

Vysoká škola technická a ekonomická

v Českých Budějovicích

Bakalářská práce

Patrik Šejnoha

2016

Vysoká škola technická a ekonomická

**Galvanické zinkování jako
protikorozní ochrana strojírenských
dílů vyrobených z oceli**

Autor bakalářské práce: Patrik Šejnoha

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Viktorie Weiss, Ph.D.

České Budějovice, duben 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval/a samostatně pouze s použitím uvedených zdrojů.

V Českých Budějovicích 21. 4. 2016

.....
vlastnoruční podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Viktorii Weiss, Ph.D. za poskytování cenných a konstruktivních rad, za podporu, podnětné a odborné komentáře a za celkové vedení mé práce. Dále bych rád poděkoval mé přítelkyni a její mamince JUDr. Haně Vendlové za poskytování zpětné vazby k mé práci. V neposlední řadě bych však rád poděkoval těm, kteří mi s realizováním této práce jakkoli pomáhali.

Abstrakt

Tématem této bakalářské práce je galvanické zinkování jako protikorozní ochrana strojírenských dílů vyrobených z oceli. Hlavním cílem práce bylo seznámit se s technologií galvanického zinkování, určit vhodnost použití této technologie pro ve strojírenství nejčastěji používaný materiál – ocel a určit základní parametry, které tuto technologii ovlivňují.

Celá práce je rozdělena na část teoretickou a část aplikační. Teoretická část se nejprve zabývá pojmy koroze a protikorozní ochrana, dále je věnována pozornost konkrétně technologii galvanického zinkování. V aplikační části je realizována experimentální zkouška u galvanicky zinkovaných vzorků technologií slabě kyselou a alkalickou bezkyanidovou lázní. Prováděné zkoušky poukázaly na hlavní parametry, které tyto technologie ovlivňují. Vzorky byly testovány na tloušťku a následně na mechanické namáhání. Poté proběhla hlavní zkouška v umělé atmosféře, která stimulovala korozní prostředí. Výsledky zkoušek pro jednotlivé technologie byly vyhodnoceny a na základě získaných poznatků byly následně vyvozeny závěry.

Klíčová slova

galvanické zinkování, koroze, protikorozní ochrana, korozní zkouška

Abstract

The theme of this thesis is galvanizing as corrosion protection of mechanical parts made from steel. The main goal of the work was to get acquainted with galvanizing technology, to determine the suitability of this technology for the most commonly used engineering material - steel and determine the basic parameters that affect this technology.

The work is divided into theoretical and practical part. The theoretical part first discusses the concepts of corrosion and corrosion protection, also pays attention to technology galvanizing process. There is an experimental test executed in the application part performed with electro-galvanized samples technologies weakly acidic and alkaline cyanide-free bath. The tests identified the main parameters that influence these technologies. The samples were tested for thickness and then to mechanical stress. After that was a major test in artificial atmosphere that stimulated corrosive environments. The test results for each technology were evaluated and the outcomes were subsequently deducted from the information obtained.

Key Words

galvanizing, corrosion , corrosion protection, corrosion test

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Teoreticko-metodologická část	3
3.1	Literární řešerše.....	3
4	Koroze	4
4.1	Druhy koroze.....	4
4.1.1	Druhy koroze podle mechanismu	5
4.2	Ochrana materiálu proti korozi	6
4.2.1	Úprava korozního prostředí	6
4.2.2	Vhodný konstrukční materiál.....	8
4.2.3	Použití nekovových nebo kovových ochranných povlaků	9
5	Technologie galvanického zinkování	10
5.1	Povrchové úpravy kovů.....	10
5.1.1	Rozdělení povrchových úprav	11
5.2	Předběžné úpravy povrchů	11
5.2.1	Mechanické úpravy povrchu.....	11
5.2.2	Chemické úpravy povrchu	15
6	Galvanické zinkování	21
6.1	Galvanické povlakování.....	21
6.2	Faradayovy zákony	22
6.3	Proudový výtěžek.....	23
6.4	Proces polarizace elektrod.....	24
6.5	Svorkové napětí a hloubková účinnost	24
6.6	Lázně pro galvanické zinkování.....	25
6.6.1	Typy galvanických lázní	25
6.7	Hullova zkouška	27

7	Výzkumný problém	28
8	Metodika práce	29
9	Aplikační část a diskuse výsledků	33
9.1	Aplikační část	33
9.2	Experimentální zkoušky	33
10	Výsledky jednotlivých zkoušek	35
10.1.1	Zkouška tloušťky povlaku	35
10.1.2	Zkouška hloubením	35
10.1.3	Ohybová zkouška přes válcový trn	37
10.1.4	Zkouška v solné mlze	39
11	Diskuse výsledků	45
12	Závěr	47
13	Seznam zdrojů	49
14	Seznam použitých norem	51
15	Seznam tabulek popř. obrázků a grafů	52

1 Úvod

Za téma své bakalářské práce jsem si zvolil Galvanické zinkování jako protikorozi ochrana strojírenských dílů vyrobených z oceli. Touto problematikou jsem se rozhodl zabývat z důvodu, že galvanické zinkování je jedna z možností protikorozi ochrany a zabývání se tím, jak chránit materiál proti korozi je ve strojírenství zásadní otázkou. Výzkumů zaměřených na toto téma je doposud nedostatek a budeme-li hledat patřičnou odbornou literaturu věnující se dané problematice, narazíme rovněž na malé množství knih či skript, které jsou navíc povětšinou poměrně staršího vydání. Tato práce přiblíží nejen téma koroze a protikorozi ochrany v obecné rovině, ale konkrétně se zaměří na technologii galvanického zinkování a na získání poznatků užitečných pro strojírenskou praxi.

V teoretické části bude nejprve věnována pozornost pojmům koroze a protikorozi ochrana. Další kapitoly se pak budou zabývat komplexně technologií galvanického zinkování. V aplikační části práce bude realizována experimentální zkouška u galvanicky zinkovaných vzorků technologií slabě kyselou a alkalickou bezkvanidovou lázní. Dále pro porovnání technologií budou do testování zařazeny i metalizované a žárově pozinkované vzorky suchým způsobem. Zkoušky by měly poukázat na hlavní parametry, které tyto technologie, přesněji tedy technologii galvanického zinkování, ovlivňují. Vzorky budou testovány na jejich tloušťku a následně budou podrobeny zkouškám na mechanické namáhání. Hlavní zkouška v umělé atmosféře má za cíl stimulovat korozi prostředí, respektive vyvolat korozi u vzorků po mechanickém namáhání. Výsledky zkoušek pro jednotlivé technologie budou vyhodnoceny a na základě získaných poznatků budou následně vyvozeny závěry.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je přiblížit téma koroze a protikorozi ochrany a následně se konkrétně zabývat technologií galvanického zinkování, v rámci aplikační části realizovat experimentální zkoušku u galvanicky zinkovaných vzorků dvěma technologiemi – slabě kyselou a alkalickou bezkyanidovou lázní a u pro srovnání metalizovaných a zároveň pozinkovaných vzorků suchým způsobem, dále pak poukázat na hlavní parametry, jež tyto technologie mohou ovlivnit a určit vhodnost použití této technologie pro ve strojírenství nejčastěji používaný materiál – ocel.

3 Teoreticko-metodologická část

3.1 Literární rešerše

K danému tématu jsem nastudoval veškerou dostupnou literaturu, skripta, odborné články a diplomové práce, z nichž jsem čerpal pro svou teoretickou část bakalářské práce. Mezi významné publikace zabývající se touto problematikou, z nichž jsem například vycházel, patří kniha R. Bartoníčka (1980), který se v ní věnuje korozi a ochraně materiálů a navrhování protikorozní ochrany. Z využitých skript mohu například zmínit publikaci M. Mohyla (1995), který se v ní zabývá rovněž technologií povrchových úprav kovů a část věnuje i přímo galvanickému zinkování. Cenným a nejnovějším zdrojem poznatků pro mne rovněž byly velmi srozumitelně a přehledně napsaná skripta V. Krause (2000). Experimentálně se obdobnému tématu věnuje diplomová práce P. Pávka (2013), jež byla obhájena na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně a diplomová práce T. Marka (2011), která byla vypracována na Mendelově univerzitě v Brně.

4 Koroze

Korozi můžeme definovat jako samovolně probíhající nevratný proces znehodnocování materiálu, který je způsoben vlivem prostředí. Jde o souhrn fyzikálně-chemických dějů, které v jejich konečném důsledku, ať už úplně nebo částečně, poškozují materiál. Tento jev (koroze) se netýká jen kovů a jejich slitin, ale i plastické, keramické, sklovité a silikátové hmoty a jiných materiálů. (Mohyla 1994)

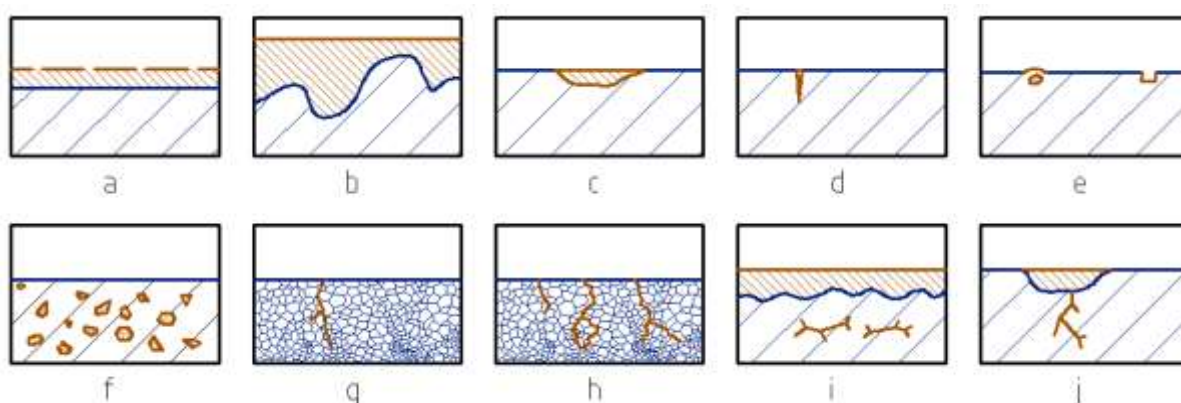
Veškeré stavby, konstrukce, zařízení, stroje a jiné předměty jsou vystaveny působení prostředí. Na materiálu, ze kterého jsou zhotoveny, se pak časem projeví účinky koroze, a tím pádem klesají funkční vlastnosti celé konstrukce. (Bartoníček 1980)

Poškození materiálu podle Krause (2000) a Ptáčka (2003) nemusí být vždy jednotvárné a stejného charakteru. Může se jednat o změnu vzhledu součásti až po úplné narušení celistvosti. Koroze se projevuje dvěma způsoby, buď jako úbytek materiálu nebo jako poškození struktury. Projevy koroze dělíme na zjevné a nezjevné. Úbytek materiálu pak řadíme do skupiny zjevných projevů, oproti tomu narušení celistvosti (ztráta tažnosti, pevnosti, vznik mikrotrhlin), které způsobuje např. korozní praskání, spadá do skupiny projevů nezjevných.

4.1 Druhy koroze

Korozi můžeme například rozdělit podle mechanismu, vzhledu, podle rozhodujícího korozního činitele a podle prostředí. Podle mechanismu můžeme korozi rozdělit na korozi chemickou a elektrochemickou. Dále se koroze, jak již bylo zmíněno, dělí podle vzhledu na korozi rovnoměrnou a korozi nerovnoměrnou. V neposlední řadě můžeme korozi rozdělit podle rozhodujícího korozního činitele, jednou ze vzniklých kategorií je koroze při napětí a druhou koroze za únavy materiálu. Dělíme-li korozi podle prostředí, jedná se o korozi v atmosféře, korozi ve vodě, korozi v plynech a korozi v půdě. Některé z uvedených druhů koroze a další možné můžeme názorně vidět na obrázku č. 1. (Sedláček, 1992)

Obrázek č. 1 Některé druhy korozního napadení



Zdroj: Kraus, 2000, s. 18

a - rovnoměrné, b - nerovnoměrné, c - důlkové, d - bodové, e, f - podpovrchové,
g - mezikrystalové, h - transkrystalové, i - extrakční, j - korozní trhliny

4.1.1 Druhy koroze podle mechanismu

4.1.1.1 Chemická koroze

Prvním typem koroze podle mechanismu je chemická koroze. Základní chemická reakce, ke které v rámci této koroze dochází, je podle Mohyla (1995) oxidace, kdy na povrchu materiálu vzniká vrstva oxidů. Při dlouhodobém působení prostředí na součást může dojít až k rozrušení celého materiálu. K tomuto dochází ve chvíli, kdy je vrstva oxidů pórovitá nebo lehce odpadá. Na druhou stranu, je-li vrstva ucelená, nepropustná a přilnavá k povrchu, chemická reakce je zpomalena nebo se v lepším případě úplně zastaví.

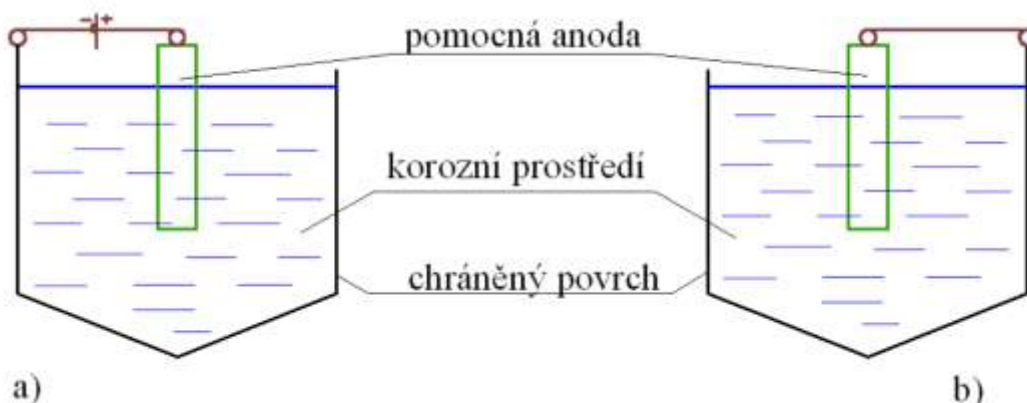
4.1.1.2 Elektrochemická koroze

Druhým typem koroze podle mechanismu je, jak již bylo uvedeno výše, elektrochemická koroze. Mohyla (1995) uvádí, že při elektrochemické korozi dochází ke styku materiálu s elektricky vodivým prostředím. V rámci elektrochemické koroze nastávají změny související s přenosem elektrického náboje. Dochází k tomu v prostředí, kde se nalézají kapalně roztoky kyselin a zásad solí, které jsou rozpuštěné ve vodě.

U elektrochemické koroze je tomu podobně jako u galvanického článku, kde probíhá koroze katodovou a anodovou reakcí. Reakce anody působí jako oxidace kovu. Anodická reakce způsobuje přecházení iontů kovu z anody do elektrolytu, přičemž elektrony zůstávají v kovu. Tento druh koroze, stejně jako anodickou reakci, můžeme zpomalit polarizací. Katodová reakce

pak spotřebovává elektrony prostřednictvím vybíjení iontů vodíku či redukci kyslíku rozpuštěného v elektrolytu. (Pilous, 2008)

Obrázek č. 2 Schéma katodické ochrany



Zdroj: Beránek, 2013, s. 21

a) s vnějším zdrojem proudu, b) obětovanými anodami

4.2 Ochrana materiálu proti korozi

Materiál musíme před korozi chránit, aby po dobu používání součásti nedocházelo ke zhoršování její funkce. (Bartoníček, 1980) Korozi lze zabránit nebo ji případně zpomalit díky základním poznatkům o mechanismu a kinetice. Prostřednictvím těchto poznatků můžeme zvýšit životnost výrobku. Určité požadované ochrany můžeme podle Krause (2000) dosáhnout pomocí úpravy korozního prostředí odstraněním složky způsobující korozi, dále pak elektrochemickou ochranou kovového povrchu, vhodným konstrukčním materiálem a použitím nekovových nebo kovových povlaků.

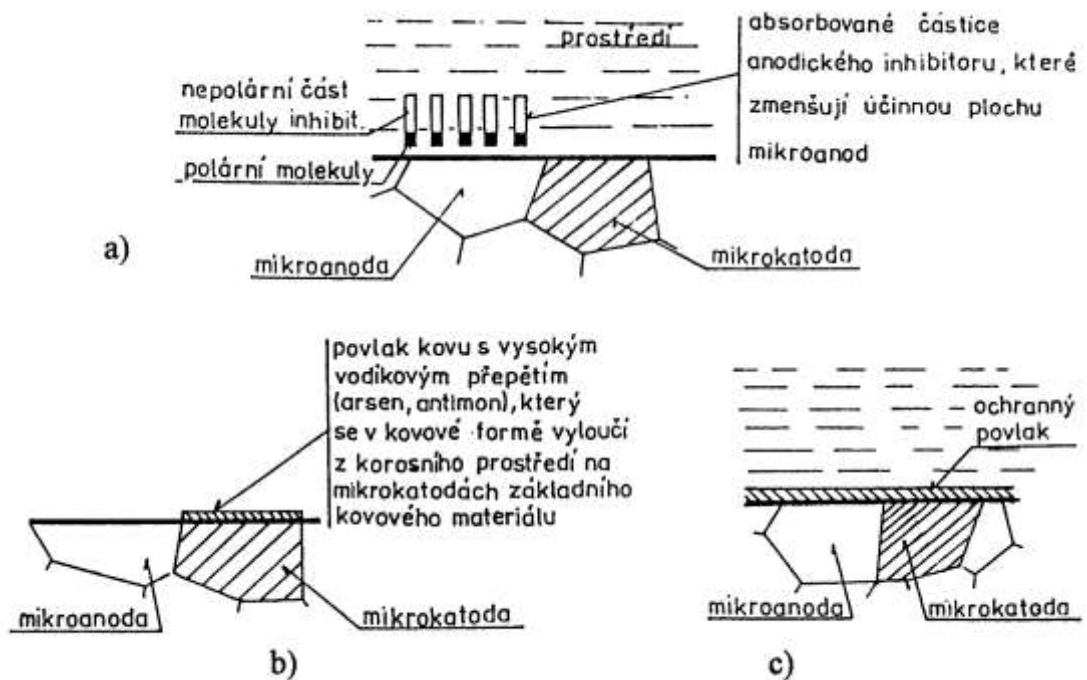
4.2.1 Úprava korozního prostředí

Podle Krause (2000) v tomto druhu ochrany jde hlavně o vlastnosti prostředí, ve kterém se materiál nachází a které na součást působí. V každém prostředí se nalézá určitý činitel, jenž svými vlastnostmi ovlivňuje agresivitu prostředí, které následně působí na materiál. Pokud víme, jací činitelé záporně narušují dané prostředí, pak můžeme toto prostředí upravit. Tyto úpravy lze realizovat buď odstraněním činitelů záporně působících na prostředí, nebo ovlivněním prostředí látkami, které zabraňují porušování. První způsob, tedy odstranění činitelů, můžeme brát jako základní možnost zmírnění koroze. Příklad tohoto procesu je

následující: zbavíme-li se kyslíku v roztoku, tak zmenšíme reakci a docílíme snížení oxidační mohutnosti, tudíž koroze postupuje pomaleji. Na tomto principu je založeno např. odkysličení úpravy vody pro cirkulační systémy nebo změna parciálního tlaku kyslíku v ochranné atmosféře pro žíhání kovů. Dále se tento princip využívá také ve skladech, kde se chceme zbavit vlhkosti a rovněž v baleních kovových výrobků. (Bartoníček, 1980)

Druhou zmiňovanou možností úpravy korozního prostředí je ovlivnění prostředí látkami, které zabraňují porušování. Tyto látky mají podobu inhibitorů. Jde o látky, jež v malém množství umožňují chránit povrch kovu proti nežádoucímu prostředí tím, že se změny vlastnosti ve fázovém pásmu mezi kovem a prostředím. Při tomto procesu ochrany kovu vzniká na povrchu kovu tenký film prvků a jejich sloučenin, které svými fyzikálně-chemickými vlastnostmi snižují rychlost koroze. Schéma funkce různých inhibitorů můžeme vidět na obrázku č. 3. (Marek, 2011)

Obrázek č. 3 Schéma funkce různých inhibitorů



Zdroj: Kraus, 2000, s. 41

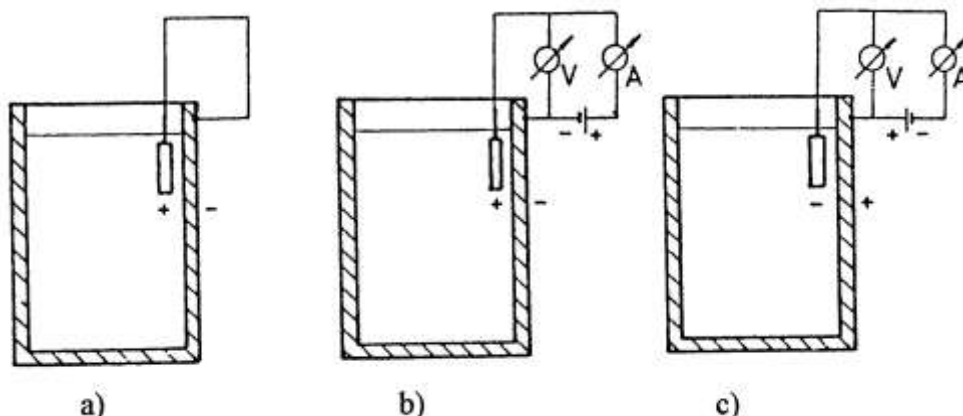
a- s anodickou účinností, b- s katodickou účinností, c- vytvářející povlak

Elektrochemická ochrana kovového povrchu

U tohoto druhu ochrany rozlišujeme dva základní typy, a to: katodickou a anodickou ochranu. Při elektrochemické korozi je podmínkou vytvoření korozního článku, kdy dochází u anody

k jejímu rozpouštění. Naopak katoda se nerozpouští a částečně funguje jako ochrana před korozi. (Mohyla, 1995)

Obrázek č. 4 Schéma principů elektrochemické ochrany



Zdroj: Kraus, 2000, s. 50

- a- katodická ochrana obětovanou anodou, b- katodová ochrana vnějším zdrojem proudu, c- anodická ochrana

Katodické ochrany lze dosáhnout dvěma způsoby, buď tím, že obětujeme anodu nebo tím, že využijeme vnější zdroj. Obětovaná anoda je spojena vodivě s chráněným povrchem, vytváří vlastní anodickou reakcí nezbytný polarizační proud a napětí a zastaví rozpouštění katodického kovu. Anodickou ochranou se obnovuje napadená a porušená vrstva koroze v určitém prostředí. Tato ochrana je podobná katodické v tom, že se provádí polarizace společně se spojením s některým z ušlechtilých kovů. Druhou možností je zapojit chráněný kov jako anodu, a tím z chráněného kovu udělat kov pasivní. V pasivním stavu je totiž kov mnohem lépe chráněn než ve stavu aktivním. Tyto druhy ochrany jsou však pouze dočasné, a to proto, že se před jejich použitím ochrana odstraní. (Pilous, 2008)

Pojem dočasné ochrany zahrnuje ochranu strojírenských výrobků během skladování a přepravy. Dočasná se nazývá proto, že před použitím výrobku se většinou prostředek dočasné ochrany odstraní. Dočasná ochrana zahrnuje: čištění, konzervaci, balení. (Kraus, 2000)

4.2.2 Vhodný konstrukční materiál

Při výběru konstrukčního materiálu bychom podle Mohyla (1995) měli brát v potaz nejvyšší teplotu, ve které materiál pracuje, obsah prostředí a soustředění agresivních prvků, dále pak to,

jaké má prostředí mechanické působení, spojení vodivých odolných materiálů, vnitřní pnutí materiálu a obecné namáhání, chvění, nárazy a podobně.

Podle Krause (2000) je zapotřebí znát korozní odolnost, jež se posuzuje podle druhu kovu, prostředí a fyzikálních podmínek. Při volbě materiálu kovu musíme dbát na termodynamickou stálost, což je schopnost kovu bránit se přeměně na jeho sloučeniny. Dále si musíme dávat pozor na schopnost snadné a účinné pasivace - na vytvoření odolného stavu proti účinkům prostředí. K tomuto účelu se využívají termodynamické nestálé kovy, které dokážou v oxidačním prostředí dosáhnout pasivního stavu vlivem oxidační vrstvy. Dalším kritériem, na které musíme dbát, je stupeň chemické čistoty – tento stupeň působí na odolnost proti korozi a na schopnost vytvářet stabilní korozní vrstvy.

Ve většině případů se při výběru materiálu hledí hlavně na ekonomický aspekt. V případě dobré znalosti protikorozní ochrany můžeme docílit toho, že nemusíme koupit ten nejdražší materiál, ale postačí nám levnější s dobrou ochranou proti korozi.

4.2.3 Použití nekovových nebo kovových ochranných povlaků

Tuto metodu lze považovat jako nepoužívanější protikorozní ochranu, při které materiál mění své povrchové vlastnosti a zároveň i vzhled. Pro splnění velkých nároků na tuto technologii se používá hlavně pasivní způsob ochrany pomocí povlaků. Hlavním požadavkem na tyto povlaky je funkčnost po celou životnost výrobku. Aby tento požadavek mohl být splněn, je zapotřebí dodržovat stanovené optimalizační zásady. Optimalizační zásady vycházejí ze znalosti kineticky korozních dějů a mechanismu ochranné funkce celé protikorozní ochrany. Za optimální povlak považujeme ten, který bude splňovat všechny požadavky, a přitom bude minimálně nákladný. (Mohyla, 1995)

5 Technologie galvanického zinkování

Součásti respektive jejich povrch vyhrazený pro galvanické zinkování je ve velké míře skoro vždy nevhodný k přímé aplikaci povlaku. Zapříčiňují to hlavně nečistoty, různé stopy po olejích, okuje či koroze na povrchu dané součásti. Tyto nepříznivé jevy je zapotřebí odstranit, aby bylo možné vytvořit zinkový povlak, který by měl dobrou přilnavost k povrchu základního materiálu sledem několika technologických operací, jako jsou odmašťování, moření a elektrolytické odmaštění. Veškeré tyto potřebné technologie budou přiblíženy v následujících kapitolách. V některých případech je zapotřebí před tyto operace zařadit mechanické opracování povrchu, jemuž bude věnován rovněž prostor v jedné z dalších částí. Nevznikne-li za pomoci těchto technologií povrch se splňující jakostí a kvalitou, není možné dosáhnout kvalitního zinkového povlaku. Daný povlak by se v tomto případě loupal a měl špatnou přilnavost, nerovnoměrnou tloušťku, vzhledové vady a s tím související sníženou korozní odolnost. Po nanesení zinkového povlaku následují další operace, které mají za účel zvýšit korozní odolnost. (Ostroj, 2012)

Obrázek č. 5 Zinkovací linka



Zdroj: OSTROJ a.s. - Galvanické lázně

5.1 Povrchové úpravy kovů

Povrchové úpravy se provádějí technologickým procesem, díky němuž materiál nabývá lepších vlastností. Jednou z těchto vlastností, u níž dochází ke zlepšení, je pro nás stěžejní - odolnost proti korozi.

Povrchovou úpravou získáme změnu mikrogeometrie povrchu, úpravu struktury povrchu a také umělé vytvoření nové vrstvy povrchu, která má rozdílné fyzikální vlastnosti a chemické složení. (Machová, 1974)

5.1.1 Rozdělení povrchových úprav

Povrchové úpravy dělíme podle účelu na předběžné úpravy a čištění, na povrchové úpravy, které zvyšují protikorozi odolnost, na povrchové úpravy, díky nimž dosahujeme požadovaného designu a rovněž na povrchové úpravy, jež slouží k vytvoření specifických vlastností povrchu.

Dále lze povrchové úpravy rozčlenit i podle charakteru vytvoření povrchové vrstvy na anorganické a organické. Mezi anorganické řadíme kovové, oxidické a keramické vrstvy. Pod organické úpravy pak spadají nátěrové, plastové a conservační vrstvy.

Rovněž můžeme povrchové úpravy členit podle druhu vytvoření povrchové vrstvy. Tyto vrstvy lze vytvořit pomocí chemických reakcí, galvanickými elektrochemickými procesy, pomocí difúze, vakua, chemicko-tepelným zpracováním, dále pak také máčením, stříkáním, poléváním a plátováním. (Kreibich, 1992); (Machová, 1974)

5.2 Předběžné úpravy povrchů

„Vhodnou přípravou povrchu zajišťujeme dostatečnou přilnavost konečných povlaků, stejnoměrný vzhled výsledné úpravy i její dobrou odolnost proti korozi nebo opotřebení. Úprava povrchu je obvykle dvoustupňová a rozděluje se na dvě základní skupiny pracovních operací: mechanické úpravy povrchu a chemické úpravy povrchu.“ (Kraus, 2000) Základní požadavky na předběžnou úpravu jsou příprava dané mikrogeometrie a kvality povrchu a dodržení požadované čistoty povrchu. Tyto předběžné úpravy ve své podstatě většinou rozhodují o tom, jestli následující práce budou zdařilé či nezdařilé. Předběžné úpravy povrchu mohou být v některých případech i konečné. (Kraus, 2000)

5.2.1 Mechanické úpravy povrchu

Předběžné mechanické úpravy neslouží přímo k tomu, aby bylo dosaženo přesného výkresového tvaru, ale abychom dosáhli určité jakosti a kvality povrchu. Hlavní účely mechanických úprav jsou očistit povrch od nečistot, zajistit podmínky pro vyhovující přilnavost následujících vrstev, vytvořit podmínky pro zvýšení odolnosti proti korozi a opotřebení, dále pak

vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům a v neposlední řadě zlepšit mechanické vlastnosti povrchu. (Kreibich, 1992)

Mezi nejrozšířenější možnosti mechanických úprav patří broušení, leštění a kartáčování. Výše uvedené technologie úprav povrchu se provádějí jako konečné. Broušení a leštění se ve své podstatě provádí hlavně kvůli tomu, aby byl povrch sjednocen, zbaven veškerých nerovností, a tím byla splněna jakost povrchu. Nicméně tyto operace jsou takřka nejvíce finančně náročné, co se týče mechanických úprav, a proto se používají hlavně u součástí s velkým nárokem na jakost povrchu. (Kraus, 2000); (Machová, 1974)

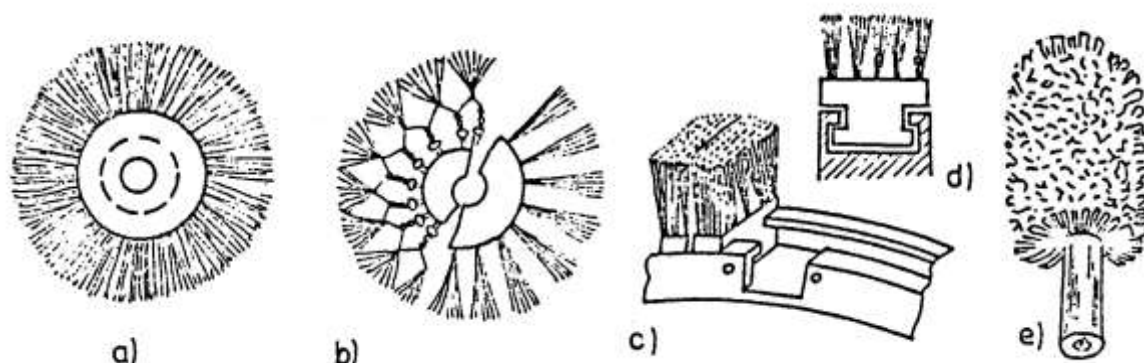
K provedení technologie broušení se využívají brusné kotouče nebo pásy, které na jejich povrchu mají nalepený brusný segment. U broušení obecně platí, že čím je tvar součásti složitější, tím měkčí kotouč používáme. V této technologii se také setkáváme s pojmem „jemnost plstě“. Například plstěné kotouče můžeme používat jako podložkové kotouče pásů nebo vyloženě k broušení s nalepeným brusivem. Rozměry neboli jemnost této plstě a zrnitost určuje norma ČSN 22 4804.

Technologie broušení a leštění

U broušení se volí postup podle povrchu a postupuje se od hrubšího brusiva až k nejjemnějšímu. K odstranění větších a středních nerovností se používá hrubování a hlazení. U ocelí před galvanickými povlaky se používá jemné hlazení, aby se dosáhlo vyrovnání nerovností povrchu. Po broušení, jako konečné operaci, se provádí leštění, kterým dosahujeme předepsané jakosti. Leštění je rovněž prováděno u galvanických povlaků, aby povrch dostal lesk.

K odstranění hrubých nečistot (např. rzi či starého nátěru) se používá kartáčování, přičemž hlavním využívaným nástrojem bývají kartáče s ocelovými dráty. Jednotlivé kartáče, které jsou používány, můžeme názorně vidět na obrázku č. 6. Kartáčování rovněž slouží ke zjemňování upravovaného povrchu před leštěním. (Mohyla, 1995)

Obrázek č. 6 Druhy kartáčů



Zdroj: Kraus, 2000, s. 54

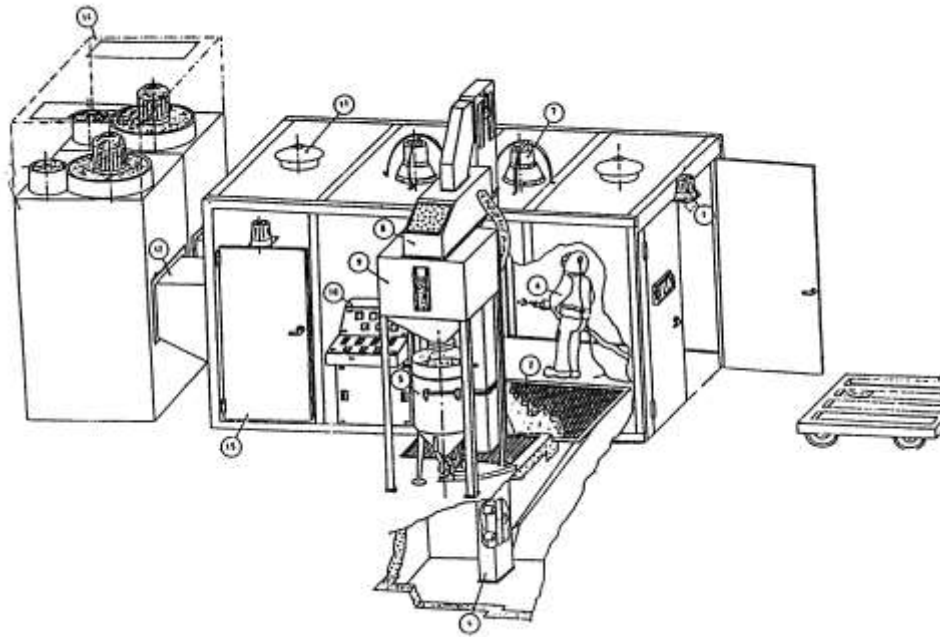
a- fíbrový, b- drátěný s polétavými svazečky, c- s dlouhými svazečky, d- s vyměnitelnými svazečky, e- drátěné štětky

Otryskávání

Otryskávání je technologie čištění povrchu od korozních produktů. Dále také vytváří vhodnou drsnost povrchu a zpevnění výrobku. Při vykonávání tohoto procesu se používají abrazivní částice, které dopadají na povrch velkou rychlostí. Výkon otryskávání se reguluje druhem otryskávaného materiálu, tlakem, velikostí zrn, úhlem a vzdáleností tryskání a velikostí trysky. Mezi nejvíce používané tryskací hmoty lze zařadit litinovou drť, křemičitý písek, sekaný drát, umělé a speciální materiály a brusiva. (Kreibich, 1992)

U otryskávání záleží na více parametrech, které ovlivňují tento proces, např. hmotnost, tvrdost, velikost a tvar zrn, rychlost dopadajících částic, hustota, úhel dopadu a doba tryskání. Kinetická energie dopadajících částic na povrch se z části přeměňuje na teplo a odvede se povrchem součásti. Druhá část se přeměňuje na práci spotřebovanou na plastickou deformaci. Touto operací docílíme odstranění veškeré nečistoty z povrchu, rzi a okují a povrch je podle požadavku zdrsňen. (Kraus, 2000)

Obrázek č. 7 Schéma uzavřené tryskací komory se vzduchovým tryskačem



Zdroj: Mohyla, 1995, s. 63

1- výstražná lampa, 2- jáma pro tryskací materiál, 3- vozík, 4- korečkový dopravník, 5- tryskač, 6- dělník, 7- osvětlení, 8- čistič tryskacího materiálu, 9- zásobník, 10- řídicí pult, 11- přívod vzduchu, 12- odsávání, 13- filtry, 14- vývod vzduchu, 15- nouzový východ

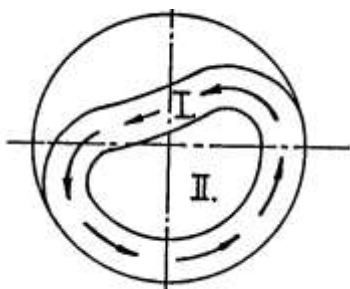
Omílání

Jde o jeden z mechanických procesů na úpravu povrchu. Spočívá v tom, že dochází k úběru materiálu a jeho vyhlazování. Tyto úpravy povrchu jsou prováděny za pomoci omílacích prostředků (kapalina + chemické prostředky). Proces omílání se hlavně hodí pro velké série a menší velikosti se složitými tvary.

Mezi výhody omílání řadíme to, že nevyžaduje namáhavé ruční broušení a leštění, snižují se výrobní náklady, zvyšuje se výrobnost, zpevňuje se povrch a zvyšuje se korozní odolnost. Co se týče nevýhod, patří sem nerovnoměrný úběr z povrchu předmětu a možnosti poškození členitých výrobků.

Tato operace nahrazuje brusné a lešticí operace. Využívá se k vyhlazování povrchů, zaoblování hran, odstraňování ostřin nebo okují a v neposlední řadě ke zpevnění povrchu. Omílání je v podstatě univerzální technologie, jelikož úpravou zařízení a přípravkem chemických prostředků jde odrezovat, odmašťovat, pokovovat, sušit i lakovat. (Sedláček, 1992)

Obrázek č. 8 Schéma rozvrstvení



Zdroj: Kraus, 2000, s. 58

I. Hlavní prstencovitá vrstva, která kopíruje stoupaní stěny bubnu a v určitý moment se odtrhuje od povrchu stěny a dochází ke klouzání, jako aktivní vrstva nebo dopadá na převalující se směs předmětů a brusiva.

II. Je jádro, které se převaluje jen částečně, přičemž rozhraní není mezi oběma vrstvami přesně odděleno.

Devadesátiprocentní omílání probíhá právě v aktivní vrstvě. Její velikost závisí na náplni v bubnu. Omílání ovlivňuje průměr bubnu, jeho otáčky a doba omílání. Mezi další ovlivňující činitele patří tvar a velikost součástí, druh a velikost omílacích těles, poměr množství součástí a omílacích těles a také plnění bubnu. (Kraus, 2000)

5.2.2 Chemické úpravy povrchu

Těmito úpravami se především připravuje povrch pro různé povlaky. Povrchy se obvykle připravují za pomoci chemických činidel, které reagují na nečistoty. Jde o procesy odmašťování, moření a leštění.

Nečistoty můžeme dělit na všelijaké mastnoty, zachycený prach v těchto mastnotách, nečistoty z past používaných při broušení a leštění. Tloušťka těchto nečistot může být tak malá, že není lidským okem viditelná, ale může dosahovat až několika milimetrů. Na tyto nečistoty se používá proces odmašťování. Chemickým mořením nebo mechanickým čištěním se odstraňují chemicky vázané koroze, rez a okuje. (Baránek, 2013); (Hluchý, 2001)

5.2.2.1 Prostředky odmašťování

Prostředky, které využíváme pro odmašťování, jsou například alkalické roztoky, organická rozpouštědla, elektrolytická odmašťování, neutrální roztoky, emulzní odmašťování, opalování a vysokotlakové kapalinné odmašťování.

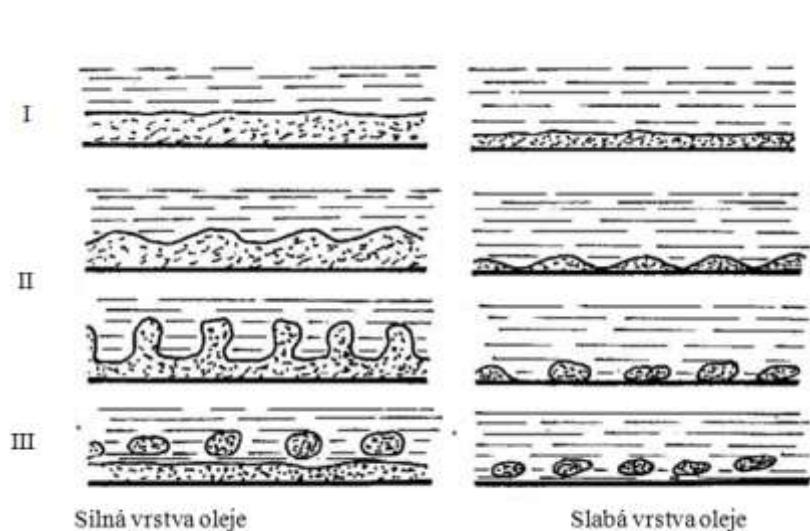
Odmašťování v alkalických roztocích

Tento proces odmašťování je poměrně složitý a provádí se několika způsoby. Jeden z typů odmašťování v alkalických roztocích se aplikuje na rostlinné a živočišné tuky. Nejprve se u

tohoto typu neutralizují kyseliny, které následně přejdou do roztoku jako rozpustná mýdla. Tato povrchově aktivní mýdla ulevují povrchu od napětí vyvolaného mastnotou. (Hluchý, 2001)

O něco obtížnější je odmašťování minerálních mastnot, jako jsou oleje, vazelíny a vosky, jelikož se nedají zmýdelnit. Tento proces se provádí při větších teplotách a to tak, že emulgují ve formě drobných kapiček do odmašťujícího roztoku. Po odmašťování v alkalických roztocích je nutné provést oplach horkou vodou, zbytků alkálií z povrchu kovu. (Mohyla, 1995)

Obrázek č. 9 Schéma emulgace mastnoty



I. Souvislá vrstva mastnoty na povrchu kovu

II. Postupné rozpouštění předchozí vrstvy za pomoci odmašťovacího roztoku

III. Emulgace a dispergace mastnoty, vylučování částic mastnot z povrchu

Zdroj: Mohyla, 1995, s. 82

Odmašťování v organických rozpouštědlech

Tento způsob lze považovat jako jeden z nejjednodušších způsobů odmašťování s poměrně vysokou produktivitou, ale i tento proces má jisté nevýhody. Mezi ně patří to, že nelze aplikovat na vlhké povrchy, nelze odbourávat heteropolární nečistoty a také to, že odstranění použitých rozpouštědel je složité. Organické čištění můžeme provádět např. za pomoci hořlavých rozpouštědel. Toto čištění se většinou aplikuje ručně. Za nevýhodu můžeme považovat hořlavost a malou rozpouštěcí schopnost na mastnoty z leštících past. Na druhou stranu hlavní výhodou je ekonomická dostupnost neboli nízká cena. (Baránek, 2013); (Červený, 1981)

Nejvíce vyhovující rozpouštědla, která mají velkou rozpouštěcí schopnost tuků a olejů, nejsou hořlavá a nenapadají kov, jsou z řady chlorovaných uhlovodíků, trichlorethylenů a perchlorethylenů. Hlavní nevýhodou těchto látek jsou narkotizační účinky a to, že účinky tepla či světla je rozkládají. (Červený, 1981)

Elektrolytické odmašťování

Tento proces odmašťování je v podstatě stejný jako alkalický. Jen malý rozdíl je v tom, že prochází stejnosměrný proud lázní, čímž dochází k disociaci látek v roztoku. K odstraňování neboli odtrhávání nečistot od povrchu dochází díky plynům, které se vyvíjejí na elektrodách a ruší adhezní síly nečistot. (Kraus, 2000) Podle Mohyla (1995) je tento proces neúčinnější a z toho důvodu se zařazuje jako konečný např. před náročným galvanickým pokovováním. Elektrolytické odmašťování je aplikováno v ocelových vanách vyložených sklem. Principem procesu je v podstatě elektrolýza, kde galvanickým proudem dochází k disociaci látek alkalického roztoku.

Použijeme-li předmět jako katodu, pak zintenzivníme odmašťování chemickým působením koncentrovaného hydroxidu a mechanickým odlupováním mastnot vznikajícími vodíkovými bublinkami. Nevýhodou je vodíková křehkost, která je zapříčiněna difuzí vodíku do povrchu kovu. Zavěsíme-li naopak předmět jako anodu, kov se rozpouští a vylučuje se kyslík. Tím se opět zintenzivní mechanický účinek odtrhujících se bublinek odmašťování. Katodicko-anodické odmašťování se považuje za neúčinnější. Při tomto procesu se odmašťuje předmět delší dobu na katodě a kratší dobu na anodě. Provádí se tak např. u pásů plechů a drátů v kontinuálních linkách. (Mohyla, 1995)

Emulzní odmašťování

Proces emulzního odmašťování se provádí zpravidla oplachem nebo ponorem. Princip spočívá v tom, že se používají organická rozpouštědla, která v sobě mají určité množství emulgátorů a alkálií. V praxi tento proces funguje tak, že rozpouštědlo rozpouští mastnoty (snižuje viskozitu) a je podporována penetrace rozpouštědla do vrstvy nečistot prostřednictvím přítomného emulgátoru. Následným oplachem vodou se nečistoty i použité rozpouštědlo odstraní. Tento proces lze aplikovat i ručně. Hlavní nevýhoda emulzního odmašťování spočívá ve znečišťování odpadních vod. (Kraus, 2000)

Odmašťování v neutrálních roztocích

Proces odmašťování v neutrálních roztocích se používá především u velkých a rozměrných součástí a provádí se ručně za pomoci vodních roztoků saponátů. (Mohyla, 1995)

Odmašťování opalováním

Při odmašťování opalováním se daná součást ohřeje na teplotu 300 - 700 °C, přičemž se mastnoty spálí na plynné zplodiny. Oxidické vrstvy po spálení se odstraňují následným mořením nebo otryskáváním. (Mohyla, 1995)

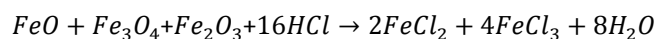
Vysokotlaké kapalinné odmašťování

Princip technologie spočívá v působení proudu čisté vody (někdy s příměsí inhibitorů) za vysokého tlaku (až 60 MPa). Tato technologie je velice účinná a nenáročná na čištění odpadních vod a používá se u rozměrných součástí, avšak náklady na strojní zařízení jsou značně vysoké. (Mohyla, 1995)

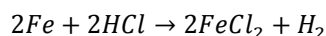
5.2.2.2 Moření

Mořením se chemicky odstraňují nečistoty, které jsou s povrchem spjaté chemickými vazbami. V tomto případě za nečistoty považujeme hydratované oxidy neboli rez a okuje. Působením silných kyselin dochází k chemické reakci za vzniku rozpustných solí. Ocel se velice často moří v lázni, kterou tvoří kyselina sírová nebo kyselina chlorovodíková. (Pávek, 2013) Pokud je materiálem legovaná ocel, tak její okuje obsahují také oxidy legujících prvků (např. oxid chromitý), které jsou v uvedených kyselinách a z tohoto důvodu se nahrazují například touto směsí kyselin $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ nebo alkalickými roztoky. U moření rozeznáváme dva základní procesy, první z nich je chemické rozpouštění oxidů. (Ruml, 1981) U kyseliny chlorovodíkové probíhají chemické reakce následovně podle rov. č. 5.2.1. Povrch oceli reaguje za vývinu vodíku podle rov. č. 5.2.2. Tento vyvíjený vodík se dále redukuje dle rov. č. 5.2.3, kdy FeCl_3 reaguje také s ocelí, viz rov. č. 5.2.4. Obdobnou reakcí se setkáváme i u kyseliny sírové rov. č. 5.2.5 a u vyvíjeného vodíku rov. č. 5.2.6.

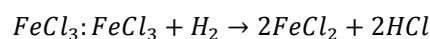
Rov. č. 5.2.1



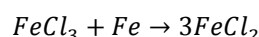
Rov. č. 5.2.2



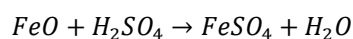
Rov. č. 5.2.3



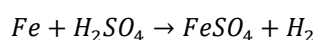
Rov. č. 5.2.4



Rov. č. 5.2.5



Rov. č. 5.2.6



Druhý mechanismus je odlišný a jeho podstata odstraňování oxidů z povrchu spočívá v tom, že je přímo závislý na vývoji vodíku. Prostřednictvím defektů skrz korozní vrstvu proniká mořící lázeň, která reaguje se základním materiálem za vzniku vodíku, jenž se vytváří v dutinkách v podobě bublinek. Tlak vytvořený tímto procesem zapříčiňuje odlupování okují. (Ruml, 1981)

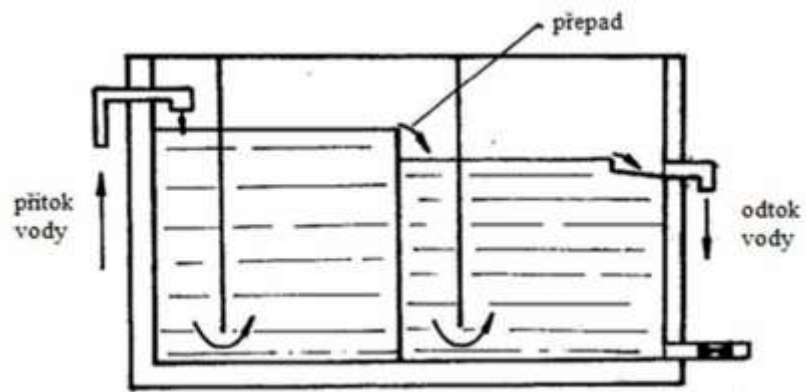
Dekapování

Tento proces slouží k aktivaci povrchu, lze říci, že je to specifický druh moření. Dekapování má za cíl odstranit z povrchu součásti nepatrné oxidické vrstvy, které byly způsobeny předešlými operacemi, jako např. vlivem kyslíku při elektrolytickém odmašťování v anodickém zapojení. Přeskočením této operace u galvanicky vylučovaného zinkového povlaku způsobíme snížení jeho kvality. Pro ocel je tato lázeň 8% roztok kyseliny chlorovodíkové, kterou necháváme působit po dobu tří minut. Přímo po dekapování přichází na řadu galvanické zinkování součásti. (Ruml, 1981)

Oplachy

Oplachy je nutné aplikovat mezi individuálními operacemi, tím se opláchnou zbytky lázní, které zůstaly na povrchu součásti. Jedinou výjimečnou operací, kdy se oplach neaplikuje, je lakování. Kdyby nebyl proveden perfektní oplach, docházelo by k rychlejšímu znehodnocování samostatných lázní, a tím pádem by se snižovala i kvalita vylučovaného ochranného povlaku. Technologii oplachování můžeme provádět následujícími způsoby. Jako první technologii oplachu známe oplach postřikem, který je však neúsporný, jelikož spotřebuje velké množství vody. Druhou operací oplachu je oplach ve vaně s příležitostnou výměnou vody. Další způsob spočívá v oplachu ve vaně s jednoduchou výměnou vody, který se používá více, ale ještě častěji se používá oplach ve vaně s protiproudou výměnou vody. Tento oplach je nejnehospodárnější a tudíž i nejpoužívanější variantou. U tohoto typu se oplach provádí ve dvoustupňové vaně s rozdílnou výškou hladin a přepadem. V praxi se tento oplach realizuje tak, že se součást ponoří do vany s nižší hladinou, kde je voda s vyšším soustředěním lázně, jež předchází oplachu a následně se ponoří do části s vyšší hladinou, kde je voda čistější. Schéma takovéto vany můžeme vidět na obrázku č. 10. (Kraus, 2000)

Obrázek č. 10 Schéma oplachové vany s protiproudem



Zdroj: Kraus, 2000, s. 68

6 Galvanické zinkování

Galvanické zinkování patří mezi moderní a velmi rozšířený způsob korozní ochrany. Tento způsob ochrany a s ním další související operace činí spolehlivou protikorozní ochranu za přijatelné náklady. Historie galvanické ochrany je velmi bohatá a i v dnešní době jsou její procesy dále rozvíjeny. Samozřejmě jako každá technologie i tato má své výhody a nevýhody. (Mohyla, 1995)

Mezi klady galvanického zinkování řadíme menší počáteční náklady, menší nároky na udržovatelnost, dlouhodobá trvanlivost a nízké procento vzniku chyb, kterému se předchází úpravami povrchu podle přesně definovaných technologií. Dalšími výhodami je flexibilita zinkové vrstvy a snadná kontrola povrchu a jeho kvality.

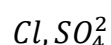
K záporným stránkám galvanického zinkování se řadí nemožnost úpravy přímo na montáži a dále nemožnost zinkovat nerozebíratelné rozměrnější konstrukce, jelikož zinkovací lázně jsou závislé na rozměrech. Rovněž ekologická likvidace odpadních vod je obtížná. Další problém spočívá v neprůchodnosti děr nebo dutin, jelikož se při vynořování z lázně vytváří vzduchová bublina. Při zinkování může také v současti vznikat vodíková křehkost kvůli vylučování vodíku v lázni. Problematický je také povrch oceli, který má zinkovou povrchovou ochranu a je ho obtížné svářet z hlediska obsluhy, jelikož hrozí vdechnutí výparů zinku. (Doškář, 1953); (Ruml, 1981)

6.1 Galvanické povlakování

Elektrolytickou disociací se rozumí rozpouštění anorganických solí např. $NaCl$, Cu , kdy záporné ionty mají přebytek elektronů, viz rov. č. 6.1.1, přičemž kladné následně mají nedostatek Na^+ , Cu^{2+} . Přivedeme-li do zmíněného roztoku stejnosměrný proud z vnějšího zdroje pomocí elektrod, způsobíme tím na kladné elektrodě vylučování záporných iontů a naopak na záporné elektrodě se začnou vylučovat kladně nabitě ionty. V důsledku vylučování aniontů na elektrodě nastává jejich oxidace. Tato elektroda je tedy nazývána anodou a druhá elektroda katodou. U katody dochází k redukci vylučovaných kationtů. Tento princip je typický pro tvorbu galvanicky vyloučených zinkových povlaků. V případě, že by byla elektrolýza roztoku ve dvojici nerozpustných elektrod nepřetržitá, neustále by se vylučovaly složky soli z roztoku, to by zapříčinilo úplné vyčerpání a nastalo by zastavení průchodu skrz elektrolyt. Důvodem je vysoký

elektrolytický odpor čisté vody. Chceme-li pokračovat v elektrolýze, musíme do roztoku doplnit další soli. Tato komplikace velice ovlivňuje používání této metody, a proto se daná metoda příliš nepoužívá. Východisko lze hledat v použití rozpustné anody totožného kovu, která má být vyloučena. Z praktického hlediska to můžeme brát tak, že se v průběhu elektrolýzy nesnižuje koncentrace kovové soli v roztoku, jelikož vyloučené množství kovu na katodě je okamžitě doplňováno příslušným množstvím rozpuštěného kovu z anody. Tento proces často využíváme pro galvanické zinkování. (Doškář, 1963); (Kraus, 2000)

Rov. č. 6.1.1



6.2 Faradayovy zákony

Tyto zákony vyjadřují vazbu mezi množstvím vyloučeného kovu a rozpouštěným kovem při technologii galvanizace. První Faradayův zákon říká, že elektrolytickým proudem vyloučené látky jsou úměrné velikosti náboje, který prošel elektrolytem, viz rov. č. 6.2.1. Druhý Faradayův zákon říká, že množství různých látek vyloučených na elektrodách průchodem stejného náboje je v poměru svých ekvivalentů, viz rov. č. 6.2.2. Faradayovi obě rovnice, lze použít v jedné rovnici rov. č. 6.2.3. (Lázničková, 2014)

Rov. č. 6.2.1

$$m = A_e * I * \tau$$

m – množství látek vyloučených vlivem elektrického proudu [g]

A_e – konstanta úměrnosti (elektrochemický ekvivalent, množství látky vyloučené nábojem 1C) [g.A⁻¹.s⁻¹]

I – elektrický proud [A]

τ – čas [s]

Rov. č. 6.2.2

$$A_e = \frac{M}{n * F}$$

M – molární hmotnost kovů [g.mol⁻¹]

n – mocenství kovového kationtu v lázni [-]

F – Faradayova konstanta je rovna přibližně 96 487 C.mol⁻¹

Rov. č. 6.2.3

$$A_e = \frac{M * I * \tau}{n * F}$$

6.3 Proudový výtěžek

Technologie vylučování galvanického povlaku se provádí za pomoci dvou elektrod, na kterých probíhají hlavní reakce, jež nejsou jediné, probíhají totiž i vedlejší reakce. Tyto reakce zapříčiňují, že dodávaný proud není úplně využitý na vylučování a rozpouštění kovu. Proudový výtěžek je tak označován poměrem skutečného a teoretického množství a je vyjádřen rov. č. 6.3.1.

Rov. č. 6.3.1

$$r_{kat.-anod.} = \frac{m_{skut.}}{m_{teor.}} * 100$$

r_{kat./anod.} – katodický, respektive anodický, proudový výtěžek [%]

m_{skut.} – množství skutečně vyloučeného, respektive rozpuštěného, kovu [g]

m_{teor.} – množství vyloučeného, respektive rozpuštěného, kovu vypočtené z Faradayova zákona [g]

Katodický proudový výtěžek obvykle snižuje nárůst vodíku a u každého galvanického typu lázně je rozdílný. Tento vylučovaný vodík na povrchu katody snižuje účinky galvanické technologie, ovlivňuje povlak, ale může také vést ke vzniku vodíkové křehkosti u podkladového materiálu. Tyto nepříznivé vývoje vodíku je zapotřebí co nejvíce potlačit. Na druhou stranu, anodický výtěžek mnohdy překračuje 100%, což je zapříčiněno chemickým rozpouštěním anody v elektrolytu. Díky tomu mohou nastat problémy u procesů s malým výkonem. Z ekonomického hlediska při galvanickém pokovování je proudová účinnost katodového a anodového procesu velice důležitá. Upravením rov. č. 6.3.2 můžeme vypočítat například čas pokovení, viz rov. č. 6.3.3.

Rov. č. 6.3.2

$$h * \rho * c = a_e * I * \tau * r$$

Rov. č. 6.3.3

$$\tau = \frac{h * \rho * c}{A_e * I * r}$$

τ – čas pokovení [s]

h – tloušťka povlaku [mm]

c – plocha pokovení [mm²]

ρ – hustota vylučovaného kovu [g.mm⁻³]

A_e – elektrochemický ekvivalent [g.A.s⁻¹]

I – proud [A], **r** – proudový výtěžek [%].

(Mohyla, 1995); (Ruml, 1981)

6.4 Proces polarizace elektrod

V rámci elektrolytického vylučování kovů dochází kromě elektrolýzy k polarizaci na elektrodách. Pojem polarizace elektrod můžeme chápat jako změny potenciálu elektrod vůči rovnovážné hodnotě. Podrobněji řečeno - máme-li elektrolyt, v němž jsou umístěny dvě elektrody a prochází zde elektrický proud, pak potenciály obou elektrod dosahují hodnot, jež jsou odlišné od hodnot potenciálů obou elektrod ve stavu bezproudém. To znamená, že abychom dosáhli pokovovacího proudu, musíme zvýšit napětí o tuto hodnotu. Polarizaci elektrod dělíme na jednotlivé složky, přičemž se tyto složky vzájemně sčítají. Polarizaci elektrod členíme na koncentrační polarizaci, odporovou polarizaci a chemickou polarizaci. V případě koncentrační polarizace v okolí elektrody dochází ke změně koncentrace iontů daného kovu ve srovnání s původní koncentrací v ostatním roztoku. U anody se kumulují uvolněné ionty kovu, oproti tomu u katody se množství vyloučených kovových iontů snižuje. Ke zmíněnému dochází pozvolnou difúzí kovových iontů. Prostřednictvím konvekce a difúze dochází ke zrušení koncentrační polarizace, a proto je důležité zvyšování teploty lázně a její míchání. U odporové polarizace rozhraní mezi elektrodou a elektrolytem má určitý odpor, v rámci něhož průchodem proudu dochází ke vzniku potencionálního spádu. Tento spád se nazývá odporová polarizace. Zvětšíme-li vodivost elektrolytu, pak snížíme tuto polarizaci.

Při chemické polarizaci bývají kationty a anionty v prostředí vodního roztoku hydratovány. Abychom mohli iont na elektrodě vyloučit, musí dojít k dehydrataci. Příčinou dosažení chemické polarizace je nízká rychlost uvolňování iontů, jelikož dochází ke zpomalování elektrochemické reakce. Tuto polarizaci můžeme zmenšit zvýšením teploty. Mícháním elektrolytu ke změně nedochází. (Kopec, 1955); (Mohyla, 1995)

6.5 Svorkové napětí a hloubková účinnost

Pro zdolání polarizace elektrod minimálním napětím je zapotřebí takzvané rozkladné napětí. Toto napětí vyvolává nepřetržitý rozklad elektrolytu. Aby však byla splněna požadovaná hustota, je zapotřebí další navýšení napětí, které nám udává ohmický odpor lázně a součinitel pokovovacího proudu. Tedy rovnice pro svorkové pokovování bude vypadat dle, rov. č. 6.5.1.

Rov. č. 6.5.1

$$E_s = E_r + I * R$$

E_s – svorkové napětí [V]

I – pokovovací proud [A]

E_r – rozkladné napětí [V]

R – ohmický odpor lázně [Ω]

Lázně mají i další důležité měřítko. Je to jejich hloubková účinnost, kterou lze charakterizovat jako schopnost lázně vytvářet stejnou rovnoměrnou vrstvu povlaku na celé pokovované součásti. U roztoků z jednoduchých solí se vylučuje nestejněměrná vrstva. V praxi se to projevuje tak, že na hranách a výstupcích je vylučována silnější vrstva, oproti tomu v rovinách, prohlubních a dírách se vylučuje vrstva slabší. (Zdařil, 2011)

6.6 Lázně pro galvanické zinkování

Zinkovací lázně mají velmi rozmanité složení, avšak pro všechny platí jedna hlavní zásada, že mají být co nejstálější, neboli že nesmí dojít k samovolnému rozpadu součástí, a proto je důležitá hodnota pH lázně, na které závisí stálost roztoků a vlastnosti vylučovaného povlaku. Na hodnotě pH stojí rozdělení lázní do dvou hlavních skupin - kyselé a alkalické (zásadité). Hodnota pH se reguluje pomocí kyselin nebo zásad. Vylučovaný povlak se odvozuje i od druhu vylučování na povrch katody. V případě jednoduchých solí jsou povlaky hrubozrnné, jelikož je polarizace katod nízká. U roztoků produkovaných komplexními anionty je to opačné. V tomto procesu je relativně vysoká polarizace katody, a tudíž je docíleno jemnozrnných povlaků. Velká důležitost se přikládá charakteru elektrolytu, který musí mít stálý potenciál vylučovaného potřebného kovu a přitom perfektní rozpustnost anod. Vznik oxidační vrstvy na anodě je nežádoucí, jelikož velice ovlivňuje rozpustnost anody v lázni. Zinkovací lázně dělíme na kyanidové lázně, bezkyanidové alkalické lázně, slabě kyselé lázně a na lázně kyselé. (Kraus, 2000)

6.6.1 Typy galvanických lázní

Zinkové povlaky vytvářejí anodickou ochranu ocelových předmětů proti korozi a trvanlivost těchto povlaků je možné rozšířit chromováním nebo fosfátováním.

Kyanidové lázně

V této lázni je zinek ve formě zinečnatanu sodného a komplexního kyanidu. U těchto lázní nacházíme výbornou hloubkovou účinnost, avšak proudový účinek je nízký. Jestliže chceme dosáhnout lesklého povrchu, musíme využít leskotvorných přísad. Nevýhodou těchto lázní je jejich jedovatost a následné odstraňování odpadních vod. (Kraus, 2000)

Bezkyanidové alkalické lázně

V bezkyanidové alkalické lázni je zinek přítomen ve formě zinečnanu a jako komplexotvorné látky se používají různé organické přísady. Zinečnanové lázně pracují s menší proudovou hustotou než lázně kyanidové. Proti kyselým lázním mají větší hloubkovou účinnost. Vyloučené povlaky jsou matné, proto většina procesů používá leskutvorných přísad (různé koloidní látky v kombinaci s aromatickými aldehydy) pro vylučování vysoce lesklých zinkových povlaků. Provozně jsou tyto lázně stálé, hlavní jejich předností je relativní nejedovatost.

Slabě kyselé lázně

V tomto případě jde o novodobé lázně, kde nositel kovu je v podobě síranu zinečnatého a chloridu zinečnatého. Vodící sůl je ve formě chloridu amonného. Tyto lázně jsou charakteristické velkou rychlostí vylučování, přičemž povlak má i tak dobrou kvalitu. Hloubková účinnost u těchto lázní je také vysoká. Slabě kyselé lázně jsou vhodné jak pro zavěšené, tak i pro hromadné pokovování. Proudový výtěžek činí bezmála 100%. Většinou jsou založeny na bázi síranochloridových nebo pouze chloridových elektrolytů ($ZnSO_4 \cdot 7 H_2 O$ ev. $ZnCl_2$). Vodivost lázně se zvyšuje přidáním síranu hlinitého u síranových lázní, přidáním chloridů ($AlCl_3$, NH_4Cl ev. NaF) u chloridových elektrolytů. Jako leskutvorné přísady se používají různé organické látky (u síranových lázní např. glukóza, dextrin, želatina ap.), rozpouštědla a smáčedla. V nejnovějších typech se používají nepěňivá smáčedla, což umožňuje pracovat s lázněmi míchanými vzduchem. (Mohyla, 1995)

Kyselé lázně

U této lázně je nositelem kovu síran zinečnatý a vodivost lázně se upravuje kyselinou sírovou. Kyselé lázně fungují za vysokých proudových hustot a jsou příhodné pro zinkovací automaty, přesněji pro pokovování pásů a drátů. U běžného zinkování se nevyužívají z důvodu malé hloubkové účinnosti. Stejně jako u první lázně i zde platí, že bez použití leskotvorných přísad by byl povlak matný a hrubý. (Kraus, 2000)

Leskotvorné přísady

Kyanidové a bezkyanidové alkalické lázně pro dodání lesku povrchu používají různé koloidní látky jako je například želatina ve spojení s aromatickými aldehydy.

Slabě kyselé lázně používají organické látky jako leskotvorné přísady, například alifatické uhlovodíky. (Mohyla, 1995)

6.7 Hullová zkouška

Kvalitu u galvanických lázní lze kontrolovat za pomoci Hullové zkoušky, která se provádí za pomoci Hullové vaničky. Nevodivou vaničku naplníme elektrolytem a elektrody nainstalujeme tak, aby přiléhaly ke stěnám. Tudiž konstrukce vaničky zajišťuje určitou proudovou hustotu. Proudová hustota se nám mění následovně, podle rovnice č. 6.1. Materiál katody se volí na základě zpracovávaného materiálu v galvanické lázni. Konstrukce Hullové nádoby je zřejmá z následujícího obrázku č. 11. (Kraus, 2000)

Rov. č. 6.7.1

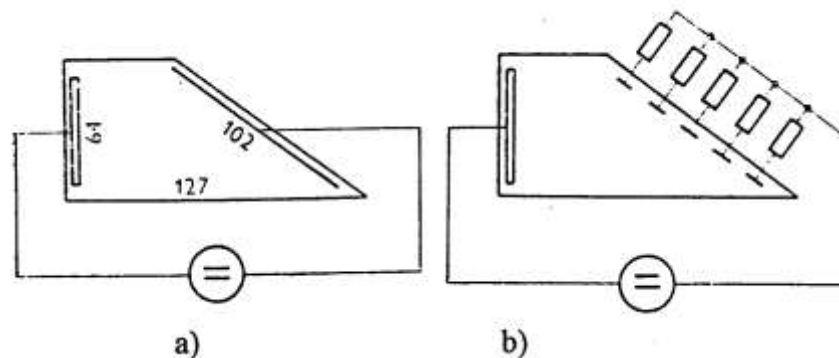
$$I_k = I(5,102 - 5,240 * \log x)$$

I_k – proudová hustota [A/dm²]

I – proud [A]

x – vzdálenost od kraje katody [mm]

Obrázek č. 11 Principy Hullové vaničky



Zdroj: Mohyla, 1995, s. 75

a - klasické provedení, b - provedení s dělenou elektrodou

7 Výzkumný problém

Problematika galvanického zinkování patří stále k poměrně neprobádaným oblastem. Příslušná literatura se ve velké míře zabývá především korozí a různými druhy protikorozi ochrany, ale prostoru, který by byl věnován přímo galvanickému zinkování, není mnoho, přitom provedený výzkum u této technologie zinkování může ulehčit následnou přímou aplikaci součásti chráněné proti korozi rovnou do určeného prostředí bez dalšího testování.

V rámci aplikační části budou zkoumány galvanicky zinkované vzorky dvěma technologiemi – slabě kyselou a alkalickou bezkyanidovou lázní a pro srovnání metalizované a žárově pozinkované vzorky suchým způsobem. V rámci experimentální zkoušky budeme testovat vzorky na mechanické namáhání, tloušťku pozinkovaných vrstev u jednotlivých technologií a následně na korozní odolnost. Těmito zkouškami zjistíme, jaké parametry ovlivňují vznik koroze a jaká je vhodnost použití této technologie pro strojírenský průmysl.

8 Metodika práce

V této části bakalářské práce se budu věnovat jednotlivým metodám, respektive zkouškám, které využiji v aplikační části. Tyto zkoušky mi budou sloužit k posouzení mechanického namáhání a korozní odolnosti u pozinkovaných součástí. V rámci své experimentálních zkoušky budu konkrétně využívat následujících metody:

- Vizuální kontrolu
- Zkoušku hloubením – dle Erichsena
- Ohybovou zkoušku na válcovém trnu
- Zkoušku solnou mlhou
- Zkoušku tloušťky povlaku

V tabulce 1 můžeme přehledně vidět jednotlivé zkoušky a parametry dle norem, které se k nim vztahují. Rovněž jsou zde uvedeny kontrolní pomůcky, které budou v rámci jednotlivých typů zkoušek využívány.

Tabulka 1 Přehled zkoušek

Typ zkoušky	Parametr	Kontrolní pomůcky
1. Vizuální kontrola	Čistý povrch bez viditelných vad	Zrakem
2. Zkouška tloušťky povrchu	dle ČSN ISO 1463	Tloušťkoměr viz obrázek č. 12
3. Zkouška hloubením	dle ČSN EN ISO 1520	Zařízení viz obrázek 13
4. Zkouška na válcovém trnu	dle ČSN EN ISO 4624	Zařízení viz obrázek 15
5. Zkouška v solné mlze	dle ČSN ISO 9227	Solná komora viz obrázek 16
6. Vyhodnocení zkoušek		

Zdroj: Vlastní zpracování

1. Vizuální kontrola

Vizuální kontrola pro odhalení vad není náročná, ale přesto účinná metoda na hledání vad povrchu.

- Vizuální kontrola se využívá nejen jako vstupní, ale i jako výstupní
- Kontrolu provádí vybraný, odpovědný kontrolor

- Úkolem tohoto kontrolora je odhalovat vady povrchu např. praskliny, trhliny, koroze aj.

2. Zkouška tloušťky povlaku

Tloušťku povlaku můžeme definovat jako vzdálenost mezi povrchem povlaku a základním materiálem. Měření hloubky se provádělo hloubkoměrem (Permascope). Tímto přístrojem lze měřit, aniž by bylo nutné danou součást poškodit.

Metody měření tloušťky povlaku pro galvanické zinkování na oceli jsou dány normou ČSN EN ISO 1463. (Kreislová, 2008)

Obrázek č. 12 Hloubkoměr



Zdroj: Vlastní

3. Zkouška hloubením

Tato zkouška se provádí dle ČSN EN ISO 1520 a lze jí provádět na moderním zařízení, které je na následujícím obrázku 11.

Obrázek č. 13 Zkušební zařízení pro zkoušku hloubením

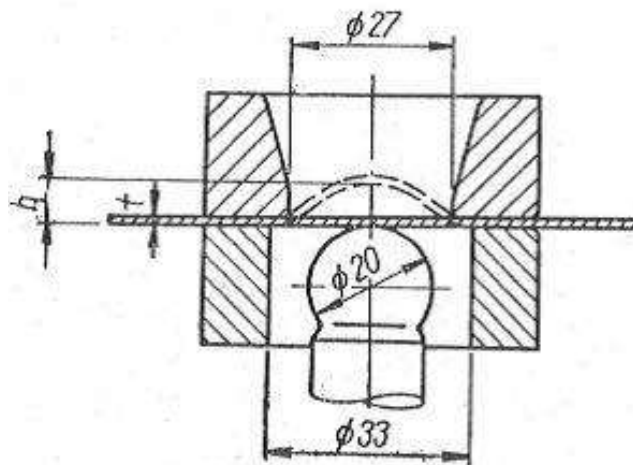


Zdroj: Elcometr, 2016

Součást připravenou k měření neboli vzorek se upne mezi upínací prstenec a matici uvnitř přístroje. Následně se normalizovanou konstantní rychlostí za pomoci vlačovacího tělesa

působí na vzorek, tím způsobem, aby se na zinkované vrstvě dané součásti objevila stopa po vniknutí (stopa polokoule). Působící těleso má průměr 20mm a je z tvrzené oceli. Rychlost vtlačování by se měla pohybovat od 0,1mm/s až do 0,3mm/s. Vtlačování se provádí na základě stanovené hloubky nebo z časového hlediska (do té doby než nastane prasknutí vzorku nebo než dojde k odloupení naneseného ochranného povlaku od základní vrstvy). Tento jev je možné okamžitě spatřit za pomoci instalovaného mikroskopu. Hloubka vtlačení tělesa v momentě narušení vrstvy se bere jako hlavní hodnota a zobrazí se na příslušném ukazateli.

Obrázek č. 14 Schéma přístroje pro zkoušku hloubením



Zdroj: Kraus, 2000, s.89

4. Ohybová zkouška na válcovaném trnu

Zkouška ohybem se provádí ze stejného důvodu jako zkouška vtlačení tělesa a to kvůli určení odolnosti vůči vzniku vtisku trhlin nebo odloupení od základní součásti. Vychází se z ČSN ISO 1519. Zařízení na ohýbání na válcovém trnu disponuje sadou zkušebních trnů, které jsou průměrů 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 16, 19, 20, 25, a 32mm. Postup měření je následující: upevní se vzorek do zařízení, vložení trnu o vnějším průměru a poté se vzorek ohne o 180° přes trn. Konečné hodnocení se provádí pod mikroskopem. Když není zjištěno žádné poškození, tak se zkouška opakuje s menšími průměry trnu. A to tak dlouho dokud nedojde k poškození zinkové vrstvy.

Obrázek č. 15 Zařízení pro zkoušku ohybem přes válcový trn se zkušebními trny



Zdroj: Marek, 2011, s.34

5. Zkouška solnou mlhou

- Teplota v solné komoře se pohybuje okolo 35°C.
- Chlorid sodný je rozpuštěný v destilované vodě o koncentraci 50 g/l, pH rozpuštěného roztoku 6,5 -7,2.
- Vzorky se zavěsí na plastové úchyty a není žádoucí jejich vystavení přímému postřiku solnou mlhou.
- Doba zkoušky je normalizovaná, tudíž je určena dle ČSN EN ISO 9227

Obrázek č. 16 Solná komora



Zdroj: Vlastní

9 Aplikační část a diskuse výsledků

9.1 Aplikační část

V rámci své praktické části bakalářské práce budou realizovány zkoušky, které jsem přiblížil v předchozí kapitole. Tyto zkoušky poslouží k porovnání jednotlivých technologií nanášení povlaku na základní materiál. Konkrétně se jedná o galvanické pozinkování, metalizování a o žárové pokovování suchým způsobem. U galvanického zinkování budeme navíc posuzovat rozdíl mezi technologií galvanického zinkování slabě kyselou lázní a alkalickou lázní. U experimentálních zkoušek vždy popíši, jak jsem postupoval a uvedu výsledky, jež jsem naměřil. Tyto výsledky následně zhodnotím. Na závěr se pokusím stanovit, která technologie povlakování je nejvhodnější.

9.2 Experimentální zkoušky

V experimentální zkoušce budeme provádět již zmiňované zkoušky, k nimž vždy uvedu dosažené výsledky. Bude se jednat o již zmiňovanou zkoušku hloubením podle Erichsen, ohybovou zkoušku na válcovém trnu, dále bude provedena korozní zkouška v solné komoře a zkouška tloušťky povlaku.

Tyto zkoušky budou prováděny na oceli o rozměrech 145x55x0,8mm, třídy 11 320 se zinkovanou vrstvou nanesenou následujícími technologiemi:

- a) Žárovým pokovováním suchým způsobem- pokovované předměty jsou předem namočeny do roztoku tavidla, po vyjmutí usušeny, poté jsou ponořovány do zinkové lázně
- b) Metalizací
- c) Galvanickým zinkováním
 - kyselá lázeň
 - alkalická lázeň

Vzhledem k tomu, že se tato bakalářská práce věnuje tématu galvanického zinkování, v následující části podrobně popíši povrchovou úpravu v alkalické lázni a slabě kyselá lázni.

Technologie povrchové úpravy v alkalické lázni

- Zavěšení
- Odmašťování (Ekasit + voda cca60°C,15min.)
- Studený oplach užitkovou vodou
- Moření v kyselině solné (20°C, 30min.)
- Studený oplach užitkovou vodou
- Dekapování (20°C)
- Studený oplach
- Aktivace (Zn lázeň OT^4 , 23°C, 30min.)
- Studený oplach trojstupňový užitkovou vodou
- Silnovrstvá pasivace Slotopas HK11 (40°C, 1min.)
- Studený oplach užitkovou vodou po dobu 1min.
- Sušení teplým vzduchem (70°C, 20min.)
- Sundávání ze závěsů
- Kontrola

Technologie povrchové úpravy ve slabě kyselé lázni

- Zavěšení
- Chemické odmaštění (Ekasit+ voda, 70°C,15min.)
- Studený oplach dvoustupňový užitkovou vodou
- Moření HCl (HCl+voda,20°C,30min)
- Studený oplach dvoustupňový užitkovou vodou
- Elektrolytické odmaštění (Ekasit E50, 60°C,2min.)
- Studený oplach jednostupňový užitkovou vodou
- Dekapování HCl (HCl+voda,20°C,1min)
- Studený oplach jednostupňový užitkovou vodou
- Elektrolytické zinkování (Zn lázeň Zincaslot 50⁵, 25°C)
- Studený oplach trojstupňový užitkovou vodou 2min
- Silnovrstvá pasivace (Slotopas HK11, 40°C,1min.)
- Studený oplach dvoustupňový užitkovou vodou
- Sušení teplým vzduchem (70°C, 30min.)
- Sundávání ze závěsů
- Kontrola

10 Výsledky jednotlivých zkoušek

10.1.1 Zkouška tloušťky povlaku

Z praxe víme, že nemůžeme na výrobcích stejného tvaru dosáhnout rovnoměrné tloušťky povlaku, a z toho důvodu jsou vždy stanovené určité tolerance. Tyto tolerance činí většinou okolo 15%. Měření je nutné provádět na nemagnetickém povlaku a na magnetickém podkladu, přičemž zkouška se provede na několika libovolně vybraných místech.

Tabulka 2 Hodnoty tloušťky povrchu

Povlak	Místo 1	Místo 2	Místo 3
Žárové pokovování suchým způsobem	52 μm	55 μm	57 μm
Metalizace	165 μm	164 μm	162 μm
Gal. Zin. Kyselá lázeň	11 μm	8 μm	9 μm
Gal. Zin. Alkalická lázeň	13 μm	11 μm	12 μm

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro galvanické zinkování platí, respektive pro tloušťku povlaku, Evropská norma ČSN EN ISO 2081, kde běžné povlaky mají tloušťku 8- 12 μm .

10.1.2 Zkouška hloubením

Zkouška byla provedena na základě výše uvedené metodiky. Při zkoušce vybraných vzorků byly zaznamenány následující hodnoty.

Žárovým pokovováním suchým způsobem

U této technologie se objevily mikrotrhliny, když se vtlačovací těleso nacházelo v hloubce 0,3mm a následným působením se tyto mikrotrhliny zvětšovaly, ale prasknutí ochranné vrstvy nenastalo. Maximální hloubka vtisku činila 6mm.

Metalizací

Mikrotrhliny u této technologie zinkování byly poprvé spatřeny v hloubce 0,8mm a následným pokračováním docházelo k nepatrnému odlupování vrstvy.

Galvanickým zinkováním (kyselá lázeň, alkalická lázeň)

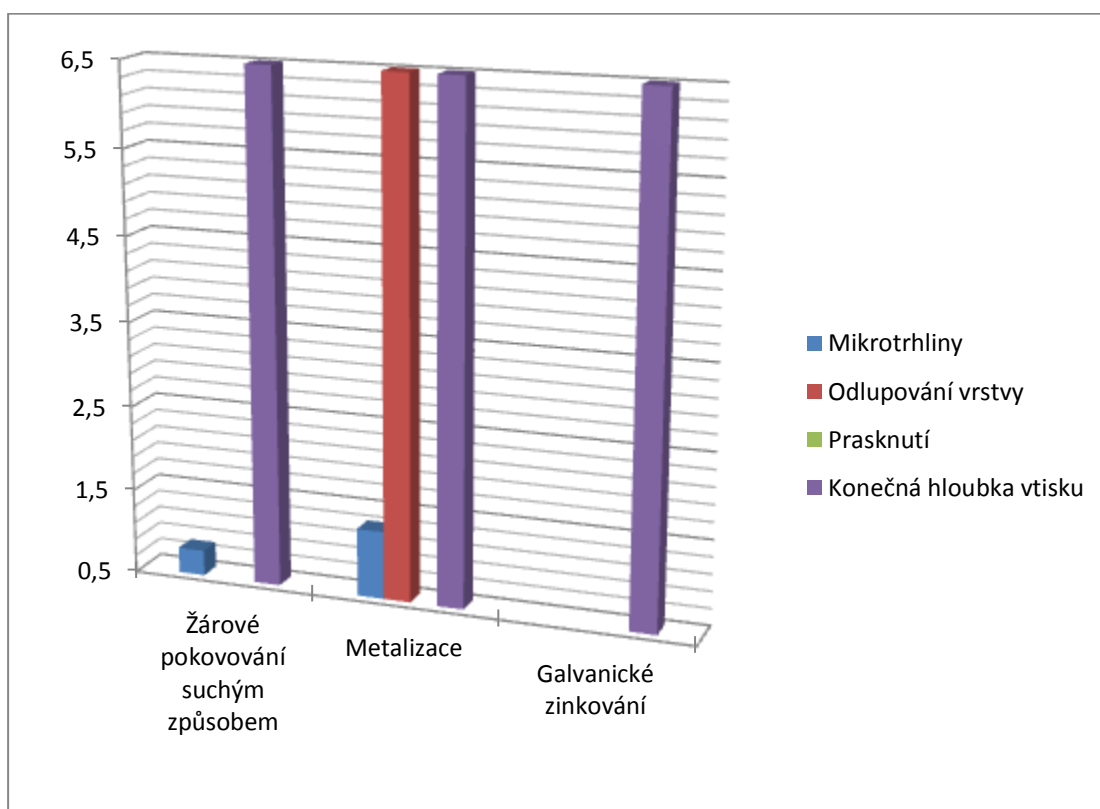
U těchto technologií nanesením povlaku na vzorek byla provedena zkouška do hloubky 6,5mm a následně ukončena. Na zařízení nebylo zaznamenáno žádné porušení. Zkouška dopadla pro oba dva typy vzorků stejně, a proto uvádím jen jednu hodnotu.

Tabulka 3 Hodnoty hloubicí zkoušky

	Mikrotrhliny	Odlupování vrstvy	Prasknutí	Konečná hloubka vtisku
Žárové pokovování suchým způsobem	0,3mm	Nenastalo	Nenastalo	6mm
Metalizace	0,8mm	6mm	Nenastalo	6mm
Galvanické zinkování	Nenastalo	Nenastalo	Nenastalo	6,5mm

Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 1 zkoušky hloubením



Zdroj: Vlastní zpracování

V této zkoušce se nejlépe projeví galvanické povlaky, u kterých se neprojevila ani jedna ze sledovaných indicií. Oproti tomu u žárového pokovování suchým způsobem a metalizace se objevily mikrotrhliny a u metalizace došlo dokonce i k odlupování vrstvy. K prasknutí nedošlo ani u jednoho ze zkoušených vzorků.

10.1.3 Ohybová zkouška přes válcový trn

Zkouška byla provedena na základě výše uvedené metodiky. Při zkoušce vybraných vzorků byly zaznamenány následující hodnoty. Ke zkoušce byly využity trny 3, 8, 13, 19, 32. Vyhodnocování se provádělo na metalografickém mikroskopu.

Žárovým pokovováním suchým způsobem

U této technologie došlo k rozeznatelnému poškození už u prvního trnu $\varnothing 32$ mm. Jelikož je zinek tvárný, nastalo pouze zdeformování vrstvy ochranné, ale trhliny nevznikly. Při pokračování zkoušky na ostatních trnech s menšími průměry se deformace zvětšovala, ale trhlinka vznikala až u průměru 3mm.

Metalizací

U metody pokovení žárovým nástřikem se trhlinky vyskytly už u trnu o průměru 32mm. Při pokračování zkoušky se trhliny zvětšovaly a zároveň docházelo k odlupování ochranné vrstvy.

Galvanickým zinkováním

Galvanicky zinkovaný vzorek při této zkoušce vytvářel první mikrotrhliny již po prvním ohýbání. Při následném ohýbání se mikrotrhliny spojovaly a utvářely větší trhliny až na základní materiál. U této zkoušky se opět vzorky z kyselé lázně a alkalická lázeň chovaly stejně, tudíž jsem použil jen jednu hodnotu.

Tabulka 4 Vznik rozeznatelného poškození při ohýbání přes válcové trny

Průměr trnu	Žárovým pokovováním suchým způsobem	Metalizací	Galvanickým zinkováním
$\varnothing 32$	Nastalo	Nastalo	Nastalo
$\varnothing 19$	Pokračovalo	Pokračovalo	Pokračovalo
$\varnothing 13$	Pokračovalo	Pokračovalo	Pokračovalo
$\varnothing 8$	Pokračovalo	Pokračovalo	Pokračovalo
$\varnothing 3$	Pokračovalo	Pokračovalo	Pokračovalo

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 5 Vznik mikrotrhlin

Průměr trnu	Žárovým pokovováním suchým způsobem	Metalizací	Galvanickým zinkováním
Ø 32	Nenastaly	Vznikly	Vznikly
Ø 19	Nenastaly	Zvětšování	Zvětšování
Ø 13	Nenastaly	Zvětšování	Zvětšování
Ø 8	Nenastaly	Zvětšování	Zvětšování
Ø 3	Vznikly	Zvětšování	Zvětšování

Zdroj: Vlastní zpracování

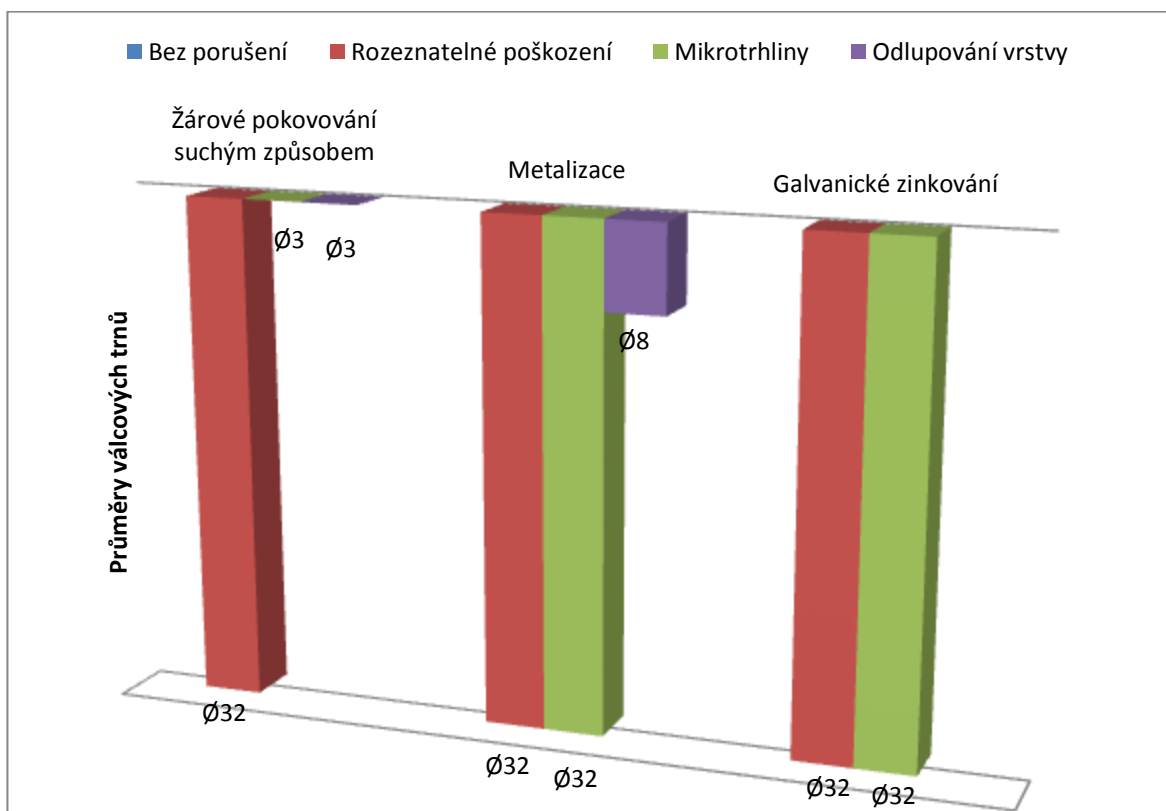
Tabulka 6 Odlupování vrstvy

Průměr trnu	Žárovým pokovováním suchým způsobem	Metalizací	Galvanickým zinkováním
Ø 32	Nenastalo	Nenastalo	Nenastalo
Ø 19	Nenastalo	Nenastalo	Nenastalo
Ø 13	Nenastalo	Nenastalo	Nenastalo
Ø 8	Nenastalo	Vzniklo	Nenastalo
Ø 3	Vzniklo	Pokračovalo	Nenastalo

Zdroj: Vlastní zpracování

Zkouška ohýbání vzorků přes válcové trny je zaznamenána v tabulce výše. Tato zkouška opět vyšla lépe pro galvanicky zinkované vzorky, jelikož u nich nenastalo odlupování vrstvy. Jinak u všech vzorků bylo zaznamenáno znatelné porušení povlaku a mikrotrhliny. Průběh zkoušky je lépe znatelný z následujícího grafu, kde jsou sledované indicie vyznačeny.

Graf 2 Ohybová zkouška přes válcový trn



Zdroj: Vlastní zpracování

10.1.4 Zkouška v solné mlze

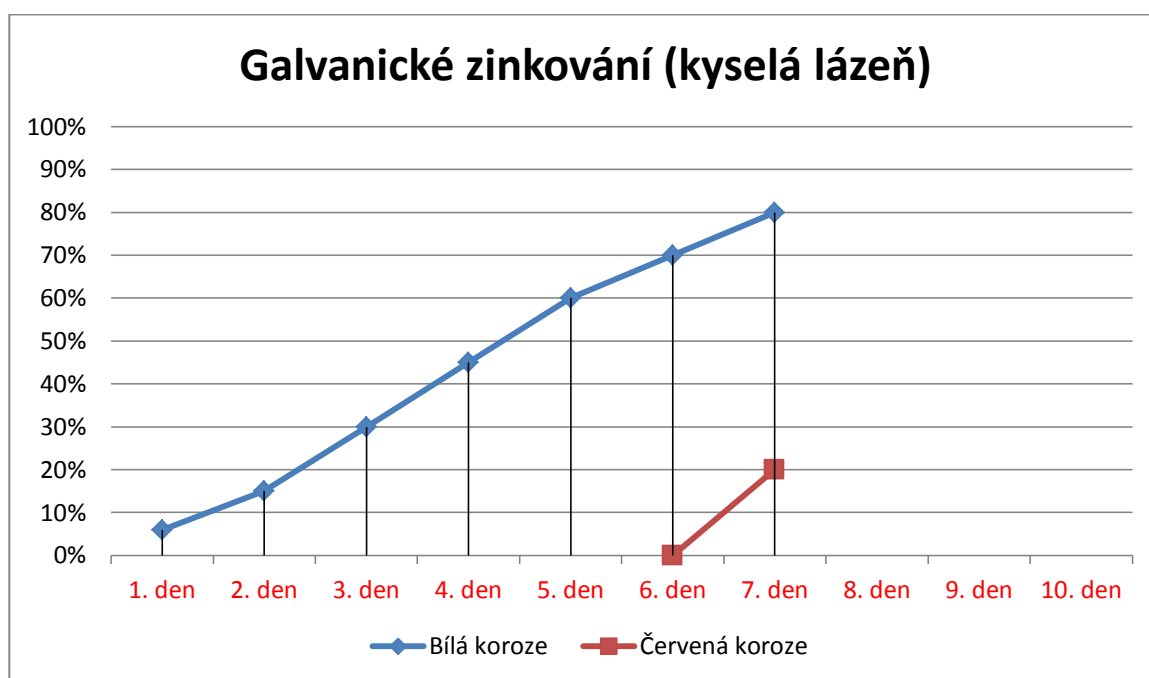
Tato zkouška byla provedena po všech mechanických zkouškách u jednotlivých metod pokovení, kdy se vzorky vložily do solné komory a byly testovány solnou mlhou. Zkouška v umělé atmosféře měla stanovenou dobu průběhu na 240 hodin - 10 dní. Za pomoci této zkoušky jsme chtěli zjistit rozsah a celkové napadení koroze u mechanicky namáhaných, zinkovaných vzorků. Vzorky byly každý den kontrolovány a následně zhodnoceny. Celý průběh zkoušky je zapsán v tabulce 7 níže a pro lepší znázornění je možné vidět na grafu 3,4, kde jsou zobrazeny průběhy korozní zkoušky na galvanicky zinkovaných vzorcích technologií alkalické bezkyanidové a slabě kyselá lázně. Hlavním cílem této zkoušky bylo zaznamenat červenou korozi v souladu s časem a typem protikorozi ochrany.

Tabulka 7 Zkouška v solné komoře

Typ povlaku	1. den	2. den	3. den	4. den	5. den	6. den	7. den	8. den	9. den	10. den
Žárové pokovování suchým způsobem	Bílá koroze 4%	Bílá koroze 9%	Bílá koroze 15%	Bílá koroze 20%	Bílá koroze 35%	Bílá koroze 45%	Bílá koroze 60%	Bílá koroze 75%	Bílá koroze 85%	Bílá koroze 95%
Metalizace	Bílá koroze 6%	Bílá koroze 10%	Bílá koroze 20%	Bílá koroze 30%	Bílá koroze 40%	Bílá koroze 60%	Bílá koroze 70%	Bílá koroze 75%	Bílá koroze 85%	Bílá koroze 98%
Galvanické zinkování (kyselá lázeň)	Bílá koroze 6%	Bílá koroze 15%	Bílá koroze 30%	Bílá koroze 45%	Bílá koroze 60%	Bílá koroze 70%	Bílá koroze 80%, Červená koroze 20%			
Galvanické zinkování (alkalická lázeň)	Bílá koroze 6%	Bílá koroze 15%	Bílá koroze 20%	Bílá koroze 30%	Bílá koroze 45%	Bílá koroze 50%	Bílá koroze 60%	Bílá koroze 75%	Bílá koroze 85%, Červená koroze 15%	

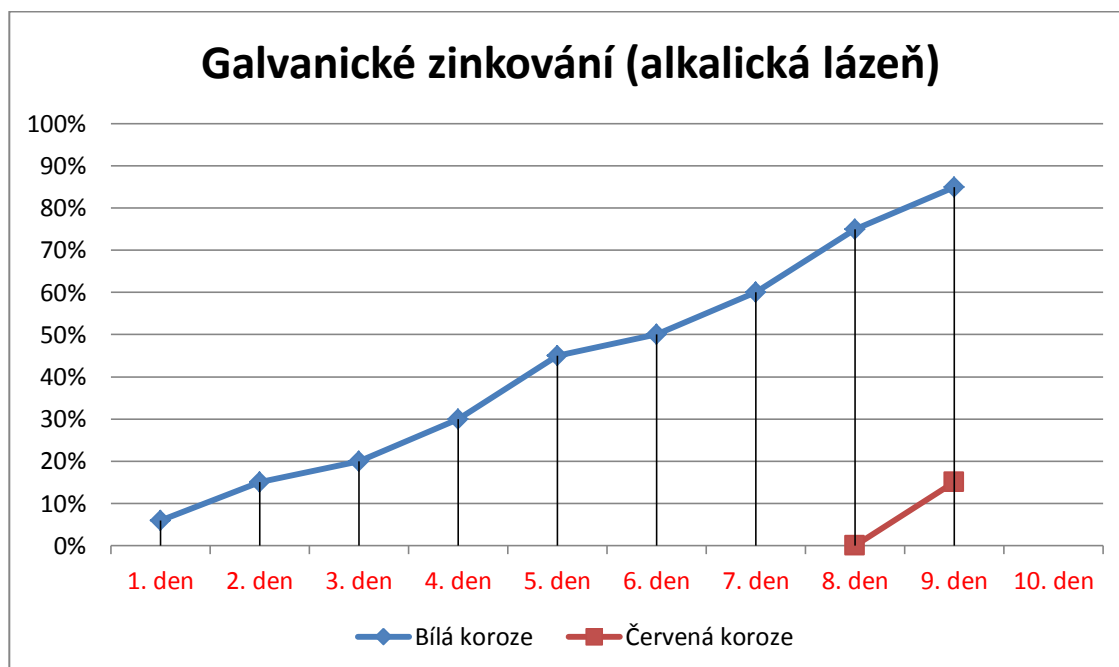
Zdroj: Vlastní

Graf 3 Korozní zkouška technologie kyselá lázeň



Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 4 Korozní zkouška technologie alkalické lázně

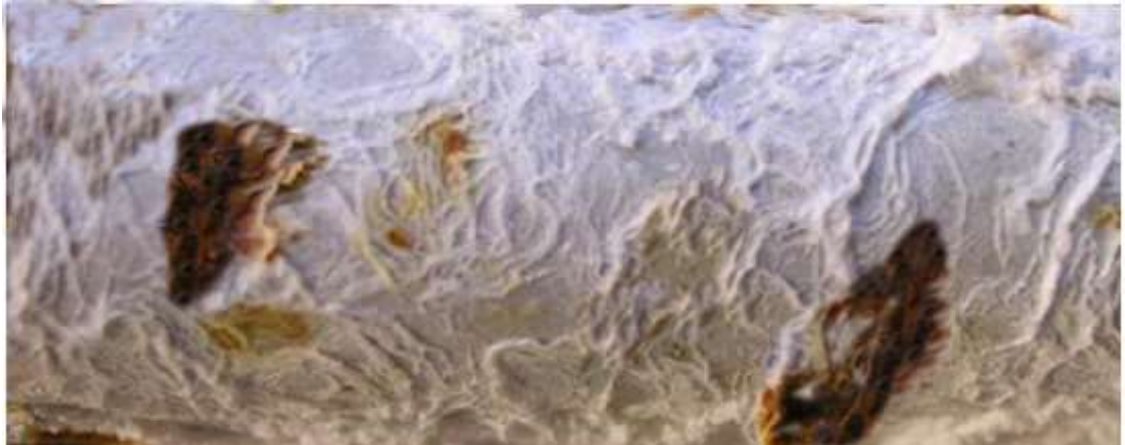


Zdroj: Vlastní zpracování

Solná komora na povrchu vzorků vytvořila bílou korozi, která u zinkových povlaků je skoro samozřejmostí a nehledí se na ni jako na chybu, nýbrž je akceptovaná i podle normy ČSN EN ISO 1461. Neakceptovatelná červená koroze se vyskytla pouze u galvanicky zinkovaných dílů (kyselá

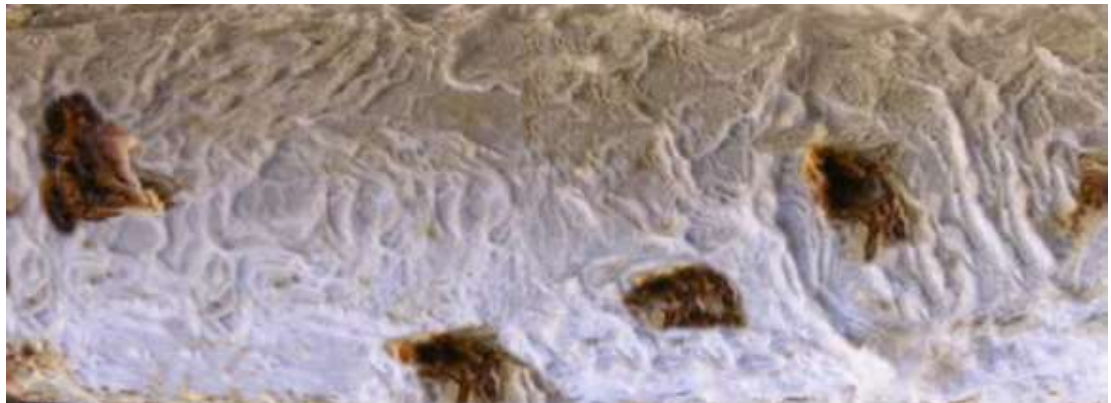
lázeň) 7. den a následně pak u alkalické lázně 9. den, jak můžeme názorně vidět na obrázcích č. 17 a č. 18 níže.

Obrázek č. 17 Zkušební vzorek po mechanickém namáhání po 7 dnech



Zdroj: Vlastní

Obrázek č. 18 Zkušební vzorek po mechanickém namáhání po 9 dnech



Zdroj: Vlastní

Za hlavní důvod vzniku této koroze můžeme považovat tenkost galvanicky nanesené vrstvy zinku a závažné porušení při ohýbání vzorku (vzniklé mikrotrhliny, které spojovaly a utvářely větší trhliny až na základní materiál). Vzhledem k tomu, že solná mlha způsobuje úbytek zinkové vrstvy, tak tento vzorek byl nejméně chráněn proti korozi. Ze zmíněného tedy vyplývá, že tento díl podlehl napadení červenou korozí. Výskyt červené koroze znamená napadení základního materiálu korozí. V případě žárového zinkování suchým způsobem a u metalizovaného zinku, jak můžeme pro srovnání vidět na obrázku č. 19 a č. 20., se červená koroze nevyskytla.

Obrázek č. 19 Zkušební vzorek po mechanickém namáhání po 10 dnech.



Zdroj: Vlastní

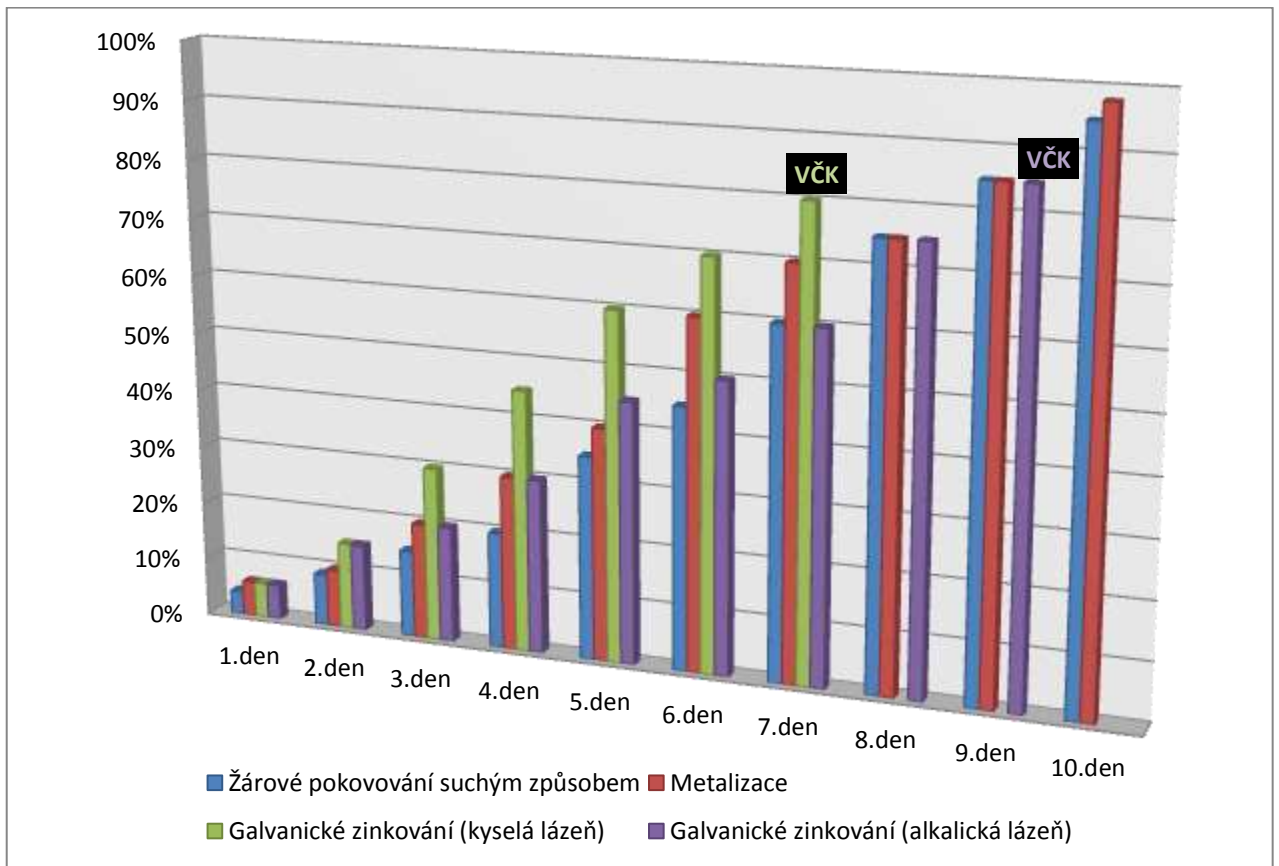
Obrázek č. 20 Zkušební vzorek po mechanickém namáhání po 10 dnech



Zdroj: Vlastní

Při této zkoušce bylo možné pozorovat, že se u těchto metod zinkování projevil samo - hojivý efekt, kterým je zinek známý. Veškeré získané hodnoty jsou zaznamenány v grafu č. 5 níže, který nám poslouží k názornějšímu náhledu a celkovému přehledu o průběhu zkoušky.

Graf 5 Zkouška v solné komoře



POZNÁMKA: VČK znamená vznik červené koroze. Následné pokračování vývoje červená koroze není na grafu zaznamenané, jelikož její projevení znamenalo dosažení cíle zkoušky a pro vzorek vyjmutí z komory, čili konec testování vzorku.

U galvanicky zinkovaného vzorku (kyselá lázeň) činila projevená červená koroze osmý den 20% a bílá koroze 80%, dny přede tím byla patrná pouze bílá koroze. U galvanicky zinkovaného (alkalická lázeň) vzorku se projevila červená koroze až devátý den, kdy činila 15% a bílá koroze 85%. U ostatních vzorků se červená koroze nevyskytla, a tudíž této zkoušce vyhověly lépe než galvanicky zinkované vzorky. Na následujících obrázcích můžeme vidět jednotlivé vzorky po jejich testování.

11 Diskuse výsledků

Na základě stanovené metodiky jsem provedl vyhodnocení jednotlivých zkoušek u zkušebních vzorků s naneseným zinkovým povlakem následujícími technologiemi: žárovým pokovováním suchým způsobem, metalizací a galvanickým zinkováním (slabě kyselou lázní a alkalickou bezkvanidovou lázní).

Vzorky zinkované čtyřmi různými technologiemi byly, pro možnost srovnání a následné vyvození závěrů, testovány dle zvolené metodiky za stejných podmínek. Cílem bylo určit vhodnost použití galvanického zinkování a určit základní parametry, které tuto a ostatní technologie ovlivňují.

První provedená zkouška byla zkouška tloušťky povlaku. Ta nám posloužila k porovnání tloušťky povlaků pozinkovaných vzorků u jednotlivých technologií. Tato zkouška ukázala, že největší tloušťka povlaku je vytvářena metalizací. Zkoušku jsem provedl, jelikož se domnívám, že tloušťka povlaku u jednotlivých vzorků hraje významnou roli v souvislosti se vznikem koroze v důsledku mechanického namáhání.

Druhou zkoušku, kterou jsem provedl, byla zkouška hloubení podle Erichsena. Tato zkouška prokázala, že vrstva u žárového pokovování suchým způsobem při mechanickém namáhání vytvářela pouze mikrotrhliny, které však nesnižují korozní odolnost. U metalizovaného vzorku se první známky poškození vyskytly v hloubce 0,8 mm a následkem dalšího zatěžování začalo docházet k odlupování vrstvy. U technologií provedených galvanickým způsobem nebylo zaznamenáno žádné poškození.

Další provedená zkouška byla ohybová zkouška přes válcový trn. U žárového pokovování suchým způsobem vzorky prokázaly rozeznatelné poškození již po prvním ohybu přes trn o průměru 32 mm. Mikrotrhliny a odlupování vrstvy nastalo až u posledního ohybu přes trn o průměru 3 mm, přičemž k porušení základního materiálu nedošlo. U zinkovaného vzorku se metalizací objevily mikrotrhliny již po prvním ohybu. Následným ohýbáním se poškození zvětšovalo a docházelo i k odlupování vrstvy. Tato poškození sahala svým rozsahem až na základní materiál. Vzorky pozinkované galvanickou technologií vykazovaly znatelné poškození už na trnu o průměru 32 mm a následným pokračováním s menšími průměry se poškození zvětšovalo a mělo stejný důsledek jako u metalizace.

Po těchto mechanických zkouškách byla provedena ve své podstatě hlavní zkouška, a to zkouška na korozní odolnost v umělé atmosféře, kde byly jednotlivé vzorky pozorovány na korozní odolnost po předchozím mechanickém namáhání. Tato zkouška trvala 10 dní. Hlavní

jevy, které byly u vzorků v závislosti na čase sledovány, měly podobu bílé a červené koroze. Když vezmeme v potaz předchozí mechanické namáhání, tak nám největší poškození vychází u vzorků zinkovaných technologií metalizace. Navzdory tomu se při zkoušce v solné komoře nevytvořila koroze základního materiálu (červená koroze). Tento úkaz je možné přisuzovat tloušťce materiálu, jelikož metalizované vzorky vykazovaly největší tloušťku povlaku, a to okolo 162 μm . Zinkované vzorky suchým způsobem, které měly také podstatně větší tloušťku povlaku oproti galvanicky zinkovaným vzorkům (cca 55 μm), vykazovaly při mechanickém namáhání mikrotrhliny. Kromě toho u nich také docházelo k odlupování vrstvy. V solné komoře dobře odolaly korozi základního materiálu. U galvanicky zinkovaných vzorků sehrála tloušťka rovněž hlavní roli, jelikož technologie slabě kyselého galvanického zinkování vykazuje nižší tloušťku naneseného povlaku než technologie alkalického bezkyanidového procesu. V souladu s uvedeným vznikala červená koroze u technologie slabě kyselého galvanického zinkování o dva dny dříve (7. den) než u alkalického bezkyanidového procesu (9. den).

Díky provedeným zkouškám je možné říci, že koroze působí rychleji u tenčích galvanicky zinkovaných povlaků než u jiných alternativ zinkovaných povlaků, které mají větší tloušťku.

12 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s technologií galvanického zinkování, určit vhodnost použití této technologie pro různé kovové materiály a určit základní parametry, které tuto technologii ovlivňují.

Tato práce přibližuje nejen téma koroze a protikorozi ochrany v obecné rovině, ale konkrétně se zaměřuje i na získání poznatků užitečných pro strojírenskou praxi, kde je otázka kvalitní protikorozi ochrany zcela stěžejní. V aplikační části práce byla realizována experimentální zkouška u galvanicky zinkovaných vzorků technologií slabě kyselou a alkalickou bezkyanidovou lázní. Dále pro porovnání technologií byly do testování zařazeny i metalizované a žárově pozinkované vzorky suchým způsobem. Zkoušky poukázaly na hlavní parametry, které tyto technologie ovlivnily. Experimentálními zkouškami bylo dosaženo závěru, že při mechanickém namáhání galvanicky zinkovaných součástí s ohledem na vznik koroze, který velice ovlivňuje vlastnosti materiálu a jeho životnost, sehrává tloušťka a rovnoměrnost povlaku velice důležitou roli. Z pohledu tloušťky disponuje galvanické zinkování zřetelně menší vrstvou povlaku ve srovnání s jinými povlaky protikorozi ochrany (žárové zinkování suchým způsobem a metalizace). Srovnáme-li, co se tedy týče hlediska tloušťky, galvanické zinkování alkalickou lázní a slabě kyselou lázní, zjistíme, že galvanické zinkování alkalickou lázní vykazuje větší tloušťku. Korozi zkouška, která byla realizována v solné komoře na galvanicky pozinkovaných vzorcích alkalickou nebo slabě kyselou lázní, obdobně poukázala na význam tloušťky povlaku. Součásti, které byly povlakovány alkalickou lázní, tudíž byla jejich tloušťka větší, prokazovaly větší odolnost vůči korozi než vzorky galvanicky zinkované technologií slabě kyselou lázní.

Při mechanických zkouškách se nejlépe, respektive nejodolněji, projeví vzorky galvanicky zinkované. U ostatních zmiňovaných technologií nanášení zinkovaného povlaku totiž na rozdíl od galvanicky zinkovaných vzorků došlo k zřetelnému porušení povlaku a odlupování vrstvy. Přesto v korozi zkoušce tyto povlaky obstály lépe. Neobjevila se u nich koroze základního materiálu (červená koroze), jako tomu nastalo u galvanicky zinkovaných vzorků. Ze zmíněného lze usoudit, že i v tomto případě měla zřetelně vyšší tloušťka ostatních technologií (žárové zinkování suchým způsobem a metalizace) vliv na vznik červené koroze. Budeme-li brát v potaz jen galvanicky zinkované vzorky alkalickou bezkyanidovou a slabě kyselou technologií, pak nám korozi zkouška ukázala, že se koroze objevila dříve u slabě kyselou technologie a posléze až

u alkalicky bezkyanidové technologie. Zjištěný fakt – dřívější vznik červené koroze u vzorků, jejichž povlak pochází ze slabě kyselé lázně, můžeme tedy být ovlivněn také zmiňovanou tloušťkou.

Na základě těchto poznatků jsme tedy dospěli k závěru, že tloušťku galvanicky zinkovaného povlaku můžeme považovat za stěžejní parametr ovlivňující odolnost proti korozi. Co se týče vhodnosti užití galvanicky zinkovaných technologií, mají obě své uplatnění v odvětví povrchových úprav, a tudíž není možné jasně stanovit, která z těchto technologií je vhodnější. Nicméně alkalickou bezkyanidovou technologií docílíme rovnoměrnějších zinkovaných povlaků. Lze tedy říci, že je vhodnější pro tvarově složitější součásti určené do externího korozního prostředí (např. automobilní průmysl). Tato technologie má oproti slabě kyselé technologii další velkou výhodu z pohledu působení na životní prostředí. V místech, kde jsou vypouštěny odpadní vody, mají totiž alkalické lázně menší dopad, co se týče škodlivosti. Z pohledu ekonomických nákladů jsou tyto technologie srovnatelné.

Jako námět budoucího experimentálního zkoumání navrhuji provést zkoušky, které by byly schopny přesněji simulovat prostředí a mechanické zatížení, ve kterém by tyto galvanicky zinkované součásti působily.

13 Seznam zdrojů

BARÁNEK, Tomáš. *Žárové zinkování vysokopevnostních ocelí*. Brno, 2013. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

BARTONÍČEK, Robert. *Navrhování protikorozi ochrany*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. Koroze a ochrana materiálů.

ČERVENÝ, Jaroslav. *Koroze a protikorozi ochrana automobilů*. 1. vyd. Praha: Nadas, 1981. Knižnice motoristů.

DOŠKÁŘ, Josef a Jan GABRIEL. *Základy galvanotechniky: úvodní informace pro pracovníky v galvanovnách : určeno pro dělníky, učně a studenty*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963. Kurs technických znalostí.

DOŠKÁŘ, Josef. *Základy galvanotechniky: určeno pro střední i vyšší kádry v kovoprůmyslu a pro studující průmyslových i technických škol*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1953. Knižnice kovoprůmyslu.

Elcometr [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.elcometer.com/en/physical-test-equipment/elasticity-deformation/cupping-testing/elcometer-1620-cupping-tester.html>

HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-245-6.

KOPEC, Rudolf, Otakar MUDROCH a Rudolf MAŠTALÝŘ. *Přehled galvanotechniky: souborná příručka pro praxi s technologickými předpisy : určeno pro galvaniséry i techniky v provozu*. 1. vyd. Praha: Práce, 1955. Knižnice Svazu zaměstnanců ve strojírenství.

KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.

KREIBICH, Viktor. *Koroze a technologie povrchových úprav: návody ke cvičení*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-01-00750-2.

KREISLOVÁ, Kateřina. *Přehled metod měření tloušťky povlaků*. Praha: Český normalizační institut, 2008. ISBN 978-80-7283-251-4.

- LÁZNÍČKOVÁ, Alice a Vladimír KUBÍČEK. *Základy fyzikální chemie: vybrané kapitoly pro posluchače Farmaceutické fakulty*. 3. vyd. V Praze: Karolinum, 2014. ISBN 978-80-246-2791-5.
- MACHOVÁ, Elena. *Galvanické povrchové úpravy: výberový zoznam z domácej a zahraničnej literatúry*. Bratislava: Slovenská technická knižnica, 1974. Výberová bibliografie.
- MAREK, Tomáš. *Hodnocení vlastností zinkových protikorozičních vrstev*. Brno, 2011. Mendelova univerzita v Brně.
- MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 1995. ISBN 80-7078-953-0.
- OSTROJ A.S. Ostroj a.s.: Galvanovna [online]. © 2012 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/galvanovna>
- PÁVEK, Pavel. *Srovnávací analýza technologií používaných v galvanickém zinkování*. Zlín, 2013. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- PILOUS, Václav. *Technologie kovových materiálů*. 2. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2008. ISBN 978-80-7043-699-8.
- PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.
- RUML, Vladimír a Miloslav SOUKUP. *Galvanické pokovování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981.
- SEDLÁČEK, Vladimír. *Povrchy a povlaky kovů*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1992. ISBN 80-01-00799-5.
- ZDAŘIL, L. *Zinkové povlaky*. Brno: Vysoké učení technického v Brně, Fakulta chemická, 2011. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Zmrzlý, Ph.D.

14 Seznam použitých norem

ČSN ISO 9223 Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosfér. Klasifikace, 1994

ČSN EN ISO 1461 Žárové povlaky zinku nanášené ponorem na železných a ocelových výrobcích-
Specifikace a zkušební metody, 1999

ČSN ISO 1519 Ohybová zkouška na válcovém trnu, 1973

ČSN ISO 1520 Zkouška hloubením, 1973

ČSN ISO 1463 Zkouška tloušťky povlaku, 1974

ČSN ISO 9227 Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou, 1994

ČSN 22 4804-05 Technologie broušení, 1982

ČSN EN ISO 2081 Tloušťka povlaku- Galvanicky pozinkovaných součástí, 1998

15 Seznam tabulek popř. obrázků a grafů

Obrázek č. 1 Některé druhy korozního napadení	5
Obrázek č. 2 Schéma katodické ochrany	6
Obrázek č. 3 Schéma funkce různých inhibitorů	7
Obrázek č. 4 Schéma principů elektrochemické ochrany	8
Obrázek č. 5 Zinkovací linka	10
Obrázek č. 6 Druhy kartáčů	13
Obrázek č. 7 Schéma uzavřené tryskací komory se vzduchovým tryskačem.....	14
Obrázek č. 8 Schéma rozvrstvení	15
Obrázek č. 9 Schéma emulgace mastnoty	16
Obrázek č. 10 Schéma oplachové vany s protiproudem	20
Obrázek č. 11 Principy Hullovy vaničky	27
Obrázek č. 12 Hloubkoměr	30
Obrázek č. 13 Zkušební zařízení pro zkoušku hloubením.....	30
Obrázek č. 14 Schéma přístroje pro zkoušku hloubením	31
Obrázek č. 15 Zařízení pro zkoušku ohybem přes válcový trn se zkušebními trny	32
Obrázek č. 16 Solná komora.....	32
Obrázek č. 17 Zkušební vzorek po mechanickém namáhání po 7 dnech	42
Obrázek č. 18 Zkušební vzorek po mechanickém namáhání po 9 dnech	42
Obrázek č. 19 Zkušební vzorek po mechanickém namáhání po 10 dnech.	43
Obrázek č. 20 Zkušební vzorek po mechanickém namáhání po 10 dnech	43

Tabulka 1 Přehled zkoušek	29
Tabulka 2 Hodnoty tloušťky povrchu	35
Tabulka 3 Hodnoty hloubicí zkoušky	36
Tabulka 4 Vznik rozeznatelného poškození při ohýbání přes válcové trny	37
Tabulka 5 Vznik mikrotrhlin	38
Tabulka 6 Odlupování vrstvy	38
Tabulka 7 Zkouška v solné komoře	40
Graf 1 zkoušky hloubením.....	36
Graf 2 Ohybová zkouška přes válcový trn.....	39
Graf 3 Korozní zkouška technologie kyselá lázeň.....	41
Graf 4 Korozní zkouška technologie alkalické lázně	41
Graf 5 Zkouška v solné komoře.....	44