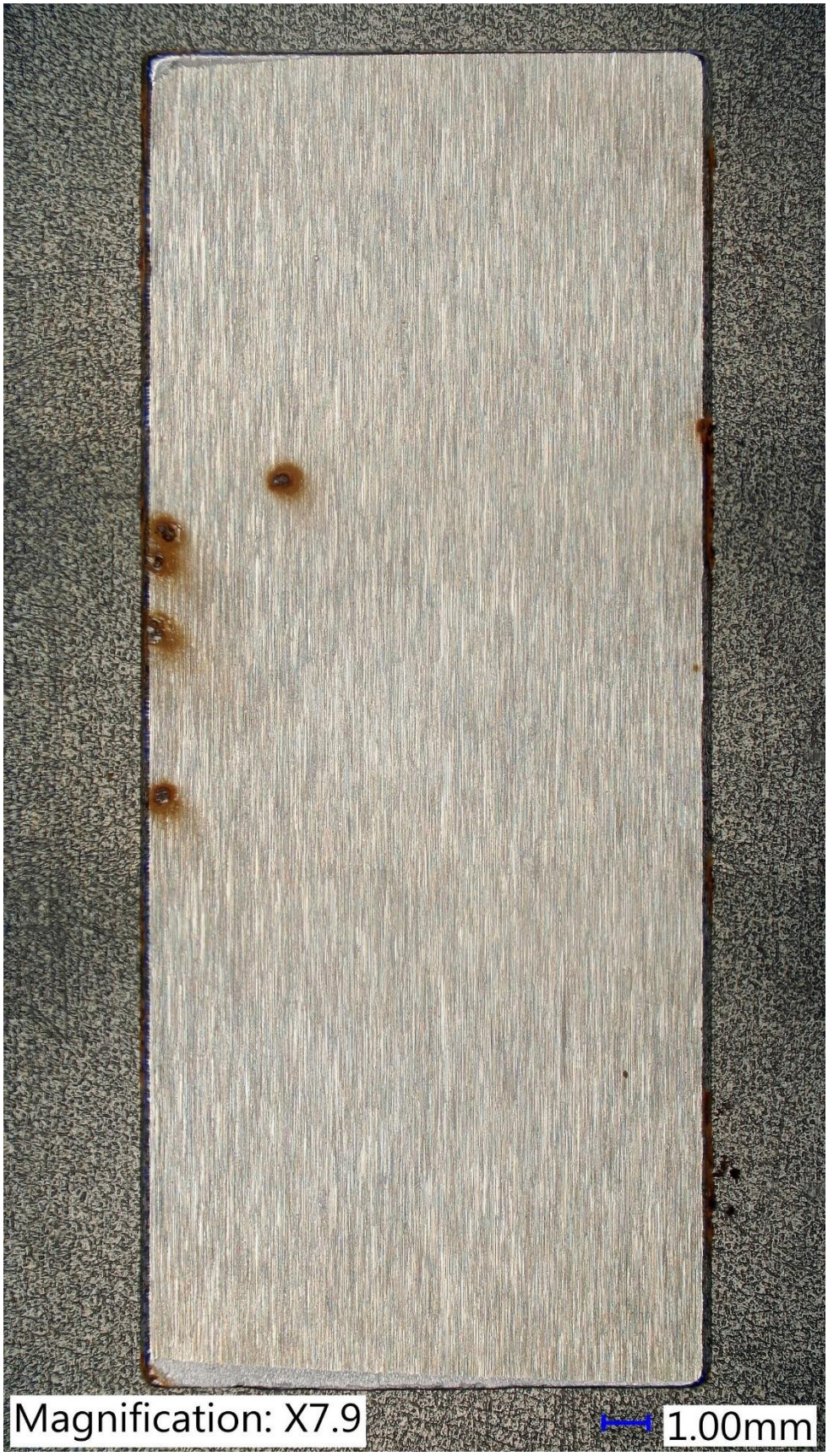
Obrázek 13 kupón č. 861 při 25 °C, 336 H



Obrázek 14 kupón č. 862 při 25 °C, 336 H

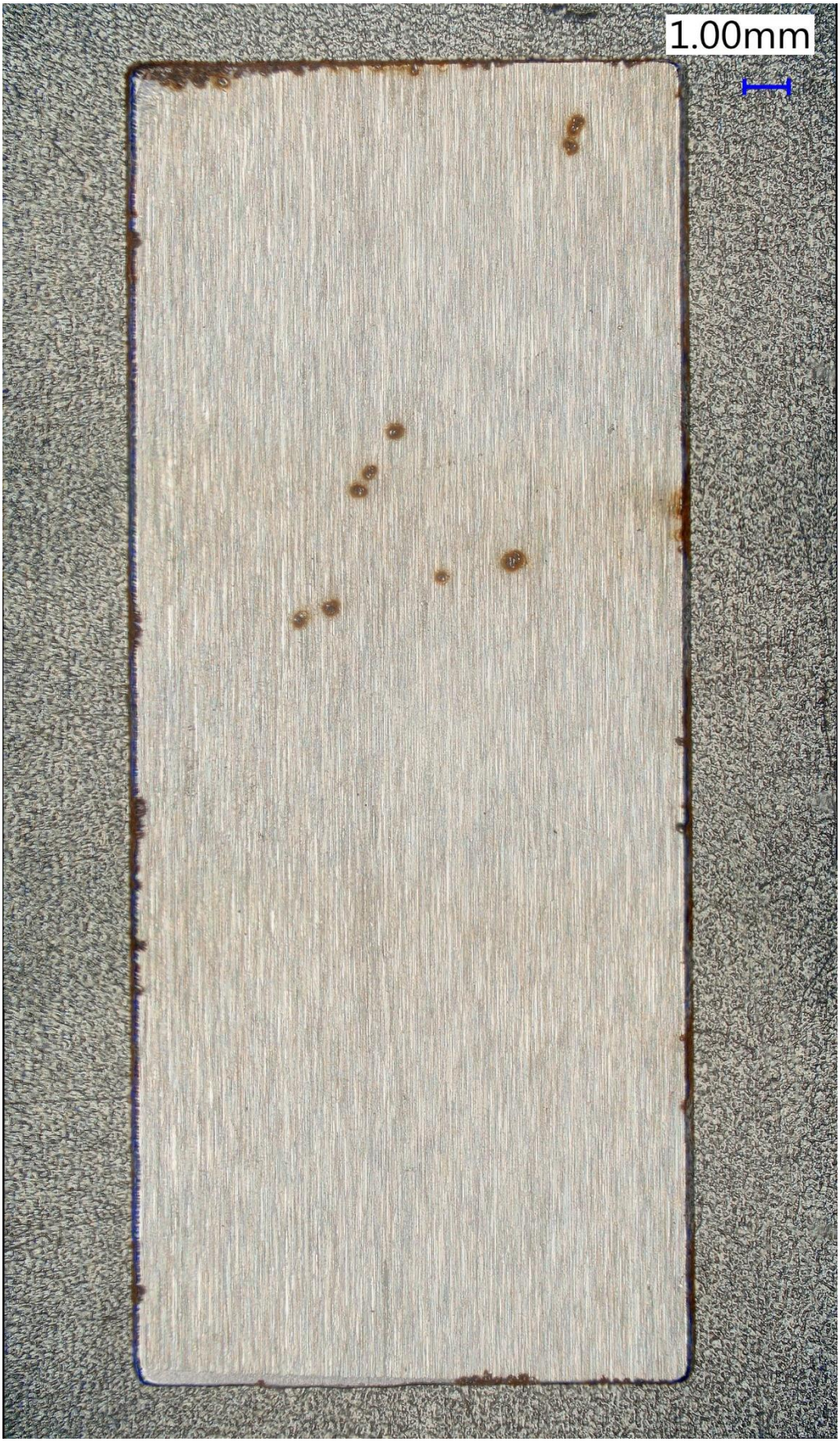


Obrázek 15 kupón č. 1104 při 40 °C, 336 H

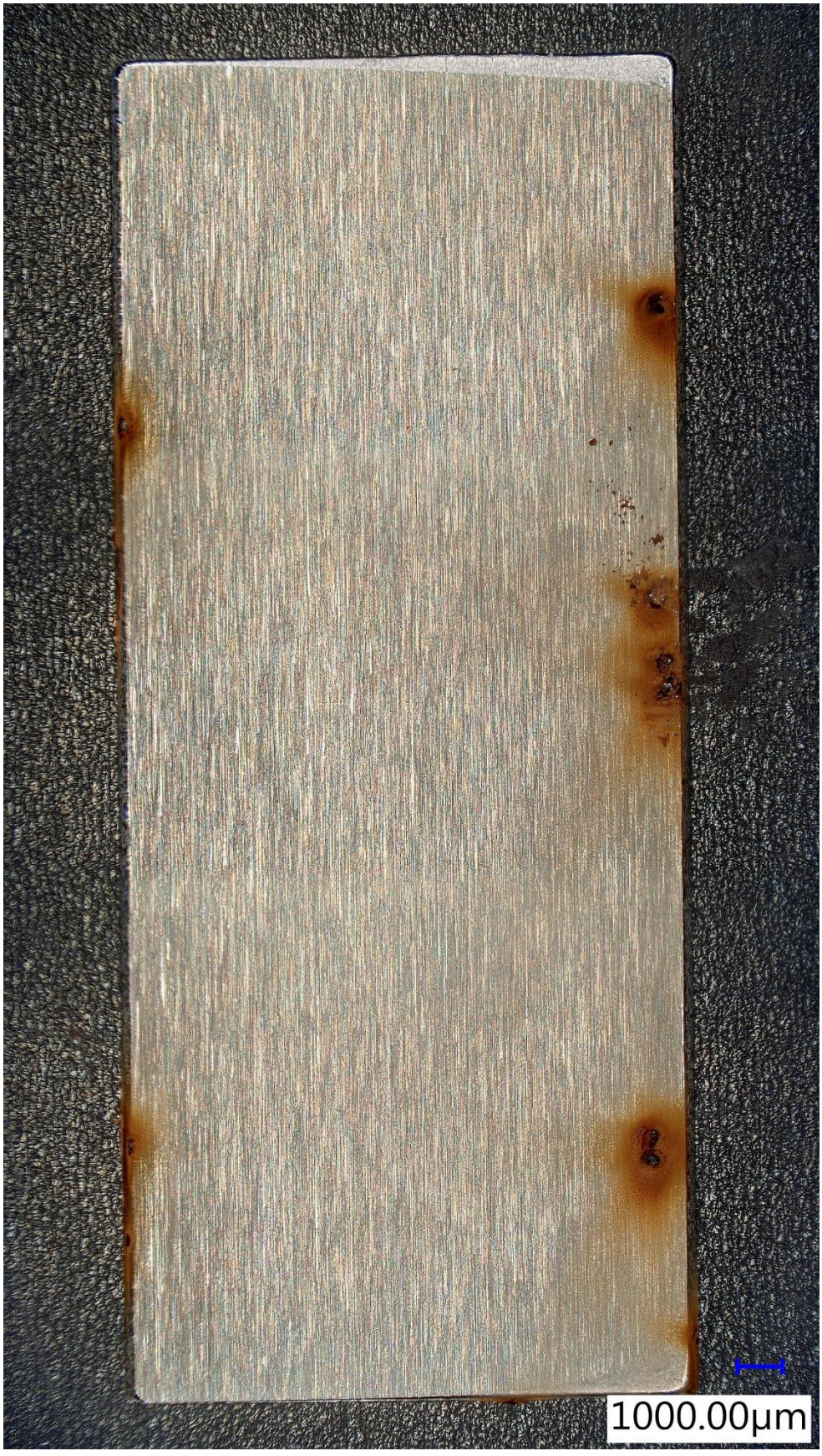


Obrázek 16 kupón č. 1105 při 40 °C, 336 H

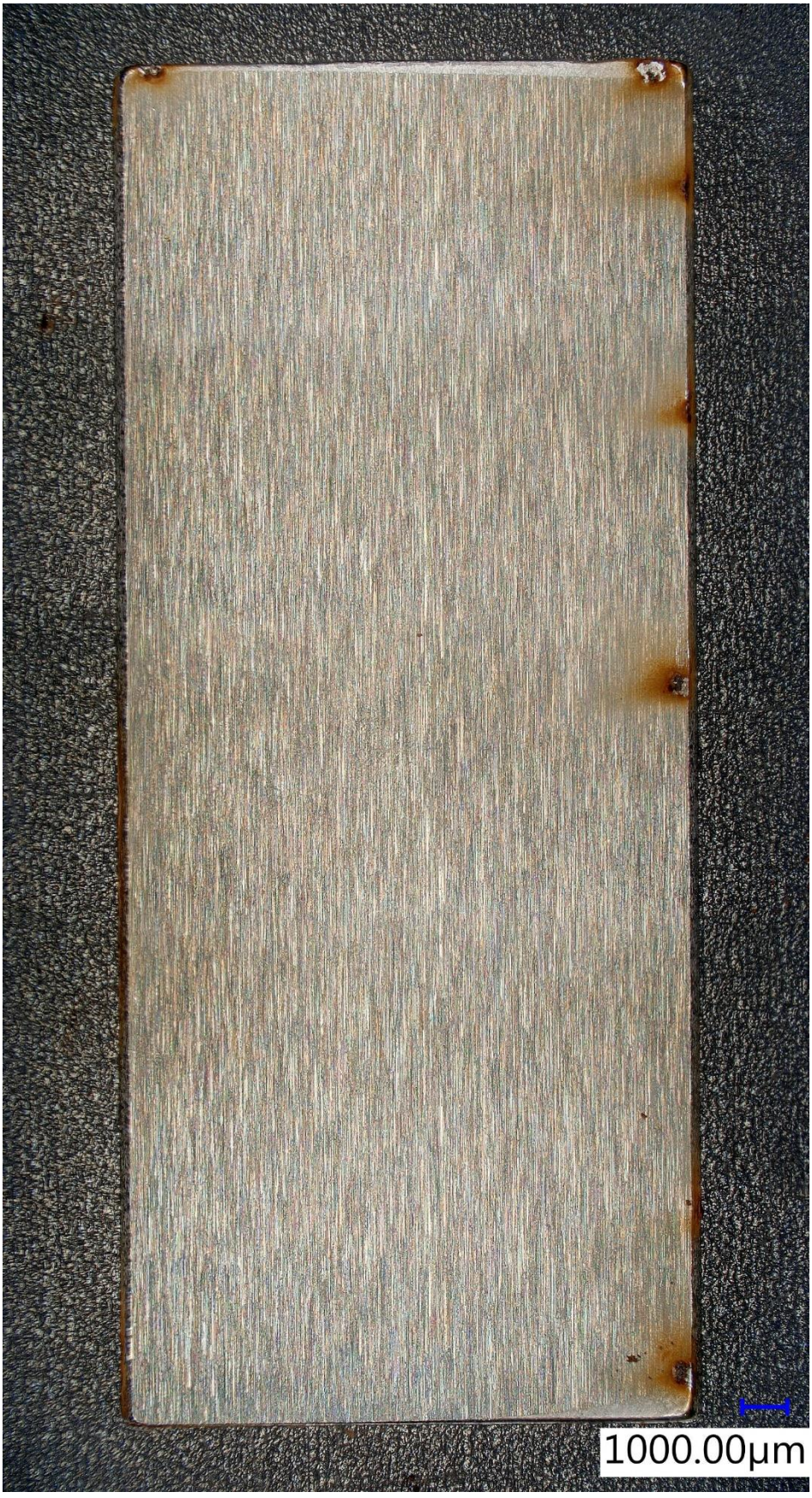
Obrázek 17 kupón č. 1063 při 60 °C, 336 H



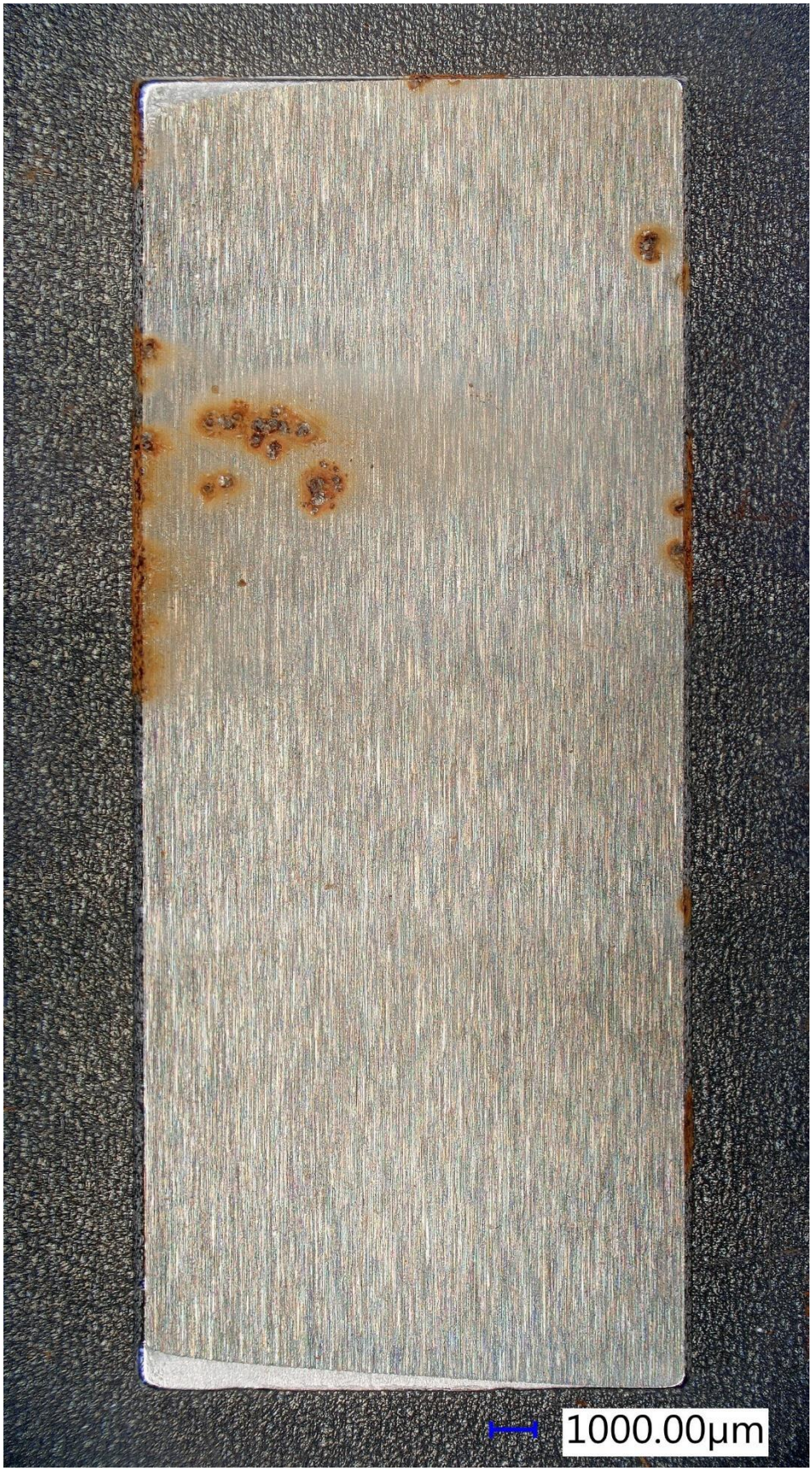
Obrázek 18 kupón č. 1064 při 60 °C, 336 H



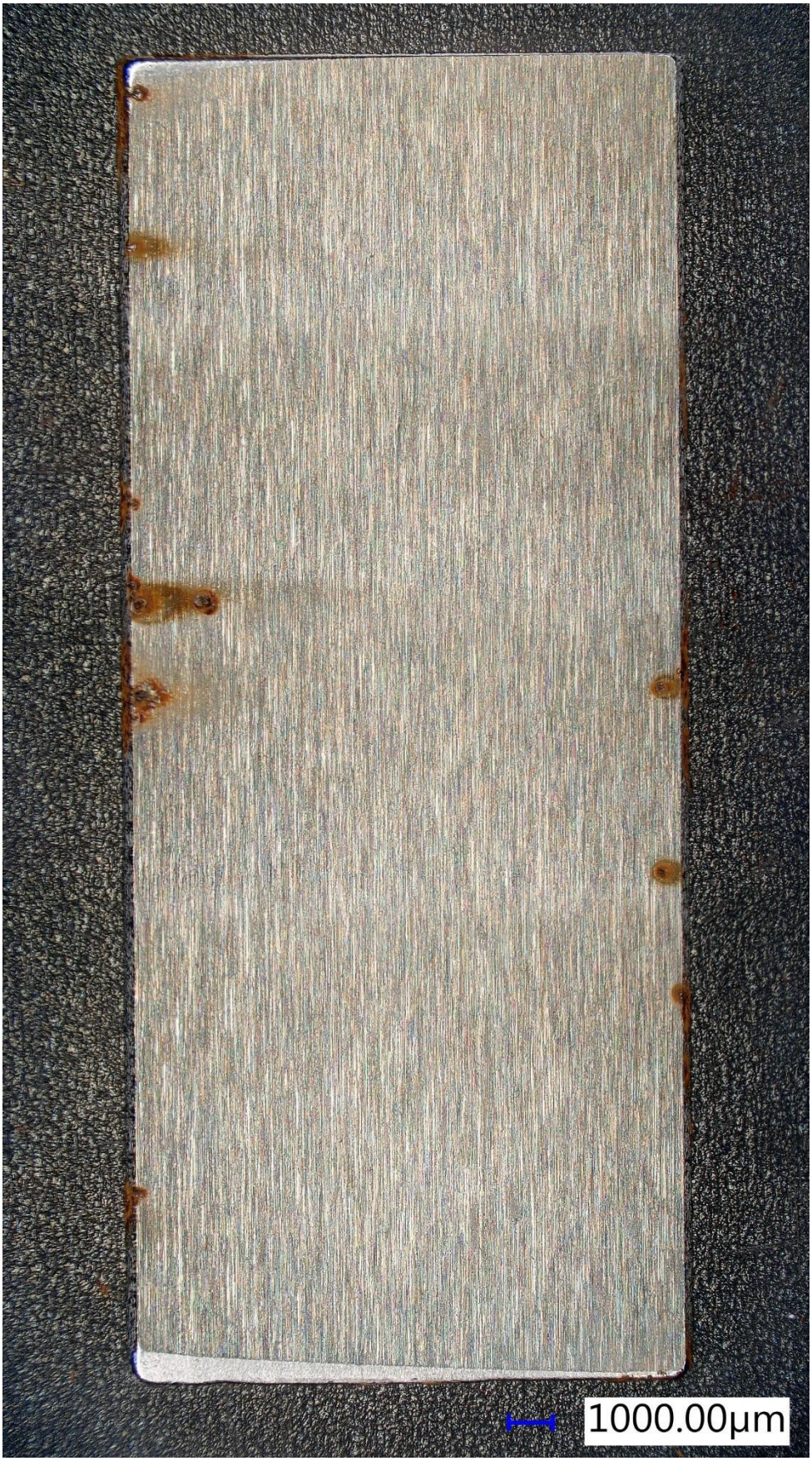
Obrázek 19 kupón č. 1060 při 25 °C, 504 H



Obrázek 20 kupón č. 1069 při 25 °C, 504 H



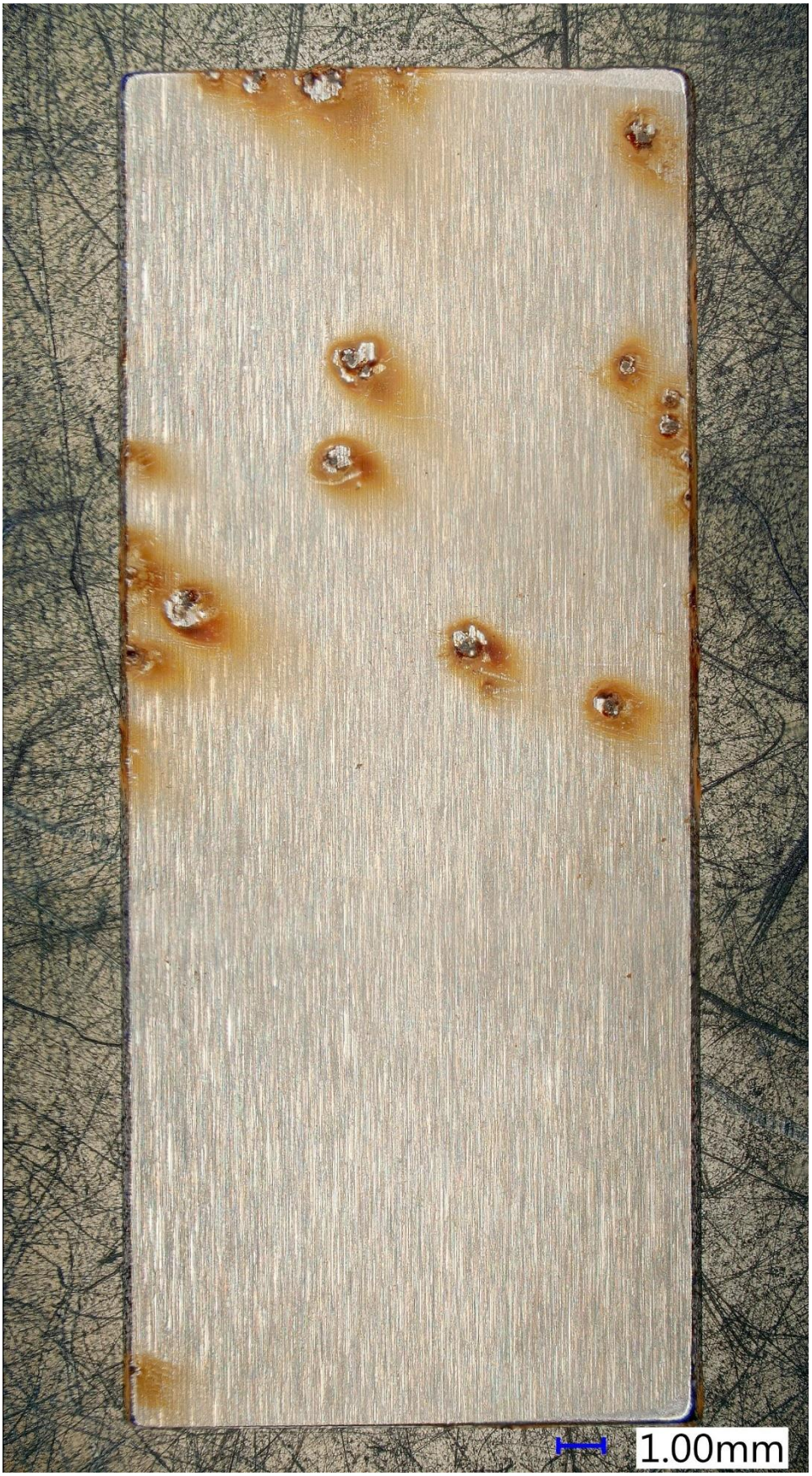
Obrázek 21 kupón č. 1106 při 40 °C, 504 H



Obrázek 22 kupón č. 1107 při 40 °C, 504 H

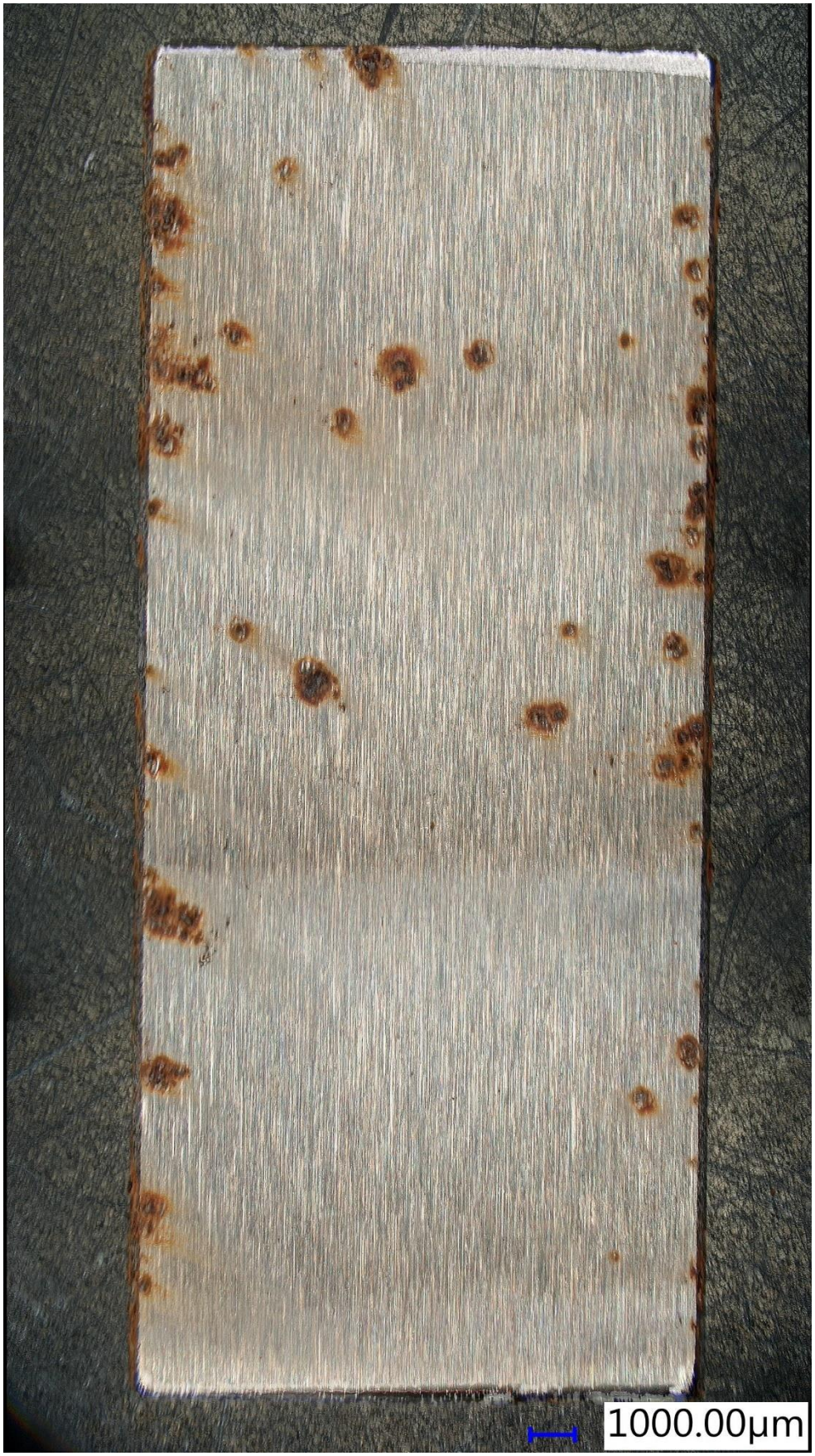
Obrázek 23 kupón č. 1065 při 60 °C, 504 H

Obrázek 24 kupón č. 1066 při 60 °C, 504 H

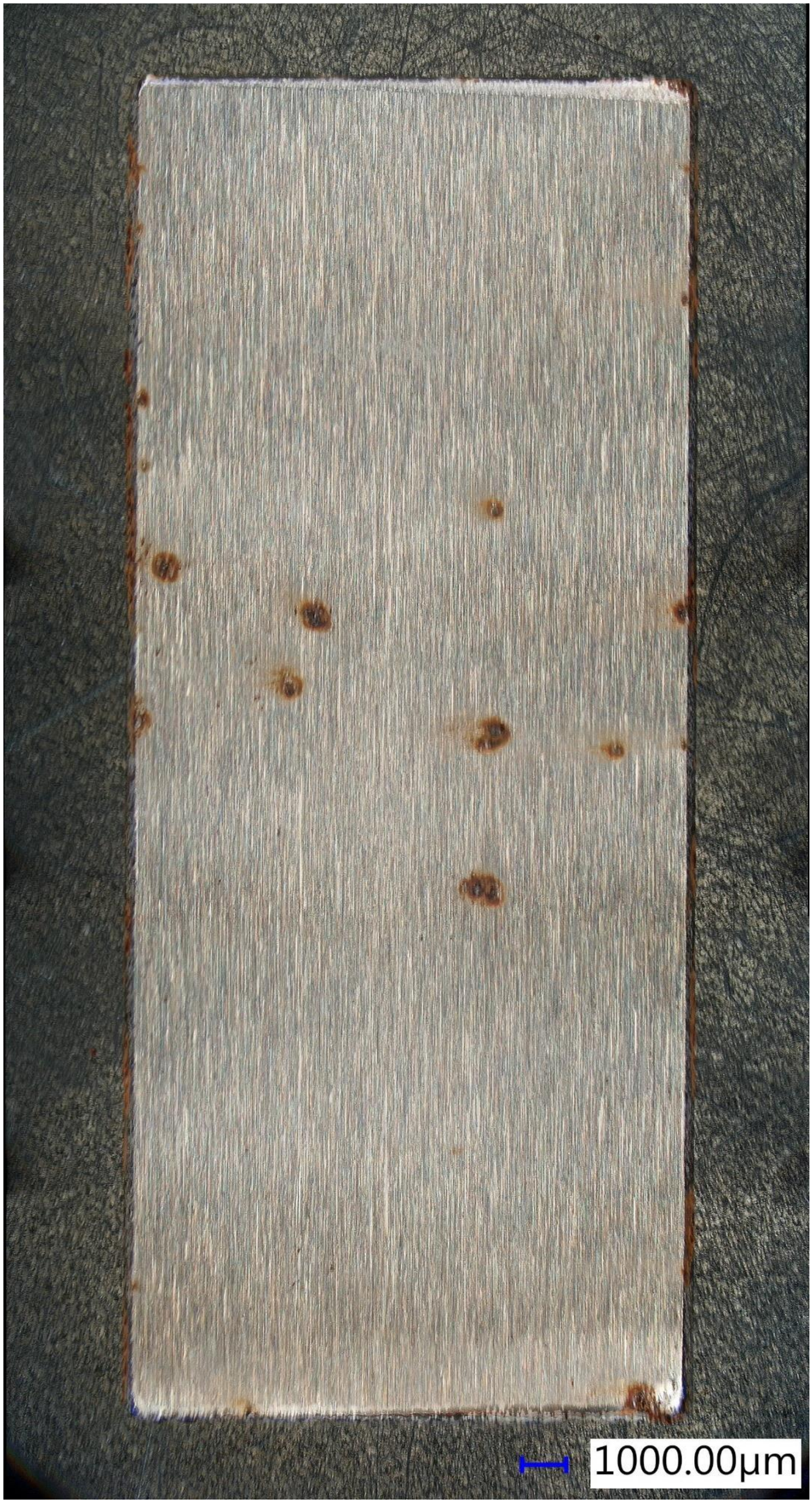


Obrázek 25 kupón č. 998 při 25 °C, 672 H

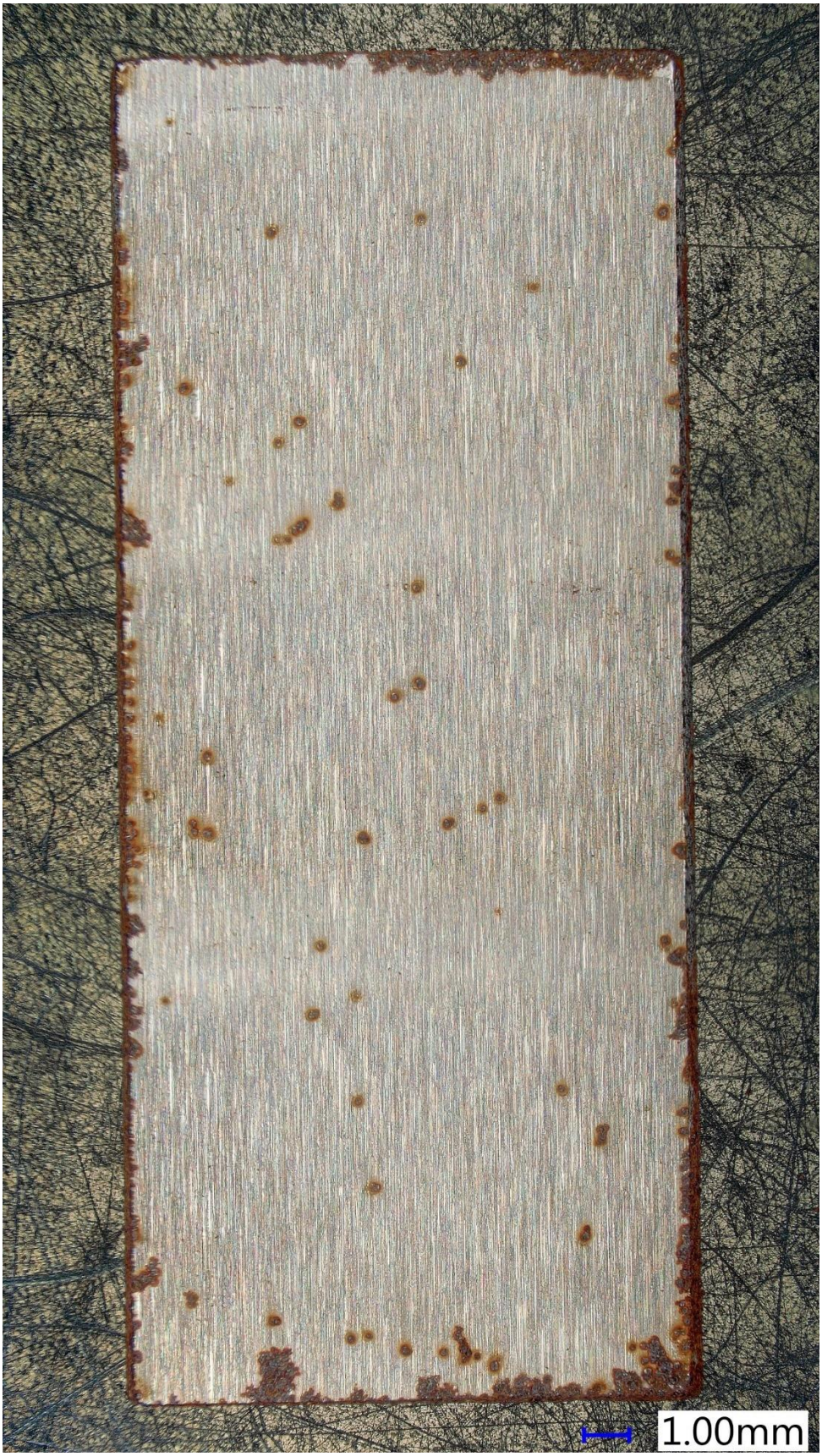
Obrázek 26 kupón č. 999 při 25 °C, 672 H



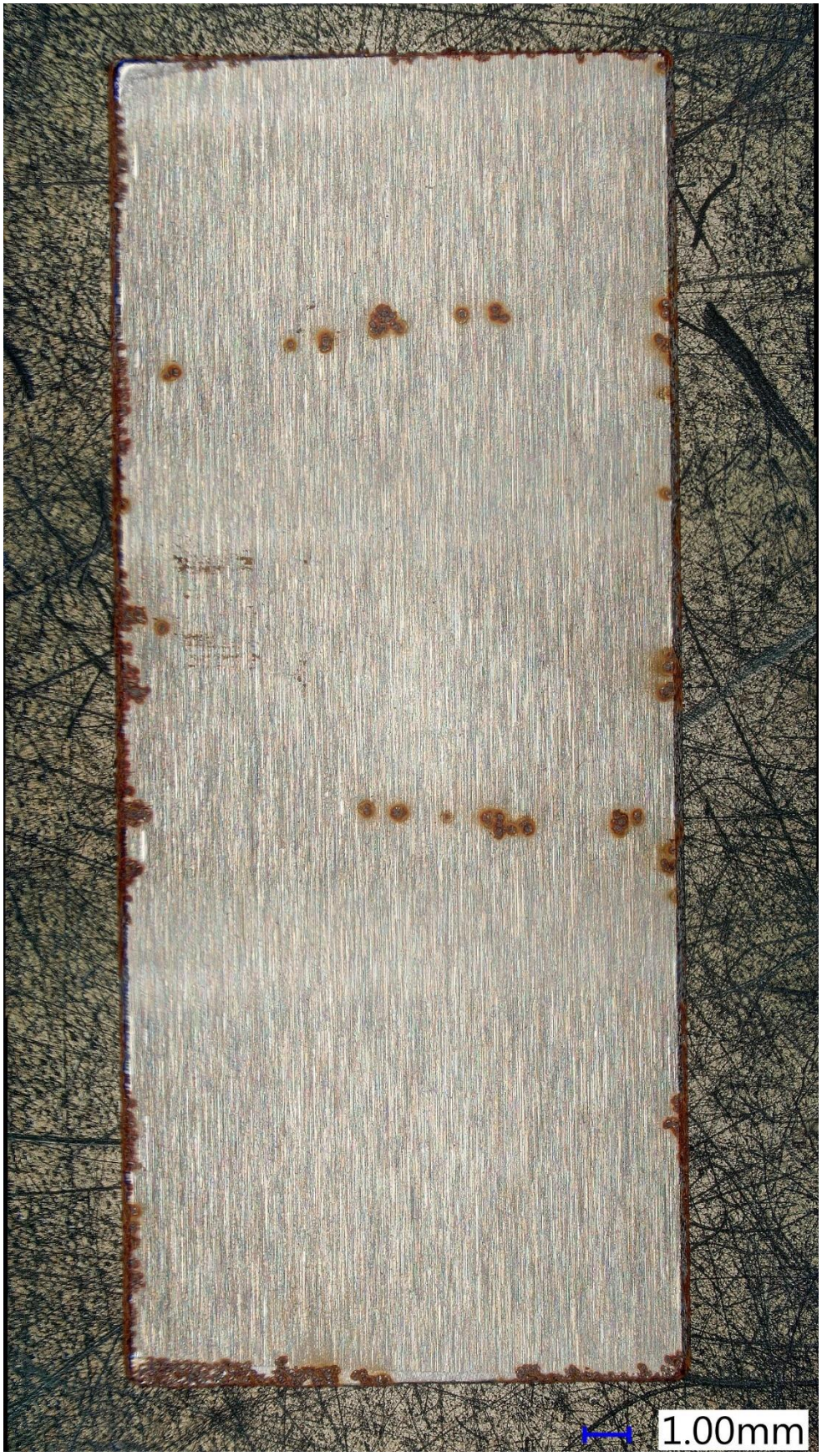
Obrázek 27 kupón č. 1108 při 40 °C, 672 H



Obrázek 28 kupón č. 1109 při 40 °C, 672 H



Obrázek 29 kupón č. 1067 při 60 °C, 672 H



Obrázek 30 kupón č. 1068 při 60 °C, 672 H

Obrázek 32 Hřebíky ve slaném roztoku (den první)

Obrázek 31 Hřebíky ve slaném roztoku (po týdnu)

Obrázek 33 Hřebíky ve slaném roztoku (po dvou týdnech)

Obrázek 34 Hřebíky před očištěním kyselinou citronovou