

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Studium vlivu drsnosti kovového povrchu na vlastnosti povrchu

Study of Influence Roughness Metal Surface on Surface Properties

Student:

Bc. Miroslav Soral

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Soural**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Specializace: 20 Strojírenská technologie

Téma: **Studium vlivu drsnosti kovového povrchu na vlastnosti povrchu**
Study of Influence Roughness Metal Surface on Surface Properties

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor současného stavu tvorby mikrogeometrie povrchu substrátu.
2. Prostudujte vliv mikrogeometrie povrchu substrátu na vlastnosti povrchu.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální práce a zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.

BURAKOWSKI, T., WIERZCHOŃ, T.: *Surface Engineering of Materials*. CRC Press LLC, 1999. 592 s. ISBN 0-8493-8225-4.

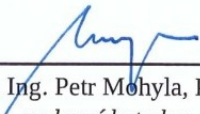
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016

..... *Soud*

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 7.5.2016.....

Soural
.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Miroslav Soural

Adresa trvalého pobytu autora práce: Polní 9, Zábřeh 789 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Soural, M. *Studium vlivu drsnosti kovového povrchu na vlastnosti povrchu*. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016, 92 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Diplomová práce se zabývá studiem vlivu drsnosti kovového povrchu na vlastnosti povrchu. V teoretické části je popsána charakteristika povrchu, povrchové úpravy kovů a koroze. Experimentální část se zabývá studiem tlakových nádob, které se skládaly ze dvou částí a to ocelové a měděné. U ocelové otryskané části je stanovena čistota, drsnost povrchu a kotvící profil. Dále vady, které se vyskytly u těchto tlakových nádob, mikrotvrдость, makrostruktura a mikrostruktura. U měděné trubky je zkoumána mikrotvrдость, mikrostruktura a v poslední řadě důvod výskytu galvanické koroze. Návrh metodiky prací a vyhodnocení provedených zkoušek jsou zpracované ve formě grafů, tabulek a fotografií.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Soural, M. *Study of Influence Roughness Metal Surface on Surface Properties*. Ostrava: Department of mechanical technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2016, 92 p. Head of the thesis: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

This master thesis deals Study of Influence Roughness Metal Surface on Surface Properties. The theoretical part describes the characteristics of the surface, metal coatings and corrosion. The experimental part describes the study of pressure vessels, which consists of two parts, steel and copper. For blasted steel part are determined purity, surface roughness and blasting profile. Furthermore defects that have occurred in these pressure vessels, micro-hardness, macrostructure and microstructure. For copper pipe are examined microhardness, microstructure and last reason for the occurrence of galvanic corrosion. Proposed methodology of work and evaluation of tests are presented in the form of diagrams, tables and photos.

OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE

ÚVOD.....	11
1 CHARAKTERISTIKA POVRCHU STROJÍRENSKÝCH MATERIÁLŮ	12
1.1 VLASTNOSTI KOVŮ NA FÁZOVÉM ROZHRANÍ.....	12
1.1.1 Ideální povrch krystalu a vlastnosti povrchu kovů.....	12
1.1.2 Geometrické a mechanické vlastnosti povrchu	13
1.1.2.1 Drsnost povrchu	15
1.1.3 Fyzikální vlastnosti povrchu.....	17
1.1.4 Chemické vlastnosti povrchu.....	18
2 POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ.....	19
2.1 ČIŠTĚNÍ A PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY	19
2.1.1 Mechanické úpravy povrchu	19
2.1.1.1 Otryskávání	20
2.1.1.2 Omílání	22
2.1.1.3 Broušení	23
2.1.1.4 Kartáčování	24
2.1.1.5 Leštění.....	25
2.1.2 Chemické úpravy povrchu.....	25
2.1.2.1 Odmašťování.....	25
2.1.2.2 Moření.....	27
3 KOROZE KOVŮ	27
3.1 ROZDĚLENÍ KOROZE	27
3.1.1 Chemická koroze	28
3.1.2 Elektrochemická koroze	28
3.1.3 Rovnoměrná koroze.....	28

3.1.4 Nerovnoměrná koroze	29
3.1.5 Koroze v atmosféře.....	32
3.1.6 Koroze ve vodě.....	33
3.1.7 Koroze v plynech.....	33
3.1.8 Koroze v půdě.....	33
3.1.9 Koroze působením makročlánků	34
3.2 OCHRANA MATERIÁLU PROTI KOROZI.....	34
3.2.1 Ochrana korozního prostředí	35
3.2.2 Elektrochemická ochrana kovů	37
3.2.3 Volba vhodného konstrukčního materiálu.....	37
3.2.4 Tvorba ochranných povlaků	38
4 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	39
5.1 VÝBĚR, PŘÍPRAVA A ZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	40
5.2 STANOVENÍ ČISTOTY OTRYSKANÉHO POVRCHU	41
5.3 STANOVENÍ DRSNOSTI POVRCHU ISO KOMPARATOREM (G)	45
5.4 STANOVENÍ KOTVÍČÍHO PROFILU OTRYSKANÉHO POVRCHU	49
5.5 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU POMOCÍ MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE	53
5.6 VADY VYSKYTUJÍCÍ SE U VŠECH TLAKOVÝCH NÁDOB.....	54
5.7 MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI	57
5.8 METALOGRAFICKÁ PŘÍPRAVA VZORKŮ + LEPTÁNÍ K VIZUALIZACI STRUKTUR.....	61
5.10 KOROZNÍ ZKOUŠKA.....	69
5.10 MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI	72
5.11 METALOGRAFICKÁ PŘÍPRAVA VZORKŮ + LEPTÁNÍ K VIZUALIZACI STRUKTUR.....	74
5.12 Vyhodnocení tryskání s ohledem na použitý tryskací materiál.....	79
5.13 Měření průměru trubky před a po otryskání.....	80

ZÁVĚR.....	81
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	84
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....	87

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Ag	stříbro
Al	hliník
Au	zlato
CO ₂	oxid uhličitý
Cr	chrom
Cu	měď
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
Fe	železo
H	vodík
Hg	rtuť
Ir	základní délka [mm]
ISO	mezinárodní norma
Mg	hořčík
Mn	mangan
Na	sodík
Ni	nikl
Pb	olovo
pH	stupnice kyselosti a zásaditosti
Pt	platina
Ra	střední aritmetická úchylka profilu [μm]
Rp	největší výška výstupku profilu [μm]

Rq	průměrná kvadratická úchylka profilu [μm]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu [μm]
Rz	největší výška profilu [μm]
Sn	cín
Ti	titan
V	volt
Zn	zinek
Zp	výška výstupku profilu [μm]
Zv	hloubka prohlubně profilu [μm]

ÚVOD

Povrchové úpravy patří k jednomu z nejdůležitějších strojírenských technologií, neboť zajišťují ochranu výrobků proti korozi, jejich požadovaný vnější vzhled a dále upravují nebo mění jejich funkční vlastnosti. Nejčastějším používaným způsobem ochrany kovových materiálů vůči atmosférickým vlivům jsou nátěry. Mezi hlavní důvody jejich používání patří vysoký ochranný účinek, snadná aplikace na povrch a ekonomická výhodnost. Velice důležitou podmínkou pro dobrou přilnavost nátěru je čistota podkladu. [1]

Stejněměrný vzhled, dostatečnou přilnavost nátěrového systému k substrátu a dobrou odolnost vůči korozi dosáhneme správnou přípravou povrchu podkladového materiálu před aplikací nátěru. Povrch většinou upravujeme dvoustupňově a rozdělujeme na dvě základní skupiny pracovních operací (mechanické úpravy povrchu a chemické úpravy povrchu). [9]

Technologie opracování povrchu před aplikováním povlaku má velký vliv na drsnost povrchu. V kontaktu s okolním korozním prostředím očištěný povrch intenzivněji reaguje za vzniku chemických sloučenin, které s časem mění hodnotu drsnosti povrchu. Touto změnou může dojít ke zhoršení přilnavosti používaných ochranných povlaků. Charakteristické to je zejména pro aplikaci ochranných nátěrů na kovové podklady v terénu (mostní konstrukce, stožáry, velkoobjemové nádrže apod.). [1]

Předložená diplomová práce je zaměřená na studium vlivu drsnosti kovového povrchu na vlastnosti povrchu. Práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. Teoretická část se věnuje charakteristice povrchu strojírenských materiálů, povrchové úpravě kovů před nanášením ochranných povlaků, korozi kovů. Experimentální část se zabývá studiem tlakových láhví, které se skládají ze dvou částí, a to ocelové nádoby a měděné trubky. U ocelové nádoby se zkoumá čistota povrchu po otryskání, drsnost otryskaného povrchu a kotvicí profil, dále mikrotvrdomost otryskané a neotryskané části a koroze otryskané a neotryskané tlakové láhve. Experiment se zabývá i makrostrukturou a mikrostrukturou obou částí tlakových láhví. U měděné trubky je zkoumána mikrotvrdomost vnější otryskané části a vnitřní neotryskané části povrchu.

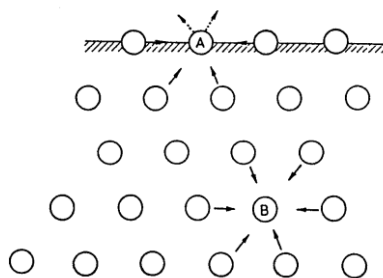
1 CHARAKTERISTIKA POVRCHU STROJÍRENSKÝCH MATERIÁLŮ

1.1 VLASTNOSTI KOVŮ NA FÁZOVÉM ROZHRAŇÍ

Každý kovový nebo nekovový předmět je ohraničen povrchem, který je v kontaktu s okolním prostředím. Dochází ke styku kovových, kapalných, nekovových a plyných fází. Ve většině případů je skutečný povrch nekovu nebo kovu prostředníkem působení vnějšího prostředí a proto se musíme zabývat vlastnostmi nebo změnami materiálu i pod povrchem. [17]

1.1.1 Ideální povrch krystalu a vlastnosti povrchu kovů

Atom na povrchu krystalu je obklopen určitým počtem sousedících atomů. Síly působící mezi atomem na povrchu jsou větší než síly působící mezi atomem uvnitř mřížky. Při interakci plynů s povrchy pevných látek můžeme sledovat několik různých jevů: [17]



Obrázek č. 1 - Schéma sil, které působí na atom v povrchu (A) a uvnitř krystalu (B) [8]

Adsorpce

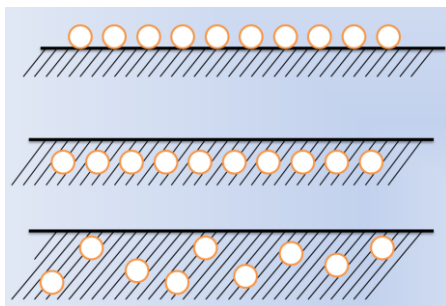
Je to separační proces, kdy dochází k hromadění plynné látky ze směsi plynů nebo látky rozpuštěné v kapalině na povrchu účinkem přitažlivých sil. Existují dva druhy adsorpce. První je fyzikální adsorpce, která vzniká na podstatě Van der Waalových přitažlivých sil a druhá je chemisorpce, kterou tvoří chemické síly a je pevnější než fyzikální adsorpce. [26]

Inkorporace

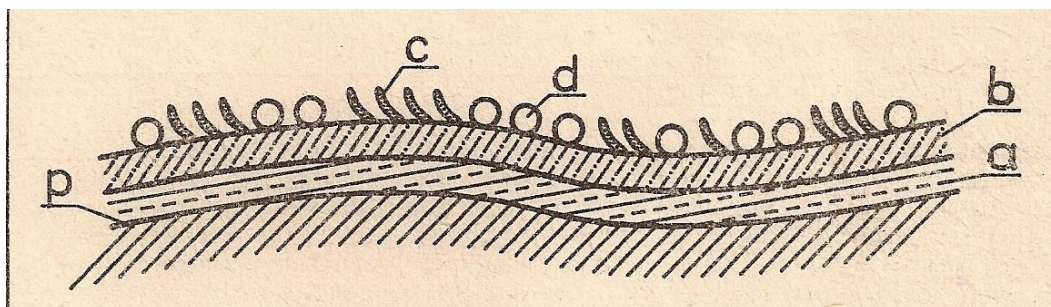
Dochází k proniknutí částic do povrchové vrstvy. [26]

Absorpce

Pronikání částic do větších hloubek. [26]



Obrázek č. 2 – Adsorpce, inkorporace, absorpce



Obrázek č. 3 – Povrchové vrstvy na leštěném povrchu (*p* – povrch, *a* – směs kovů, oxidů, leštících past, *b* – oxidová vrstva, *c* – adsorbované tuky, *d* – adsorbovaný kyslík nebo jiné plyny) [17]

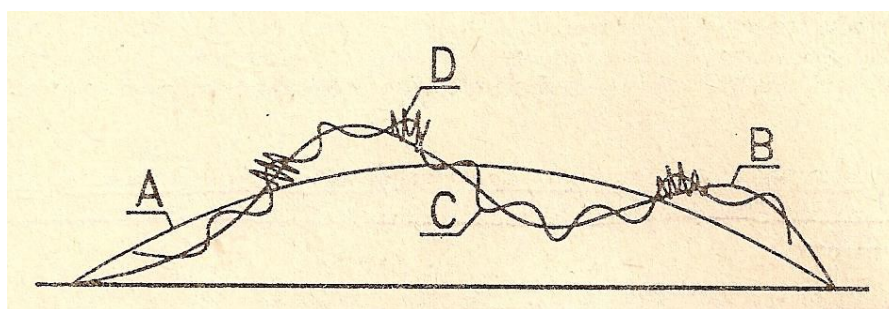
1.1.2 Geometrické a mechanické vlastnosti povrchu

Geometrické vlastnosti povrchu jsou ve většině případů velmi důležitým faktorem. Jelikož ani povrch u monokrystalů s úplnými atomovými rovinami není dokonale rovinný, tím čtenější jsou rozdíly u technických povrchů. Tyto rozdíly vznikají při přípravě povrchu nebo působením prostředí a vnějších sil. [17]

V praxi se rozlišují tři druhy nerovností: [17]

- mimořádné nerovnosti (makronerovnosti) – trhliny, nepravidelné rýhy, náhodné nerovnosti odlitků nebo výkovků (A)
- vlnitost povrchu – periodicky opakující se nerovnost, která vzniká hlavně při obrábění chvěním stroje (B)
- drsnost povrchu (mikronerovnosti) – pravidelně se opakující nerovnost podmíněna technologickým pochodem (C)

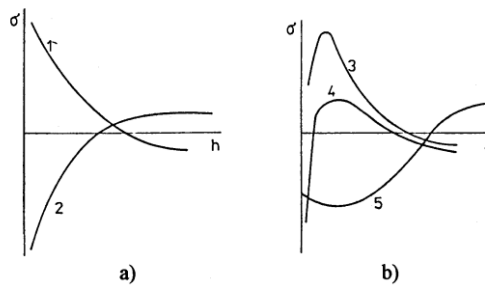
Na nerovnosti, která je pravidelně opakující se superponují ultramikronerovnosti, které jsou dány snažením krystalického povrchu docílit nejstabilnějšího tvaru. (D)



Obrázek č. 4 – Schéma nerovností různého druhu [17]

Funkčnost povrchu ovlivňují také mechanické vlastnosti. Nejpoužívanější a nejznámější metodou hodnocení mechanických vlastností je měření tvrdosti. Podle velikosti zařízení a typu materiálu je měřena tvrdost různých tlouštěk povrchové vrstvy. [8]

S mechanickými vlastnostmi také souvisí pnutí v povrchových vrstvách, které vzniká důsledkem technologických podmínek zpracování (lití, tváření, tunutí, svařování, obrábění, tepelné zpracování). Příčina vzniku pnutí je plastickou a elastickou deformací v jednotlivých místech povrchových vrstev. Další příčinou jsou fázové a nerovnovážné stavy, které jsou vyvolány technologickými operacemi nebo působením vnějšího prostředí a vnějších sil. S hloubkou pod povrchem dochází ke změně průběhu zbytkových pnutí příčinou vzniku plastických deformací. Na obrázku č. 5 jsou uvedeny charakteristické průběhy pnutí (a – výsledkem mechanických nebo tepelných účinků, b – působením různých mechanismů). [8]

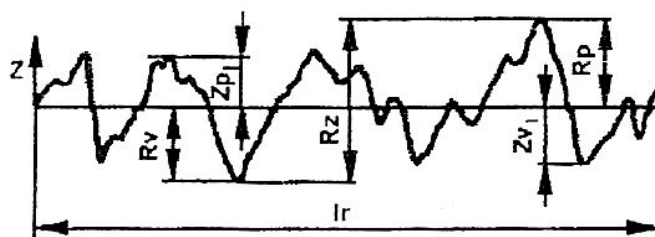


Obrázek č. 5 - Typické průběhy zbytkových pnutí pod povrchem [8]

1.1.2.1 Drsnost povrchu

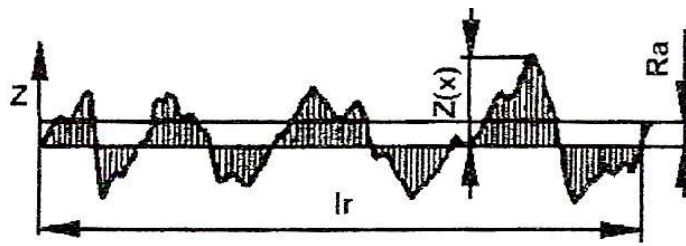
Drsnost povrchu je souhrn nerovností povrchu s malou vzdáleností, jejichž mezní výška nerovností v délce měřeného úseku je větší než výška skutečného povrchu (prohlubně a výstupky). Drsnost povrchu charakterizujeme jednotlivými parametry v mikrometrech: [9]

- R_v – jedná se o největší hloubku prohlubně profilu – hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky l_r
- R_p – jde o největší výšku výstupku profilu – výška Z_p největšího výstupku profilu v rozsahu základní délky l_r
- R_z – je největší výška profilu – součet výšky Z_p největšího výstupku a hloubky Z_v nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky l_r



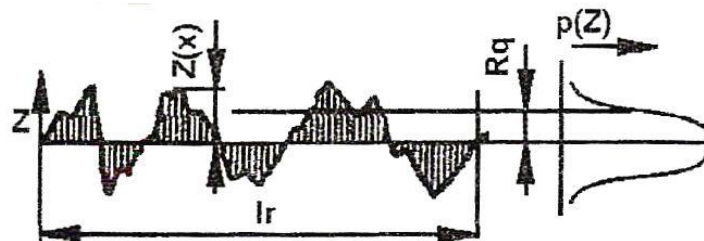
Obrázek č. 6 - Parametry drsnosti R_v , R_p , R_z [9]

- R_a – je to průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu – aritmetický průměr absolutních hodnot $Z(x)$ v rozmezí základní délky l_r . Vypovídací schopnost je nízká, protože parametr R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu. [9]



Obrázek č. 7 - Parametr drsnosti R_a [9]

- R_q – průměrná kvadratická odchylka profilu – střední kvadratická hodnota $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . Parametr R_q má význam při statistickém pozorování profilu povrchu. [9]



Obrázek č. 8 - Parametr drsnosti R_q [9]

Hodnocení drsnosti povrchu

Parametry drsnosti povrchu zjišťujeme různými měřicími metodami a přístroji. Rozdělujeme na dva způsoby: [9]

- Kvalitativní hodnocení drsnosti povrchu – povrch je hodnocený srovnáváním s etalony nebo provedením otisku povrchu s následným hodnocením otisku povrchu ve srovnání s etalony.



Obrázek č. 9 – ISO komparátor drsnosti [18]

- Kvantitativní hodnocení drsnosti povrchu – grafickým záznamem nebo měřícím zařízením, kterým zjišťujeme jednotlivé parametry drsnosti.



Obrázek č. 10 – Elcometer 7061 drsnoměr [19]

1.1.3 Fyzikální vlastnosti povrchu

Typickými fyzikálními vlastnostmi povrchu jsou emise. Z povrchu kovu se za určitých podmínek mohou uvolňovat elektrony a to vnějším dopadem elektronů nebo ohřevem na vysokou teplotu – jde o sekundární nebo tepelné emise. Velký vliv na vlastnosti emisí mají adsorbované plyny a nečistoty. [8]

Dále sem spadají elektrické vlastnosti povrchu, které jsou určeny elektronovým stavem. Na rozdíl od teoretických modelů se na reálných površích vyskytují změny vazebních sil a potenciálů, mřížkové poruchy, adsorbované vrstvy a změny složení. Je to důležité zejména u polovodičů. [8]

Významný dopad povrchu z hlediska vedení proudu je u kontaktů. Kontakt, který je zařazen v elektrickém obvodu představuje elektrický obvod. Odpor vzniká vlivem povrchové vrstvy, která vzniká působením okolní atmosféry nebo pohybem elektronů

v matici. V místě dotyku dvou těles, kterými prochází proud, dochází ke zvětšení odporu a hustoty. [8]

1.1.4 Chemické vlastnosti povrchu

Chemickými vlastnostmi rozumíme změny oxidačních stavů prvků na mezifázovém rozhraní nebo chemického složení. U pevných látek jde hlavně o rozhraní s plyny a kapalinami. Ke změnám čistého povrchu kovů dochází adsorpcí a chemisorpcí. Základem je kombinace katodické redukce (redukce kyslíku nebo vylučování vodíku) s anodickou oxidací (rozpuštění kovů). [8]

Jednou z chemických vlastností povrchu kovů je ušlechtilost, což je snadnost, se kterou atom kovu ztrácí elektrony a přechází v roztok. Kovy s kladným potenciálem nazýváme ušlechtilými. [8]

Další chemickou vlastností je iontová vodivost elektrolytu, které se od elektronové vodivosti liší tím, elektrický náboj v elektrolytu nosí dva druhy iontů. Ve vodním roztoku se ionty váží na molekuly vody, říkáme tomu hydratace. [8]

Také rozpuštění kovů je chemickou vlastností a může probíhat v pasivním nebo aktivním stavu. U většiny kovových povrchů, které nejsou pokryty žádným filmem, probíhá anodické rozpouštění v aktivním stavu. Na povrchu vznikají se stykem s atmosférou nejčastěji oxidy, které zpomalují přechod iontů kovu do roztoku a aniontů z elektrolytu na povrch kovů a to má za následek korozi. [8]

2 POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ

Povrchovými úpravami materiálů dosahujeme lepších vlastností povrchu za účelem zvýšení odolnosti vůči korozi, zlepšení funkčních vlastností, kterými jsou například odolnost proti opotřebení, zlepšení třecích nebo elektrolytických vlastností atd. [1]

Povrchové úpravy dělíme podle účelu na čištění a předběžné úpravy, povrchové úpravy zvyšující odolnosti vůči korozi, povrchové úpravy zajišťující požadovaný vzhled a povrchové úpravy pro dosažení specifikovaných funkčních vlastností povrchu. Dále je dělíme podle charakteru vytvořené vrstvy na anorganické (kovové, oxidické, keramické, sklovité) a organické (nátěrové, plastové, konzervační) V poslední řadě je dělíme podle způsobu vytvoření povrchové vrstvy a to chemickými reakcemi, galvanickými elektrochemickými procesy, využitím difúze, ve vakuu, plátováním, máčením, stříkáním, poléváním a chemicko-tepelným zpracováním. [1]

2.1 ČIŠTĚNÍ A PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY

Povrch kovů je znečištěný nejen látkami, které jsou k povrchu vázány mechanicky (mastnoty, zbytky mazadel, past, okují atd.) nýbrž i látkami vázanými chemicky (rez, okuje, oxidy apod.). Proto je nutné před aplikováním povrchových úprav povrch kovu nejdříve těchto nečistot zbavit a tím vytvořit kovově čistý povrch. [1]

Nečistoty vázané mechanicky se odstraňují odmašťováním a nečistoty vázané chemicky se obvykle odstraňují mořením nebo mechanickými úpravami (otryskávání, broušení, omílání). Těmažle úpravami rovněž získáváme vhodnou mikrogeometrii a mikrostrukturu povrchu. Při vyšších požadavcích provádíme chemické nebo mechanické leštění. [1]

2.1.1 Mechanické úpravy povrchu

Účelem mechanických úprav povrchu je čištění povrchu materiálu (odstranění okují), zlepšení mechanických vlastností (zvýšení meze únavy a pevnosti), vytvoření podmínek pro zakotvení povlaku a vzhledové požadavky. Mechanické úpravy povrchu jsou otryskávání, broušení, omílání, kartáčování a leštění. [1]

2.1.1.1 Otryskávání

Otryskávání je jeden ze způsobů mechanické úpravy, kdy se tryskací materiál velkou rychlostí vrhá proti povrchu. Touto metodou dosáhneme vhodné drsnosti a zpevnění povrchu. Výsledek tryskání je ovlivněn řadou parametrů, kterými jsou typ použitého materiálu pro otryskávání (hmotnost, tvrdost, tvar a velikost), rychlostí letu zrna, úhlu dopadu, dobou tryskání a jakosti substrátu. [1,8]

Výkon otryskávání se reguluje: [1]

- druhem otryskávacího materiálu
- velikostí zrn
- tlakem
- úhlem a vzdáleností tryskání
- velikostí trysky

Nejvíce používanými materiály pro otryskávání jsou:

- křemičitý písek – používá se sklářský nebo tříděný písek. Křemičitý písek by měl mít ostrohranná zrna. Používá se pro pneumatické otryskávání do tlaku maximálně 0,3 MPa, jelikož větší tryskací tlaky způsobují prašnost a nadměrné tříštění. Ze zdravotního hlediska je ovšem omezeno jeho používání. Používá se tehdy, když jsou dodrženy bezpečnostní a hygienické podmínky, aby nedocházelo ke znečišťování okolního ovzduší a k ohrožení zdraví lidí (např. dýchací cesty). Důležité je, aby i pracovník byl chráněn respirátory, kombinézou a aby docházelo k dostatečnému odsávání podle toho, kde tryskání probíhá. [1]



Obrázek č. 11 - Křemičitý písek [2]

- litinová drť – dražší než výše zmíněný křemičitý písek. Na druhou stranu je hygieničtější a hospodárnější, jakost a zrnitost je rovnoměrnější, asi 60x trvanlivější. Tryskání tímto médiem se provádí do tlaku 0,7 MPa. Litinová drť není vhodná pro otryskávání nerezavějících ocelí a barevných kovů. [1]



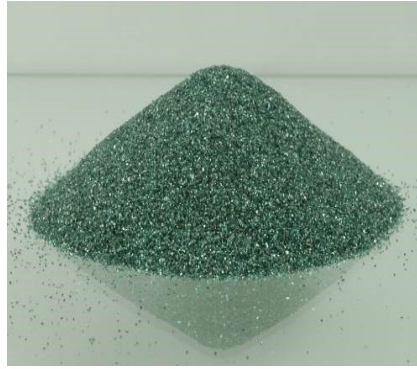
Obrázek č. 12 - Litinová drť [3]

- sekaný drát – nejpevnější z uvedených materiálů. Abrazivem je zde patentovaný drát, který je nasekaný na válečky a má pevnost 160 MPa. Je asi 5x dražší než litinová drť, ale méně opotřebovává metací kola. Sekaný drát je hospodárnější neboť se neštěpí a nedrtí. [1]



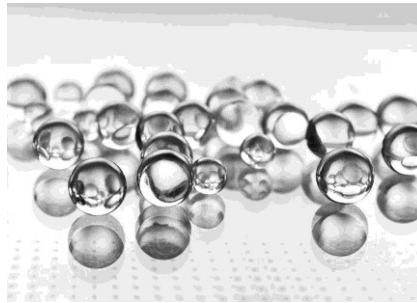
Obrázek č. 13 - Sekaný drát [4]

- brusiva – jedná se o karbid křemíku nebo umělý korund. Jsou trvanlivější a stejnoměrnější než křemičitý písek, dále mají ostřejší zrno a provoz je méně prašný. [1]



Obrázek č. 14 - Brusivo [5]

- balotina – jedná se o skleněné mikrokuličky vyrobené granulací skla. Jelikož jde o skleněné kuličky o poměrně malé pevnosti, tak jsou šetrné k povrchu. Proto se používají k vyhlazování, snížení drsnosti (až o 50%), ale také k leštění v suspenzích po předchozím vyhlazení brusivem. [1]



Obrázek č. 15 - Balotina [6]

2.1.1.2 Omílání

Další ze způsobů mechanické úpravy povrchu používaný u malých předmětů, který spočívá ve vzájemném odírání předmětů, omílajících těles v otáčejícím se zvonu nebo bubnu. Vhodné zejména pro oblé předměty menších tvarů do váhy asi 1 kg. Větší předměty můžeme také omílat, ovšem musíme je upevnit do přípravku v omílacím zařízení. Omílacím prostředkem jsou například kamenné oblázky, ocelové broky nebo křemenný písek. [1]

Výhody omílání: [1]

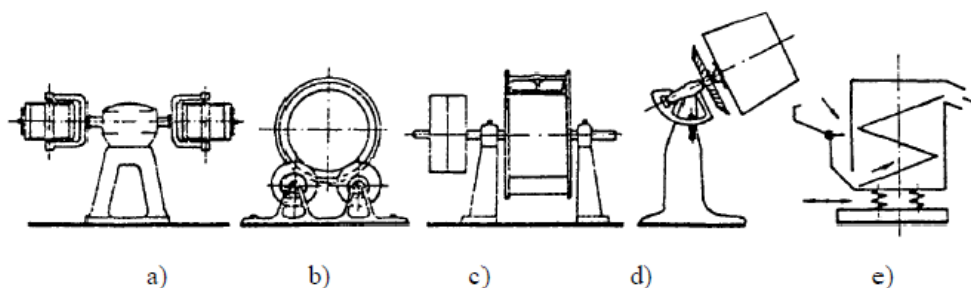
- dochází k odstranění namáhavého ručního broušení a leštění
- dochází ke snížení výrobních nákladů, jelikož provoz je levný
- zvyšuje se výrobnost
- snižuje se zmetkovitost
- zpevňuje se povrch, tím pádem se zvyšuje korozní odolnost

Nevýhody omílání: [1]

- kvůli nerovnoměrnému úběru (největší na hranách) z povrchu předmětu se nemůžou omílat předměty, u kterých by otupení znamenalo poškození výrobku
- možnost poškození členitých výrobků

Omílání se používá k odjehlování výrobků, leštění výrobků, odstraňování zbytku tavidel po svařování, zpevňování povrchu, odstraňování zbytků korozních zplodin. [1]

Omílání ovlivňuje spousta činitelů, kterými jsou doba omílání, tvar a velikost součástí, průměr bubny a jeho otáčky, druh a velikost omílacích těles atd. [1]

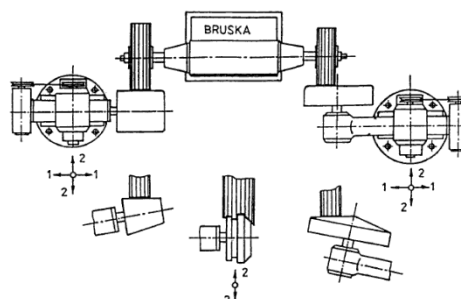


Obrázek č. 16 – Způsoby omílání – a) odstředivé b, c, d) rotační e) vibrační [8]

2.1.1.3 Broušení

Broušením se většinou základní povrch připravuje pro leštění nebo kartáčování. Tato mechanická úprava slouží především k odstranění nerovností povrchu. Hlavními pracovními nástroji jsou kotouče nebo pásy s brusnými částicemi. Jedná se o poměrně nákladnou úpravu, proto ji volíme pouze tam, kde jsou vysoké nároky na jakost povrchu. [1]

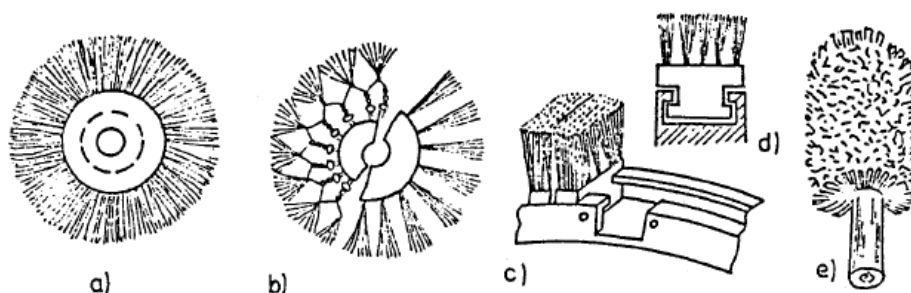
Broušení dělíme na pět základních skupin úpravy povrchu (hrubování, hlazení, jemné hlazení, předlešťování, jemné předlešťování). Hrubování a hlazení se používá k odstranění větších a středně velkých nerovností, jemné hlazení k úpravě pro galvanické povlaky, předlešťování jako poslední operace před galvanickým pokovováním a jemné předlešťování jako poslední operace před leštěním. [1]



Obrázek č. 17 – Ukázka strojů a přípravků pro broušení [8]

2.1.1.4 Kartáčování

Kartáčování se používá k odstranění hrubých nečistot, kterými mohou být například rzi, volné korozní produkty, staré nátěry apod. Tyto nečistoty se odstraňují pomocí kartáčů s ocelovými dráty, ale většinou nedosáhneme úplného odstranění nečistot. Poté tyto znečištěné kartáče čistíme odmašťováním a mořením. Kartáčování se také používá k dosažení stejnosměrného vzhledu a ke zjemnění povrchu před závěrečnou operací leštěním. Na toto používáme pružné a měkké kartáče z umělých a přírodních vláken, které dobře drží brusné pasty. [8]



Obrázek č. 18 – Druhy kartáčů – a) fibrový b) drátěný s polétavými svazečky c) s dlouhými svazečky d) s vyměnitelnými svazečky e) drátěné štětky [8]

2.1.1.5 Leštění

Jedná se o nejnákladnější úpravu povrchu. Leštěním se dosahuje konečná požadovaná jakost povrchu, byla-li předchozí úprava broušením správná. Dále se také používá k zisku lesku u galvanických povlaků. Leštěním odstraníme nejjemnější stopy po předchozích operacích a dosáhneme velmi nízké drsnosti. Při prvním leštění použijeme tvrdší látkové kotouče a mastnější i ostřejší pasty a pro dolešťování měkké kotouče a jemnější pasty. [1]

2.1.2 Chemické úpravy povrchu

Chemické úpravy se používají pro přípravu povrchu, kdy dochází převážně k odstraňování nečistot z povrchu pro různé povlaky. Mezi tyto úpravy patří odmašťování, moření a leštění. [1]

Nečistoty dělíme do dvou skupin: [8]

- ulpělé nečistoty – vázány k povrchu pomocí fyzikálních sil. Spadají sem zbytky brusných a leštících past, různé mastnoty, kovové nečistoty atd. Tyto nečistoty odstraňujeme hlavně odmašťováním, jelikož sem patří hlavně mastné látky.
- vlastní nečistoty – vázány s kovem chemickou vazbou. Jedná se o produkt koroze, rzi a okují. Proces jejich odstranění nazýváme moření.

2.1.2.1 Odmašťování

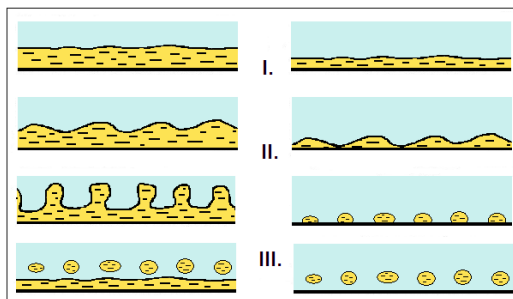
Odmašťováním odstraňujeme ulpělé nečistoty z povrchu, které jsou vázány fyzikálními silami. Odmašťovací prostředky mají za úkol uvolnit nečistoty z povrchu a převedením do roztoku nebo emulze a zabránit jejich zpětnému vyloučení na kovovém povrchu. [8]

Odmašťování rozdělujeme podle prostředku použitého na odmašťování: [1]

- v alkalických roztocích
- v organických rozpouštědlech
- opalováním
- emulzním odmašťováním
- elektrolytickým odmašťováním
- v neutrálních roztocích

Odmašťování v alkalických roztocích

Tento proces je poměrně složitý, dochází k neutralizaci mastných kyselin, které přechází do roztoku jako rozpustná mýdla. Tyto mýdla snižují povrchové napětí mezi mastnotou a roztokem. Takhle se odmašťují rostlinné a živočišné tuky. [1]



Obrázek č. 19 – Průběh odmašťování (I. - souvislá vrstva mastnoty na povrchu, II. - postupné rozrušování souvislé vrstvy mastnoty odmašťovacím roztokem, III. – emulgace a dispergace mastnoty) [10]

Minerální mastnoty, kterými mohou být oleje, vazelíny, vosky se odmašťují složitěji, protože se nezmýdelňují. Probíhá za zvýšené teploty tak, že se emulgují ve formě malých kapiček do roztoku odmašťovadla. [1]

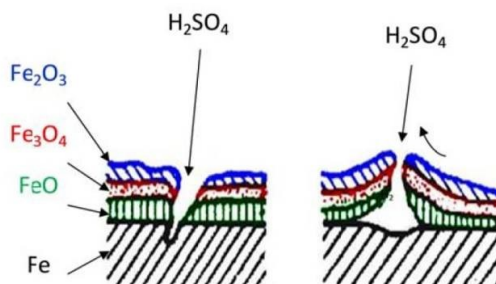
Odmašťování v organických rozpouštědlech

Jedná se o velmi rozšířenou metodu odmašťování a poměrně jednoduchou. Tato metoda se používá tam, kde není možné použít alkalické roztoky. Odmašťování je poměrně rychlé a principem je, že organická rozpouštědla rozpustí mastnoty a tím uvolní další nečistoty na povrch. [1]

Rozpouštědlo by mělo být nejedovaté, nehořlavé a mělo by rozpouštět všechny druhy nečistot. Nejčastěji se používá trichloretylén, který je nehořlavý a velmi účinný. [1]

2.1.2.2 Moření

Tato chemická úprava odstraňuje oxidické nečistoty (např. rez, okuje) z povrchu. Díky působení kyselin se oxidy převedou na rozpustěné soli a poté se lehce opláchnou vodou z povrchu. Nejčastěji používáme kyselinu sírovou, fosforečnou nebo solnou. [1]



Obrázek č. 20 - Princip odlupování nečistot a oxidů kyselinou [7]

3 KOROZE KOVŮ

Koroze znamená znehodnocení materiálu fyzikálním nebo chemickým působením prostředí. Jedná se o fyzikálně-chemické děje, které částečně nebo úplně rozruší materiál. Korozi podléhají nejenom kovy a jejich slitiny, ale i nekovové materiály jakými jsou například keramické, silikátové, sklovité materiály a plastické hmoty. [1]

3.1 ROZDĚLENÍ KOROZE

Podle mechanismu:

- chemická koroze
- elektrochemická koroze

Podle vzhledu:

- rovnoměrná koroze
- nerovnoměrná koroze

Podle prostředí:

- koroze v atmosféře
- koroze ve vodě

- koroze v plynech
- koroze v půdě

Podle rozhodujícího korozního činitele:

- koroze při napětí
- koroze za únavy materiálu [1]

3.1.1 Chemická koroze

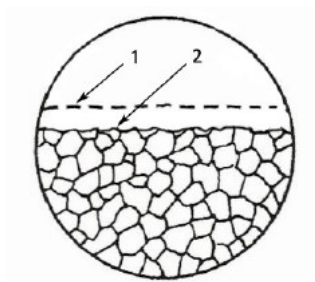
Chemická koroze je znehodnocení kovového materiálu působením vnějšího prostředí (vzduch, plyny, nafta, benzen atd.). Nejčastěji probíhá v plynech s oxidační či redukční povahou. Příkladem může být oxidace, kdy se na povrchu kovů vytváří vrstva oxidů. Pokud je vytvořená vrstva pórovitá nebo jestli z povrchu lehce odpadá, tak reakce mezi prostředím a kovem může pokračovat až do úplného rozrušení materiálu. Jestliže je vrstva dobře přilnavá k povrchu nebo nepropustná, chemická reakce se zpomalí nebo úplně zastaví. [1]

3.1.2 Elektrochemická koroze

Vzniká při styku kovů s elektricky vodivým prostředím. Jde tedy o korozi při styku kovů s elektrolytem (roztoky kyselin, solí a zásad) za vzniku galvanického článku (makročlánku nebo mikročlánku). Známe anodickou a katodickou reakci. Obě tyto reakce probíhají současně a jsou vázány sami na sebe. [1,8]

3.1.3 Rovnoměrná koroze

Korozi můžeme charakterizovat rovnoměrným úbytkem materiálu po celém povrchu. Rovnoměrná koroze je nejpříznivější, protože nám dovoluje stanovit předpokládanou životnost zařízení. Rovnoměrně jsou napadány kovy, které nemají ochranné vlastnosti. [8]



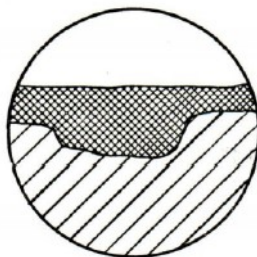
Obrázek č. 21 – Rovnoměrná koroze (1 – Původní povrch, 2 – Povrch po napadení) [11]

3.1.4 Nerovnoměrná koroze

Koroze vyskytující se na různých místech materiálu. Může dosahovat odlišných hloubek a šířek. Některé části povrchu mohou zůstat bez porušení a napadení korozí. Jedná se o nebezpečný druh koroze z důvodu ovlivnění mechanických vlastností součástí. [11]

Nerovnoměrnou korozi dělíme do charakteristických skupin: [11]

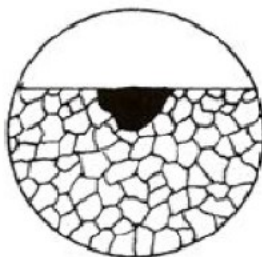
- důlková koroze
- bodová koroze
- podpovrchová koroze
- selektivní koroze
- mezikystalová koroze
- transkystalová koroze



Obrázek č. 22 – Nerovnoměrná koroze [11]

Důlková koroze

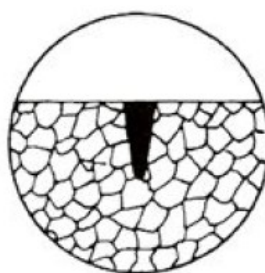
O důlkovou korozi se jedná při nerovnoměrném napadení povrchu kovu a projevuje se tím, že jeho hloubka je menší než průměr důlku. Hlavně u pasivovatelných kovů jako jsou železo, hliník, nikl, chrom atd. [8,11]



Obrázek č. 23 – *Důlková koroze* [11]

Bodová koroze

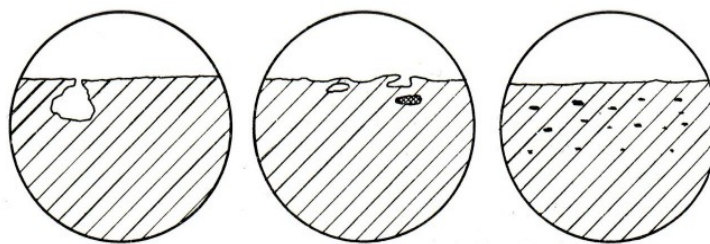
Charakterizována ojedinělými korozními body, kdy zbytek materiálu je bez zřejmého napadení. Stejně jako u důlkové koroze se nejčastěji vyskytuje u pasivovatelných materiálů. Může dojít až k úplnému proděravění materiálu. [12]



Obrázek č. 24 – *Bodová koroze* [11]

Podpvrchová koroze

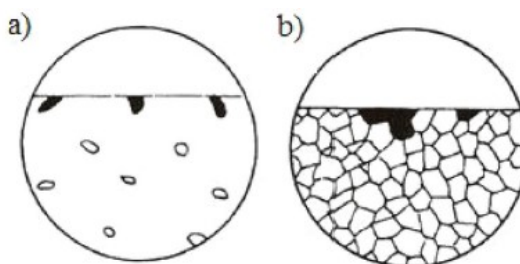
Podpvrchová koroze je charakterizována malým porušením povrchu, ovšem pod povrchem je toto porušení daleko větší., vznikají korozní dutiny. [8]



Obrázek č. 25 – Podpvrchová koroze [13]

Selektivní koroze

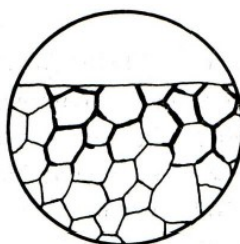
Selektivní koroze se objevuje u slitin s dvou a vícefázovou strukturou. Korozní napadení nastává výhradně u jedné fáze. Zpravidla se korodující fáze liší chemickým složením od nekorodujících fází. [8]



Obrázek č. 26 – Selektivní koroze (a) napadena jedna fáze vícefázové struktury, b) napadení jednotlivých zrn struktury) [11]

Mezikrystalová koroze

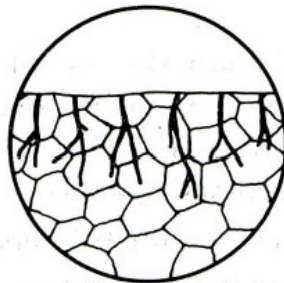
Mezikrystalová koroze se vyskytuje u korozivzdorných austenitických ocelí. Vyznačuje se korozí po hranicích zrn, než vlastního zrna. Je velmi nebezpečná, jelikož není vizuálně viditelná. [8]



Obrázek č. 27 – Mezikrystalová koroze [13]

Transkrystalová koroze

Koroze se vyznačuje trhlinami, které probíhají napříč krystaly do hloubky materiálu. Transkrystalová koroze je velice ojedinělá. Významnou složkou je zde pnutí a následkem je praskání. Nejčastějším místem napadení je okolí svaru. [11]



Obrázek č. 28 – *Transkrystalová koroze* [11]

3.1.5 Koroze v atmosféře

Nejrozšířenější forma koroze, kdy dochází ke znehodnocení materiálu působením atmosféry. Vyvíjí se stejně jako koroze elektrochemická. Důležitým faktorem je kyslík, kdy jeho difúzi kladou tenké vrstvy vlhkosti minimální překážky. [8]

Atmosférická koroze závisí na stavu a složení povrchu, obsahu vodních par v ovzduší a charakteru nečistot v atmosféře. Korozní rychlost stoupá následkem rostoucí relativní vlhkosti, přítomností kondenzace, stoupajícího znečištění v atmosféře. [11]



Obrázek č. 29 – *Příklad atmosférické koroze* [14]

3.1.6 Koroze ve vodě

V praxi se setkáváme s vodou, ve které jsou rozpuštěny chemické látky zásaditého i kyselého charakteru, které ovlivňují intenzitu koroze. Rychlost koroze ve vodách je ovlivněna řadou neelektrochemických činitelů. Jde o chemické děje v roztoku, vliv mikroorganismů, vliv mechanických nečistot atd. Z toho můžeme vyvodit, že i nekovové materiály, například plasty, podléhají ve vodě korozi. Na rychlost koroze má nejvýznamnější význam přítomnost kyslíku ve vodě. [8]



Obrázek č. 30 – *Potrubí, které sloužilo k odvodu chladících vod [15]*

3.1.7 Koroze v plynech

Vzniká působením plynného prostředí na materiál za vzniku chemických sloučenin. Jde o korozi v nevodivých prostředích. Na korozi v plynech má veliký vliv teplota a hodnota tlaku plynu a chemické složení plynného prostředí. [8]

3.1.8 Koroze v půdě

Půda je složena z kapalné, tuhé a plynné fáze. Plynnou fází tvoří atmosféra a kapalná fáze dodává půdě vodivost. Důležitou roli také hrají bakterie, které jsou zde přítomné. [8,11]



Obrázek č. 31 – *Koroze trubky rozvodu plynu v půdě [16]*

3.1.9 Koroze působením makročlánků

Působením makročlánků dochází ke zvyšování rychlosti průběhu koroze na povrchu kovů. Činnost galvanických článků vyvolává buď různorodost spojených materiálů, které jsou elektricky vodivé nebo heterogenita složení prostředí. [20]

Tato koroze je závislá na mnoha faktorech, mezi které patří rozdíl samovolných korozních potenciálů, polarizovatelnost spojených kovových povrchů, vodivost elektrolytu, poměr ploch povrchů a geometrické uspořádání. [20]

K činnosti korozních článků je nutné spojení minimálně dvou elektricky vodivých materiálů, z nichž by měl být aspoň jeden kovový, jak elektrickým vodičem, tak vodičem s iontovou vodivostí. [20]



Obrázek č. 32 – Koroze železného šroubu v místě měděného pláště [21]

3.2 OCHRANA MATERIÁLU PROTI KOROZI

Ochrana materiálů může korozi zcela zabránit nebo jí zpomalit a tím zvýšit životnost výrobků. Povrchová ochrana dodává materiálu nové vlastnosti, které jsou rozdílné od základního kovu. [1]

Povrchová ochrana se dělí následovně: [1]

- úprava korozního prostředí odstraněním složky způsobující korozi
- elektrochemická ochrana kovového povrchu
- volba vhodného konstrukčního materiálu
- tvorba chemických kovových nebo nekovových ochranných povlaků

3.2.1 Ochrana korozního prostředí

Úprava korozního prostředí odstraněním složky způsobující korozi

Jednou z možností jak snížit rychlost koroze kovových materiálů je odstranění nebo snížení koncentrace agresivních složek korozního prostředí. [1]

Jedná se především o: [1]

- použití vysoušedel ve spojení s hermetickým balením
- vyhřívání za účelem snížení relativní vlhkosti pod kritickou mez
- použití komplexních sloučenin chlorofylinu s Cu a Na, které vážou plynné sloučeniny síry
- odstraněním kyslíku, respektive CO₂ z vody u parních zařízení

Úprava korozního prostředí inhibitory koroze

Jedná se o látky, které mají schopnost chránit povrch kovu v agresivním prostředí před korozi tím, že mění vlastnosti fázového rozhraní kov – prostředí. Jelikož je korozní průběh kineticky řízený dílčí reakcí s nejpomalejším průběhem, tak inhibitory fungují na principu zpomalení kinetiky některé z dílčích reakcí a tím zpomalí celkový průběh korozního procesu. [1]

Rychlost korozního procesu se sníží důsledkem toho, že reakcí kovu a inhibitoru při působení korozního prostředí vzniká v zóně rozhraní fáze kov – prostředí film nebo tenké vrstvy sloučenin nebo prvků. Tyto zplodiny mají vliv na rychlost koroze kovů v závislosti na svém chemickém složení a fyzikálních vlastnostech. [1]

Rozdělení inhibitorů: [1]

- fyzikální inhibitory
- chemické inhibitory

Fyzikální inhibitory působí fyzikální absorpcí. Částice inhibitoru jsou k povrchu vázány silami podobnými Van der Walsovým silám a můžou vytvořit vrstvu i několik vrstev adsorbovaných molekul. [1]

Následek fyzikálních inhibitorů: [1]

- poměrně malá rychlost anodického rozpouštění kovů
- omezení činnosti depolarizátorů
- snížení rychlosti pronikání složek korozního prostředí k povrchu kovu
- změna vlastností elektrické dvojvrstvy

Mezi fyzikální inhibitory patří organické látky, které jsou ionově nebo molekulárně rozpustné v korozním prostředí, vodík, alkaloidy, anorganické aniony, aromatické aminy atd. [1]

Chemické inhibitory fungují na principu vytvoření ochranné vrstvy na povrchu kovu a to: [1]

- oxidací kovu
- reakcí kovu s inhibitorem
- zvýšením alkality prostředí na fázovém rozhraní kov – prostředí

Chemické inhibitory dělíme na: [1]

- chemisorbční
- pasivační
- tvořící povlaky
- elektrochemické
- destimulátory

3.2.2 Elektrochemická ochrana kovů

Podmínkou je vytvoření korozního článku, přičemž dochází ke korozi anody, zatímco katoda se nerozpouští a je před korozi chráněna. Využití při elektrické ochraně, kde se uměle tvoří makročlánky. [1]

Katodická ochrana kovů

Aplikace katodické ochrany kovů je možná dvojím způsobem: [1]

- vnějším zdrojem proudu, kdy je chráněný kov napojen na záporný pól stejnosměrného zdroje a kladný pól je napojen k systému pomocných anod
- obětovanými anodami, kdy ochranné anody jsou z kovu, který má dostatečně zápornější potenciál než chráněný kov

Anodická ochrana kovů

Anodická ochrana kovů má za úkol udržovat potenciál chráněného kovu v rozmezí, které odpovídá potenciálové oblasti pasivity kovu. Tato oblast je znázorněna na anodické polarizační křivce. [1]

Posunu potenciálu do oblasti pasivity dosáhneme vnějším zdrojem elektrického proudu, kdy chráněný kov zapojíme jako anodu na kladný pól zdroje. Anodickou ochranu aplikujeme převážně při ochraně nerezavějících ocelí v roztocích kyselin. Účinnost anodické ochrany snižuje přítomnost halogenních iontů, které ruší pasivitu kovů v substituci kyslíku a přítomnost látek, které jsou schopné elektrochemické oxidace na chráněném povrchu (např. silná anorganická nebo organická redukční činidla). [1]

3.2.3 Volba vhodného konstrukčního materiálu

Volba vhodného konstrukčního materiálu je podmíněna těmito vlivy: [1]

- nejvyšší teplotou, ve které je materiál používán
- pnutím uvnitř materiálu
- namáháním, nárazy, chvěním atd.
- druhem spojování vodivých odolných materiálů
- mechanickým působením prostředí

- intervaly působení vlivu prostředí
- složením prostředí a koncentrací agresivních složek

Uhlíkové oceli jsou nejrozšířenější druh ocelí a z hlediska koroze se netřídí. V přirozených podmínkách, tj. v atmosféře, ve vodě, v půdě korodují v hranici několika desetin milimetrů ročně. V neutrálních roztocích jsou stále. Ochranná vrstva je zde tvořena nerozpustnými hydroxidy. U uhlíkových ocelí je známa louhová křehkost, která vzniká při vyšší teplotě a větších koncentracích a projevuje se trhlinami. [1]

Nízkolegované oceli mají korozní úbytky o 50% nižší než uhlíkové oceli ve středně znečištěné atmosféře. Vytváří se zde ochranná vrstva, která je dostatečně přilnavá a chrání ocel před korozi. V současné době se tato ocel čím dál víc využívá pro výrobu konstrukcí, hlavně mostních. Obrovskou výhodou je, že tyto oceli nepotřebují další povrchovou úpravu. [1]

Dalším materiálem jsou korozivzdorné oceli, které se využívají díky vysokému obsahu chromu, který umožňuje vznik pasivního stavu. Přidáním legujících přísad (nikl, molybden, měď atd.) tyto oceli získají speciální vlastnosti a potřebnou odolnost v aktivním stavu. [1]

Austenitické oceli se používají i v aktivním stavu. Legujícími prvky jsou zde chrom a nikl. Korozní odolnost se zvyšuje přidáním molybdenu a mědi. Nevýhodou je náchylnost k mezikrystalové korozi. V přírodních podmínkách je odolnost proti korozi velmi dobrá. Ovšem působení mořské vody za přítomnosti kyslíku způsobuje bodovou korozi. [1]

3.2.4 Tvorba ochranných povlaků

Vytvoření ochranných povlaků na základním materiálu je jedna z nejčastěji užívaných prostředků ochrany proti korozi. Ochranné povlaky mění jak povrchové vlastnosti výrobku, tak i jeho vzhled. Optimálním povlakem rozumíme takový, který zabezpečí požadované vlastnosti výrobků s co možná nejmenšími finančními náklady. [1]

4 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Experimentální práce budou mít následující sled činností:

1. Výběr, příprava a značení zkušebních vzorků (tlakových nádob)

Ocelová část tlakových nádob:

2. Stanovení čistoty otryskaného povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1: Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků

3. Stanovení drsnosti otryskaného povrchu dle ČSN EN ISO 8503-1: Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů - Část 1: Specifikace a definice pro hodnocení otryskaných povrchů s pomocí ISO komparátorů profilu povrchu

4. Stanovení kotvícího profilu otryskaného povrchu dle ČSN EN ISO 8503-5: Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů - Část 5: Určení profilu povrchu páskou metodou repliky

5. Měření drsnosti povrchu pomocí měřicího přístroje – drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ-301

6. Vady vyskytující se u všech tlakových nádob

7. Měření mikrotvrdomosti - mikrotvrdomost byla stanovena podle Vickerse dle ČSN EN ISO 6507-1. Jakožto indentor se v tomto případě používá diamantový čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem 136° . Zatěžující síla byla 100 g (HV0,1).

8. Metalografická příprava vzorků + leptání k vizualizaci struktur

9. Korozní zkouška dle ČSN EN ISO 9227 – Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou

Měděná část tlakových nádob:

10. Měření mikrotvrdomosti - mikrotvrdomost byla stanovena podle Vickerse dle ČSN EN ISO 6507-1. Jakožto indentor se v tomto případě používá diamantový čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem 136° . Zatěžující síla byla 100 g (HV0,1).

11. Metalografická příprava vzorků + leptání k vizualizaci struktur
12. Vyhodnocení tryskání s ohledem na použitý tryskáč materiál
13. Měření průměru trubky před a po otryskání

5.1 VÝBĚR, PŘÍPRAVA A ZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Jako zkušební vzorky byly vybrány tlakové nádoby, které byly bez úprav natřeny vodou ředitelným nátěrem. V suchu (budovy) tyto nádoby byly bez problémů, ovšem venku pod přístřeškem nebo v kontaktu se slanou vodou barva za několik měsíců slezla a vznikala koroze. Proto bylo potřeba tyto tlakové nádoby otryskat, a to ostrohranným abrazivem.

Tlakové nádoby byly rozříznuté na dvě části, kdy jedna část byla v původním stavu a druhá otryskaná. Po otryskání byla zjištěna čistota a drsnost povrchu dle norem, stanovení kotvícího profilu otryskaného povrchu, mikrotvrdost.

Všechny zkoumané vzorky byly zvlášť značeny a to: 1 A, 1 B, 2 A, 2 B, 3 A, 3 B, 4 A, 4 B, 5 A, 5 B, 16 A, 16 B, 17 A, 17 B, kdy jedna část je otryskaná a druhá neotryskaná.

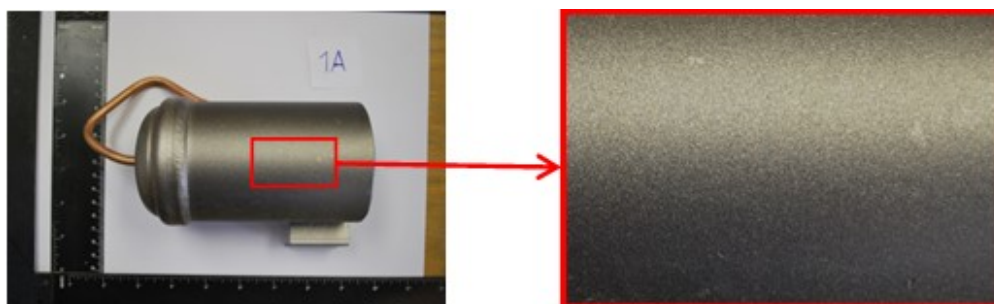
5.2 STANOVENÍ ČISTOTY OTRYSKANÉHO POVRCHU

Tabulka č. 1 – *Stupně otryskání* [22]

Sa 1 – Lehké otryskání	Při prohlížení bez zvětšení je povrch prostý viditelných olejů, mastnot a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek.
Sa 2 – Důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení je povrch prostý viditelných olejů, mastnot a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé nečistoty musí být pevně přilnavé.
Sa 2½ – Velmi důkladné otryskání	Při prohlížení bez zvětšení je povrch prostý viditelných olejů, mastnot a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí vykazovat pouze lehké zbarvení ve formě skvrn nebo pruhů.
Sa 3 – Otryskání až na vizuálně čistý ocelový povrch	Při prohlížení bez zvětšení je povrch prostý viditelných olejů, mastnot a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Povrch má jednotný kovový vzhled.

Tlaková nádoba 1 A:

Fotodokumentace:

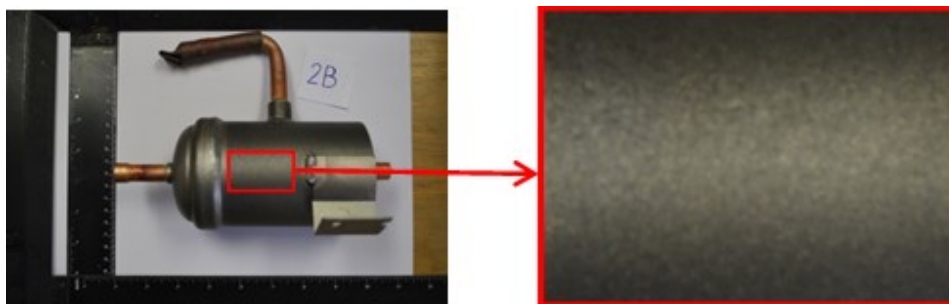


Obrázek č. 33 – *Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 1 A*

Stupeň čistoty povrchu: Sa 3

Tlaková nádoba 2 B:

Fotodokumentace:

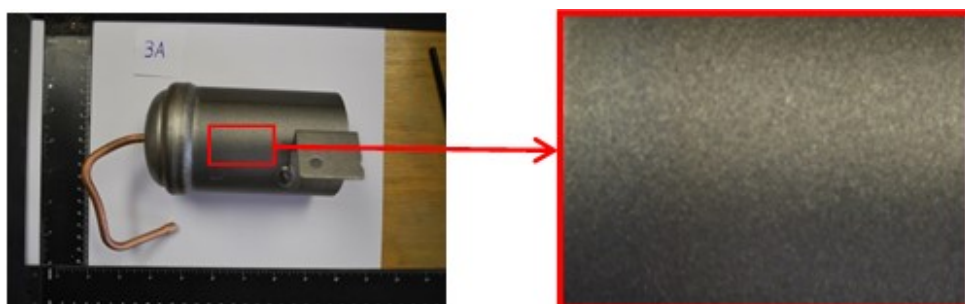


Obrázek č. 34 – Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 2 B

Stupeň čistoty povrchu: Sa 3

Tlaková nádoba 3 A:

Fotodokumentace:

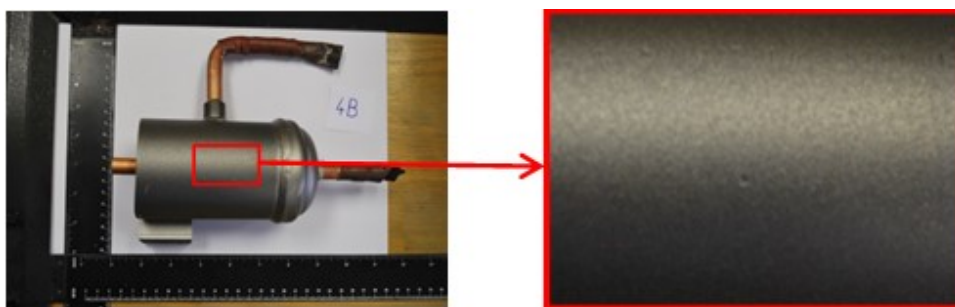


Obrázek č. 35 – Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 3 A

Stupeň čistoty povrchu: Sa 3

Tlaková nádoba 4 B:

Fotodokumentace:

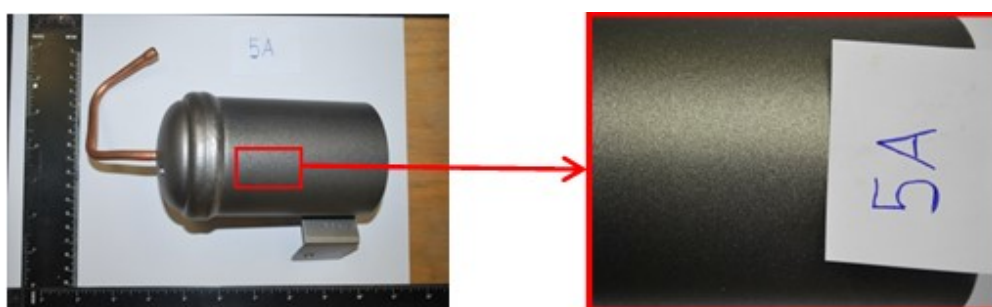


Obrázek č. 36 – Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 4 B

Stupeň čistoty povrchu: Sa 3

Tlaková nádoba 5 A:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 37 – Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 5 A

Stupeň čistoty povrchu: Sa 3

Tlaková nádoba 16 A:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 38 – Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 16 A

Víčko tlakové nádoby

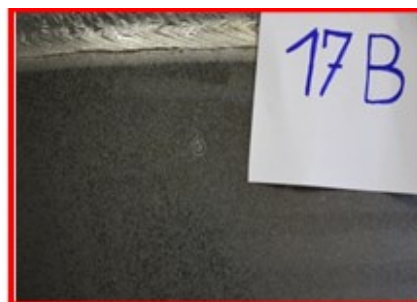
Stupeň čistoty povrchu: Sa 3

Tělo tlakové nádoby

Stupeň čistoty povrchu: Sa 2½

Tlaková nádoba 17 B:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 39 – Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 17 B

Víčko tlakové nádoby

Stupeň čistoty povrchu: Sa 3

Tělo tlakové nádoby

Stupeň čistoty povrchu: Sa 2½

Zhodnocení čistoty povrchu tlakových nádob:

Stupně čistoty otryskaného povrchu jsou rozdělené do čtyř kategorií: Sa1, Sa2, Sa2½, Sa3. Protikorozi ochrana ocelových konstrukcí nátěrovými hmotami doporučuje minimální stupeň čistoty povrchu Sa2½. Většina dodaných vzorků vykazuje nejvyšší stupeň čistoty.

5.3 STANOVENÍ DRSNOSTI POVRCHU ISO KOMPARETOREM (G)

Tabulka č. 2 – Jmenovité hodnoty a tolerance hloubky drsnosti profilů povrchu segmentů komparátorů ISO pro ocel otryskanou ostrohrannými prostředky [23]

Segment	Jmenovitá hodnota v μm	Tolerance v μm
1	25	3
2	60	10
3	100	15
4	150	20

Tabulka č. 3 – Mezní hodnoty stupňů drsnosti pro ocel otryskanou ostrohrannými prostředky [23]

Jemný (G)	Drsnost shodná s povrchem segmentu 1 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 2
Střední (G)	Drsnost shodná s povrchem segmentu 2 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 3
Hrubý (G)	Drsnost shodná s povrchem segmentu 3 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 4

Tlaková nádoba 1 A:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 40 – Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 1 A

Drsnost povrchu: střední (G)

Tlaková nádoba 2 B:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 41 – Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 2 B

Drsnost povrchu: střední (G)

Tlaková nádoba 3 A:

Fotodokumentace:

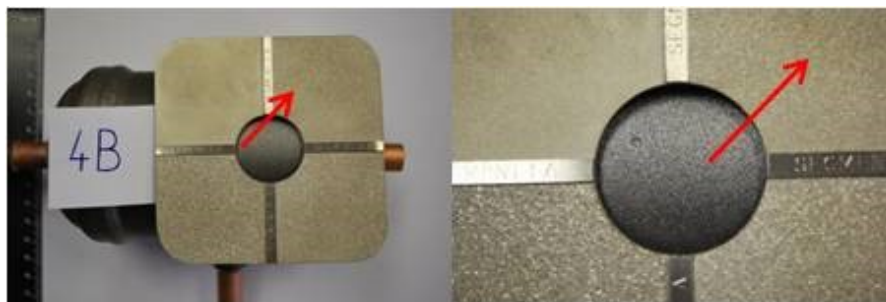


Obrázek č. 42 – Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 3 A

Drsnost povrchu: střední (G)

Tlaková nádoba 4 B:

Fotodokumentace:

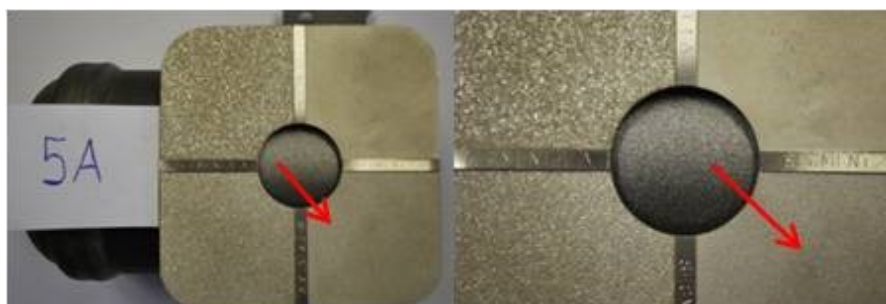


Obrázek č. 43 – Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 4 B

Drsnost povrchu: střední (G)

Tlaková nádoba 5 A:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 44 – Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 5 A

Drsnost povrchu: střední (G)

Tlaková nádoba 16 A:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 45 – Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 16 A

Drsnost povrchu: střední (G)

Tlaková nádoba 17 B:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 46 – Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 17 B

Drsnost povrchu: střední (G)

Zhodnocení drsnosti povrchu tlakových nádob

ISO komparátor je rozdělen do čtyř oblastí: Segment 1 až Segment 4. Vizuálně se porovnává dosažená drsnost povrchu se segmenty ISO komparátoru. Výsledná střední drsnost povrchu odpovídá jmenovité hodnotě 60 μm s tolerancí 10 μm . Drsnost povrchu pozitivně ovlivňuje výslednou životnost nátěrového systému. Přesto ale je velmi nutné výslednou drsnost povrchu zohlednit při návrhu nátěrového systému – negativní ovlivnění tenkovrstvých nátěrových systémů apod.

5.4 STANOVENÍ KOTVÍČÍHO PROFILU OTRYSKANÉHO POVRCHU

Pro měření byla použita speciální páska PRESS-O-FILM™, která byla nalepená na otryskaný povrch vzorku, pomocí plastové tyčinky byl do vyznačeného místa na pásce otisknut profil povrchu materiálu a následně byla číselníkovým úchylkoměrem odečtena hodnota výšky kotvícího profilu.

Tlaková nádoba 1 A:

Fotodokumentace:

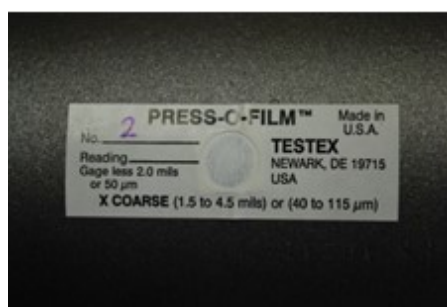


Obrázek č. 47 – Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 1 A

Průměrná výška kotvícího profilu: 61.7 μm

Tlaková nádoba 2 B:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 48 – Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 2 B

Průměrná výška kotvícího profilu: 61.7 μm

Tlaková nádoba 3 A:

Fotodokumentace:

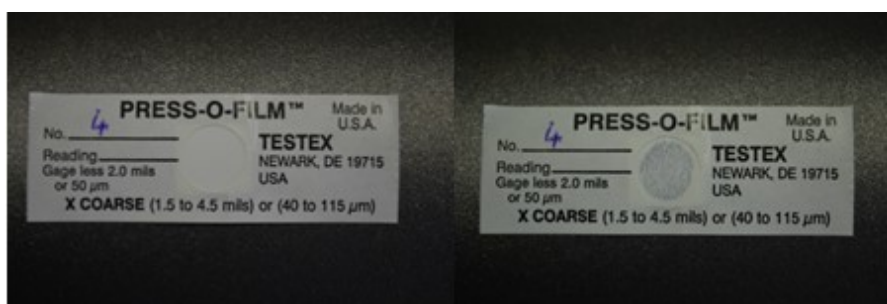


Obrázek č. 49 – Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 3 A

Průměrná výška kotvícího profilu: 64.0 μm

Tlaková nádoba 4 B:

Fotodokumentace:

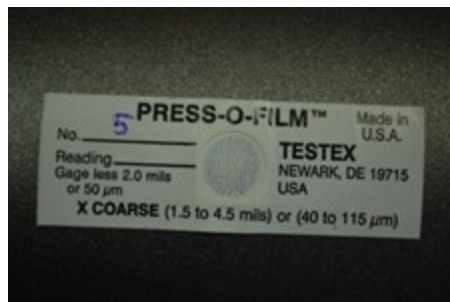


Obrázek č. 50 – Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 4 B

Průměrná výška kotvícího profilu: 64.3 μm

Tlaková nádoba 5 A:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 51 – Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 5 A

Průměrná výška kotvícího profilu: 68.7 μm

Tlaková nádoba 16 A:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 52 – Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 16 A

Průměrná výška kotvícího profilu: 62.0 μm

Tlaková nádoba 17 B:

Fotodokumentace:



Obrázek č. 53 – Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 17 B

Průměrná výška kotvícího profilu: 64.3 μm

Zhodnocení kotvícího profilu otryskaného povrchu

Všechny tlakové láhve mají průměrnou výšku kotvícího profilu v rozmezí 60 - 70 μm.

5.5 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU POMOCÍ MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE

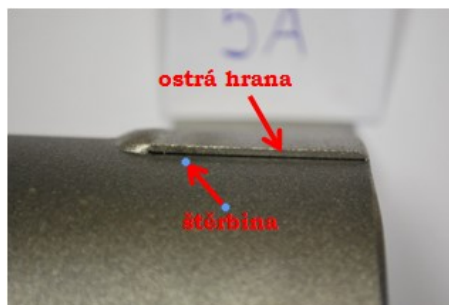
Měření bylo provedeno na čtyřech místech měřicím přístrojem Mitutoyo Surftest SJ-301. Výsledné hodnoty parametrů drsnosti byly zprůměrovány a zapsány do tabulky č. 4.

Tabulka č. 4 – Průměrné hodnoty drsnosti povrchu

Tlaková nádoba 1 A	Ra = 5,84 Rz = 33,94
Tlaková nádoba 2 B	Ra = 6,56 Rz = 40,26
Tlaková nádoba 3 A	Ra = 6,69 Rz = 41,23
Tlaková nádoba 4 B	Ra = 5,87 Rz = 37,68
Tlaková nádoba 5 A	Ra = 6,38 Rz = 39,05
Tlaková nádoba 16 A	Ra = 4,91 Rz = 31,62
Tlaková nádoba 17 B	Ra = 4,90 Rz = 33,25

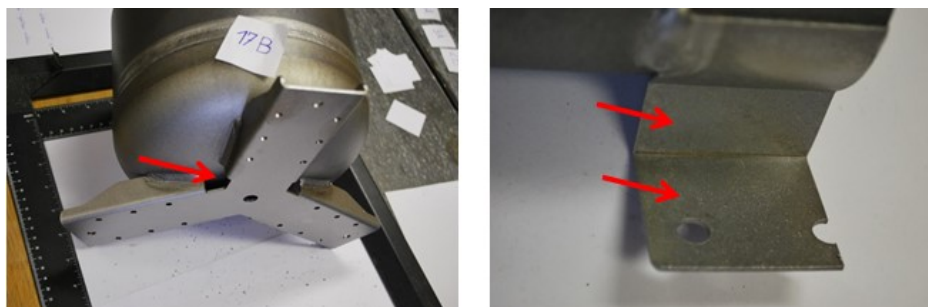
5.6 VADY VYSKYTUJÍCÍ SE U VŠECH TLAKOVÝCH NÁDOB

- Výskyt ostrých hran: u prvků, které jsou přivařené k tlakové nádobě, se vyskytují ostré hrany. Ostré hrany výrazným způsobem snižují celkovou životnost nátěrového systému. Na ostré hraně, v důsledku fyzikálních sil, dochází k „odtažení“ nátěru do plochy a tím pádem na ostré hraně nikdy není požadovaná tloušťka nátěru (u „mokrých“ barev je tento jev markantnější, než u práškových barev). Navíc nátěr aplikovaný na ostré hraně je náchylnější na mechanické poškození. Norma, resp. technická praxe, doporučuje dvě metody úpravy ostrých hran na konstrukci: zaoblení na $R = 2$ mm nebo sražení hrany.
- Výskyt štěrbin: u prvků, které jsou přivařené k tlakové nádobě, se vyskytují úzké štěrbin, které jsou (mohou) být příčinou vzniku tzv. štěrbinové koroze. Pokud se na konstrukci vyskytují úzké štěrbin, tak je velmi obtížná, potažmo zcela vyloučená, kvalitativní aplikace nátěrové hmoty dovnitř štěrbin. Navíc konstrukce, která je vystavená působení atmosférických vlivů, by měla být prostá štěrbin, resp. všech možných typů korozních koncentrátorů. Pokud toto nelze provést, např. z důvodu konstrukčních nebo technologických, musí být provedeno takové opatření, které zamezí, oddálí vznik předčasné koroze.



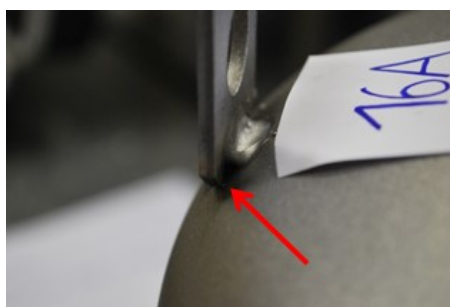
Obrázek č. 54 – Tlaková nádoba 5 A – Ostrá hrana, štěrbin

- Hůře přístupné plochy pro přípravu povrchu – u prvků, které jsou přivařené k tlakové nádobě, byla zjištěna nedostatečná příprava povrchu otryskáním. Nedostatečná příprava povrchu (nedostatečná drsnost povrchu) může být příčinou předčasného poškození nátěrového systému (závisí na typu nátěrové hmoty aplikované na tlakovou nádobu).



Obrázek č. 55 – *Tlaková nádoba 17 B – Hůře přístupné plochy*

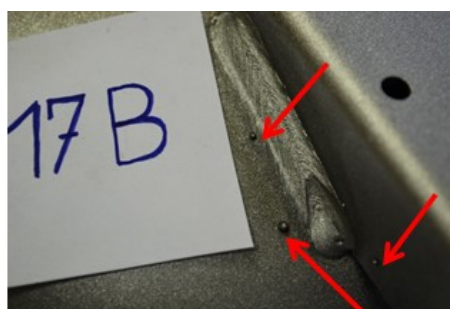
Fotodokumentace:



Obrázek č. 56 – *Tlaková nádoba 16 A – Štěrbina*



Obrázek č. 57 - *Štěrbina + zbytky otryskávacího prostředku*



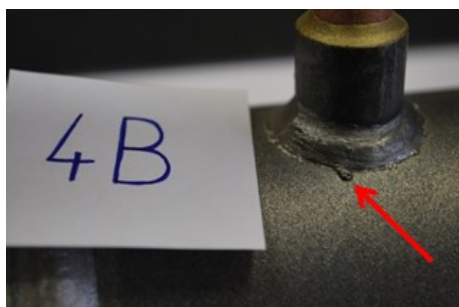
Obrázek č. 58 – *Tlaková nádoba 17 B – Rozstřík kuliček po svařování*



Obrázek č. 59 - *Nedostatečně provedené otryskávání – výskyt korozních produktů oceli (červená rez)*



Obrázek č. 60 – *Tlaková nádoba 5 A – Štěrbina, ostré hrany*



Obrázek č. 61 – *Tlaková nádoba 4 B – Rozstřík po svařování*

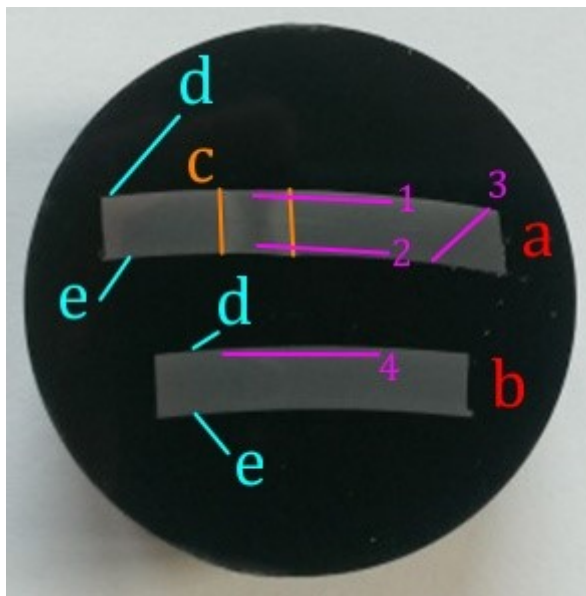


Obrázek č. 62 – *Okuje na povrchu*

5.7 MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI

Pro měření mikrotvrdomosti otryskaného povrchu byly využity tři tlakové nádoby (5 A, 16 A, 17 B) a změřené hodnoty byly zapisovány do tabulek.

Schéma měření:



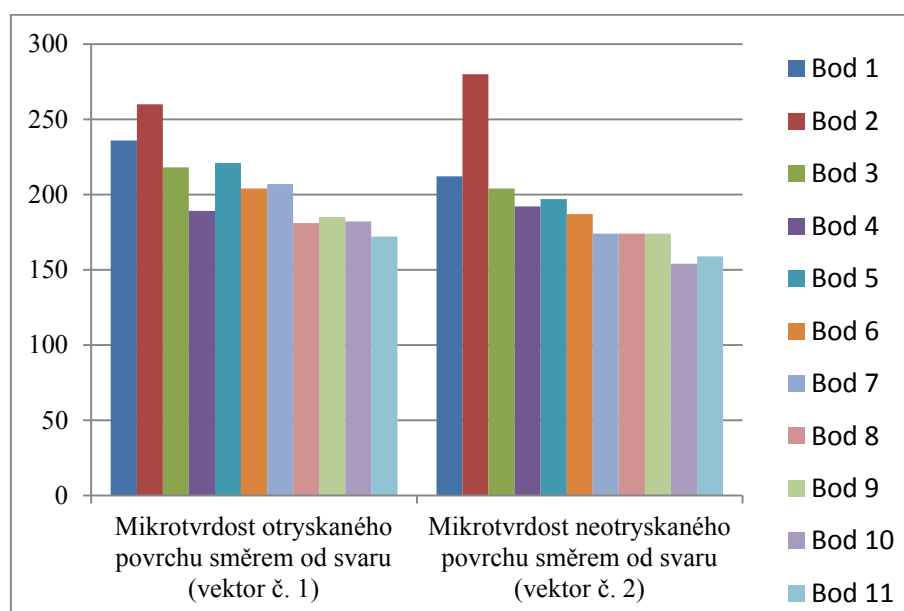
Obrázek č. 63 - Metalografický vzorek - a) průřez tlakové nádoby podélným svarem; b) průřez tlakové nádoby mimo podélného svaru; c) podélný svar; 1) vektorové měření mikrotvrdomosti č. 1; 2) vektorové měření mikrotvrdomosti č. 2; 3) vektorové měření mikrotvrdomosti č. 3; 4) vektorové měření mikrotvrdomosti č. 4; d) otryskaný povrch tlakové nádoby; e) neotryskaný vnitřní povrch tlakové nádoby

Tlaková nádoba 5 A:

Tabulka č. 5 – Tlaková nádoba 5 A – výsledky měření mikrotvrdomosti

Mikrotvrdomost HV _{0,1}												
Vektor č. 1	236	260	218	189	221	204	207	181	185	182	172	-
Vektor č. 2	212	280	204	192	197	187	174	174	174	154	159	-
Vektor č. 3	151	137	151	154	159	159	161	160	168	157	-	-
Vektor č. 4	152	154	147	152	147	138	146	137	144	146	-	-

	Roztavený okraj svaru
	Tepelně ovlivněná oblast svaru
	Základní materiál



Graf č. 1 – Hodnoty mikrotvrdomosti otryskaného vnějšího a neotryskaného vnitřního povrchu směrem od roztaveného okraje svaru k základnímu materiálu (tlaková nádoba 5 A)

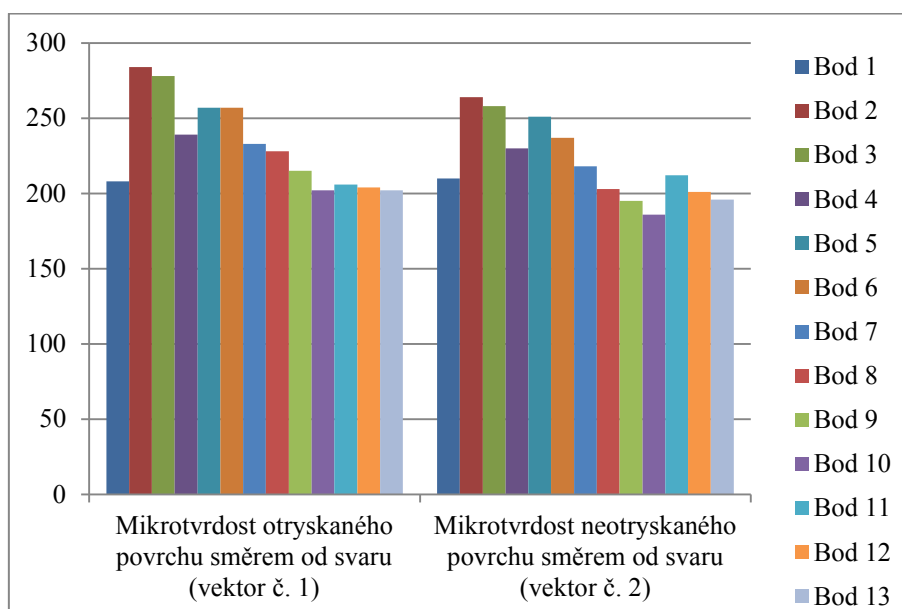
Z grafu můžeme vidět, že u většiny změřených bodů tlakové nádoby 5 A je mikrotvrdomost větší u otryskaného vnějšího povrchu, jelikož tryskáním dosáhneme vhodné drsnosti a zpevnění povrchu.

Tlaková nádoba 16 A:

Tabulka č. 6 – Tlaková nádoba 16 A – výsledky měření mikrotvrdosti

	Mikrotvrdost HV _{0,1}												
Vektor č. 1	208	284	278	239	257	257	233	228	215	202	206	204	202
Vektor č. 2	210	264	258	230	251	237	218	203	195	186	212	201	196
Vektor č. 3	195	193	190	191	203	190	191	205	195	202	-	-	-
Vektor č. 4	182	190	180	177	186	170	172	175	182	188	-	-	-

	Roztavený okraj svaru
	Tepelně ovlivněná oblast svaru
	Základní materiál



Graf č. 2 – Hodnoty mikrotvrdosti otryskaného vnějšího a neotryskaného vnitřního povrchu směrem od roztaveného okraje svaru k základnímu materiálu (tlaková nádoba 16 A)

Z grafu můžeme vidět, že u většiny změřených bodů tlakové nádoby 16 A je mikrotvrdost větší u otryskaného vnějšího povrchu, jelikož tryskáním dosáhneme vhodné drsnosti a zpevnění povrchu.

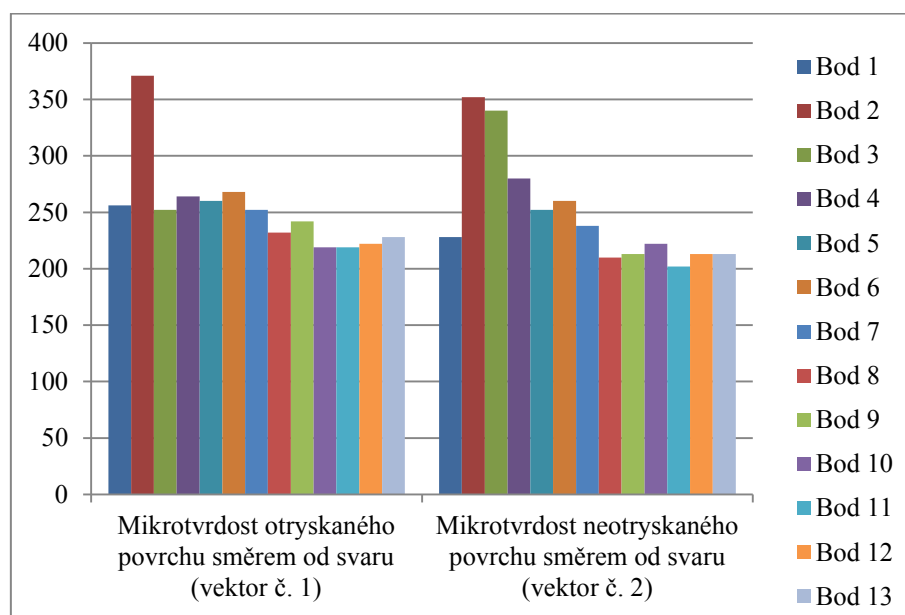
Tlaková nádoba 17 B:

Tabulka č. 7 – Tlaková nádoba 17 B – výsledky měření mikrotvrdomosti

	Mikrotvrdomost HV _{0,1}												
Vektor č. 1	256	371*	252	264	260	268	252	232	242	219	219	222	228
Vektor č. 2	228	352*	340*	280	252	260	238	210	213	222	202	213	213
Vektor č. 3	197	213	192	202	205	202	200	197	213	213	-	-	-
Vektor č. 4	185	183	197	178	183	192	183	192	190	200	-	-	-

* Tyto hodnoty je potřeba ještě ověřit, jelikož jsou velmi vysoké oproti ostatním

	Roztavený okraj svaru
	Tepelně ovlivněná oblast svaru
	Základní materiál



Graf č. 3 – Hodnoty mikrotvrdomosti otryskaného vnějšího a neotryskaného vnitřního povrchu směrem od roztaveného okraje svaru k základnímu materiálu (tlaková nádoba 17 B)

Z grafu můžeme vidět, že u většiny změřených bodů tlakové nádoby 17 B je mikrotvrdomost větší u otryskaného vnějšího povrchu, jelikož tryskáním dosáhneme vhodné drsnosti a zpevnění povrchu.

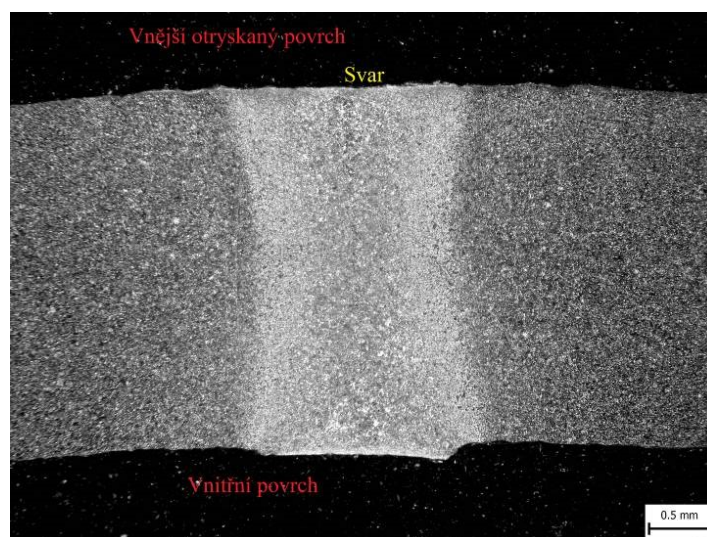
5.8 METALOGRAFICKÁ PŘÍPRAVA VZORKŮ + LEPTÁNÍ K VIZUALIZACI STRUKTUR

Vzorky:

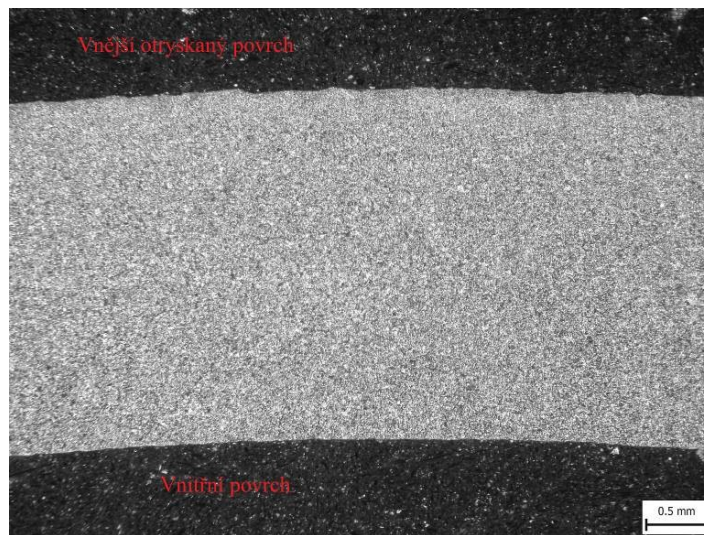


Obrázek č. 64 – Místa odběru vzorků pro metalografii

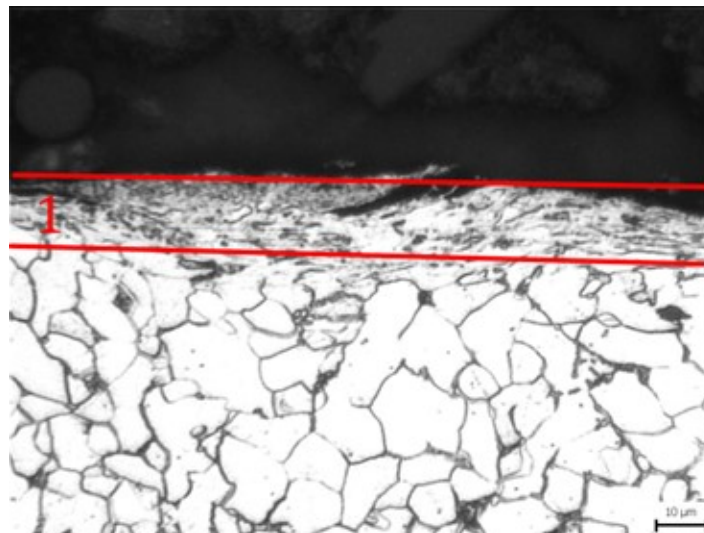
Tlaková nádoba 5 A:



Obrázek č. 65 – Průřez tlakové nádoby 5 A svarem – makrostruktura

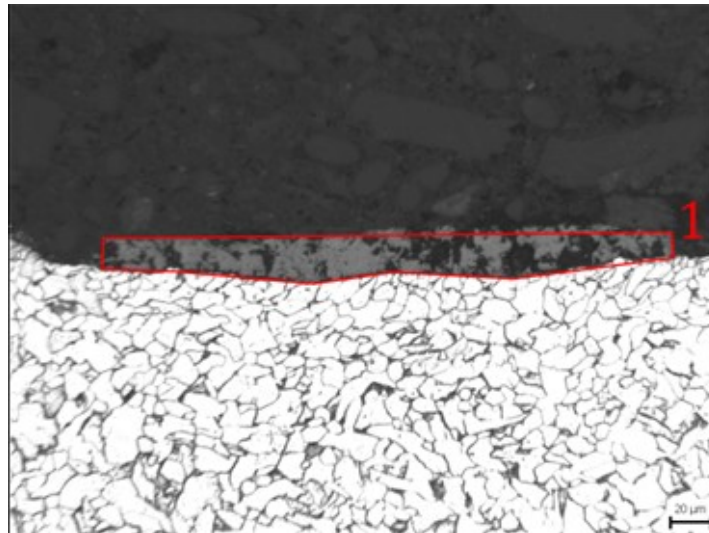


Obrázek č. 66 – Průřez tlakové nádoby 5 A mimo svar – makrostruktura



Obrázek č. 67 – Povrchová deformace po otryskávání tlakové nádoby 5 A (1), (500x)

Z obrázku č. 67 pomocí měřítka můžeme vyčíst, že hloubka deformace po otryskání tlakové nádoby 5 A je zhruba 15 μm a došlo k velké deformaci zrn.



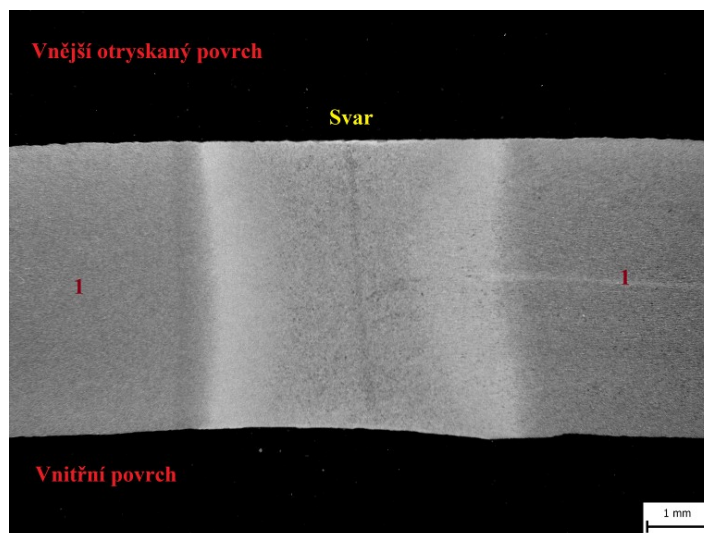
Obrázek č. 68 – Okuje na otryskaném povrchu tlakové nádoby 5 A (1), povrch bez deformace, (500x)

Na obrázku č. 68 můžeme vidět výskyt okují na otryskaném povrchu tlakové nádoby 5 A, kdy povrch zůstal bez deformace.

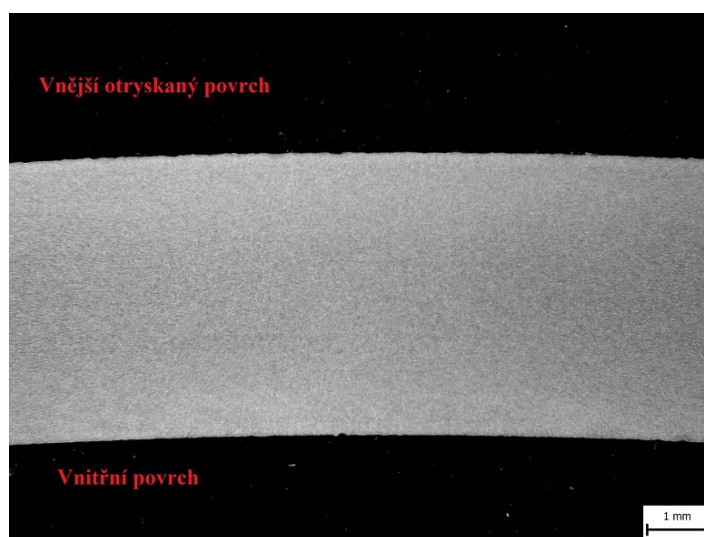
Zhodnocení:

Povrch tlakové nádoby 5 A je z velké části velmi dobře otryskaný. Je zde vidět jednotná deformace povrchové vrstvy po otryskání (viz. Obrázek č. 67). Lokálně zde můžeme nalézt zbytky okují (viz. Obrázek č. 68). Struktura základního materiálu je ferit, bainit a sporadicky perlit.

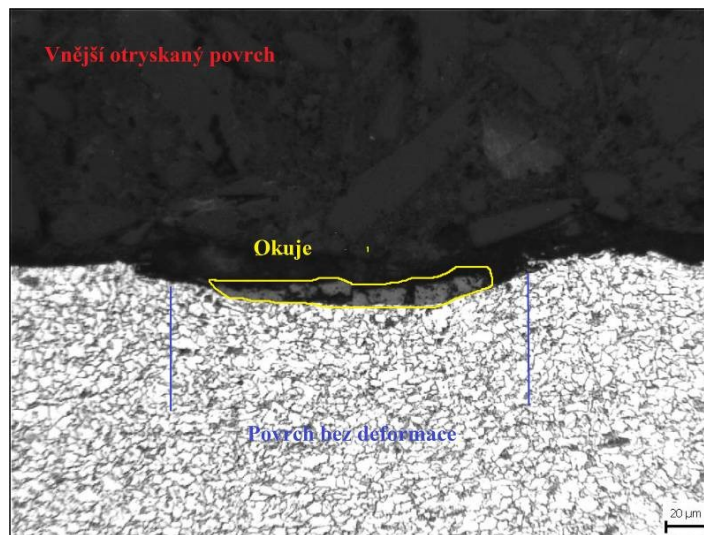
Tlaková nádoba 16 A:



Obrázek č. 69 – Průřez tlakové nádoby 16 A – bod 1 značí základní materiál – odlišná mikrostruktura na levé a na pravé straně – makrostruktura

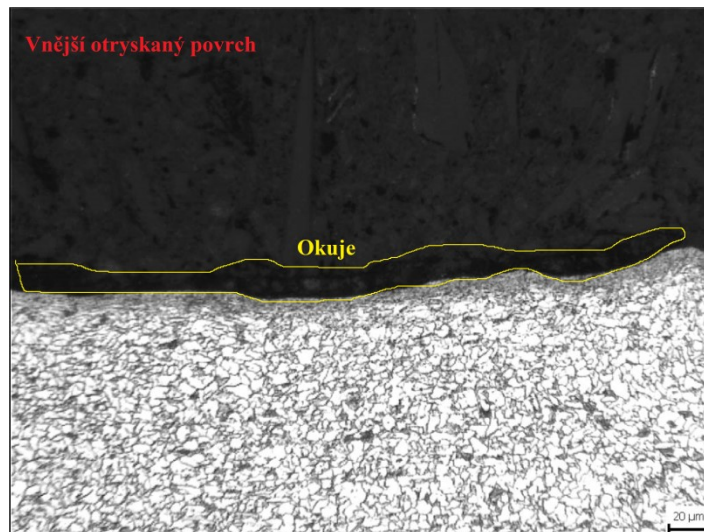


Obrázek č. 70 – Průřez tlakové nádoby 16 A mimo svar – makrostruktura



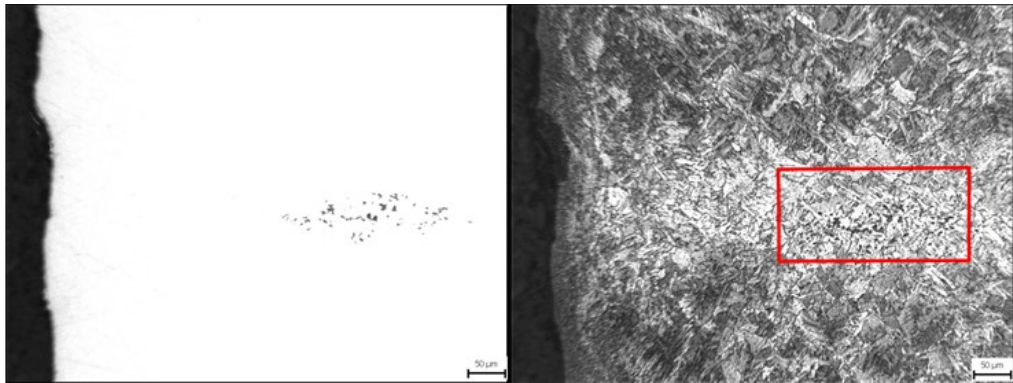
Obrázek č. 71 – Okuje na otryskaném povrchu tlakové nádobe 16 A, povrch bez deformace – špatně otryskané, (200x)

Na obrázku č. 71 můžeme vidět okuje na otryskaném povrchu tlakové nádobe 16 A, povrch zde zůstal bez deformace, což může být důsledkem špatného otryskání tohoto místa.



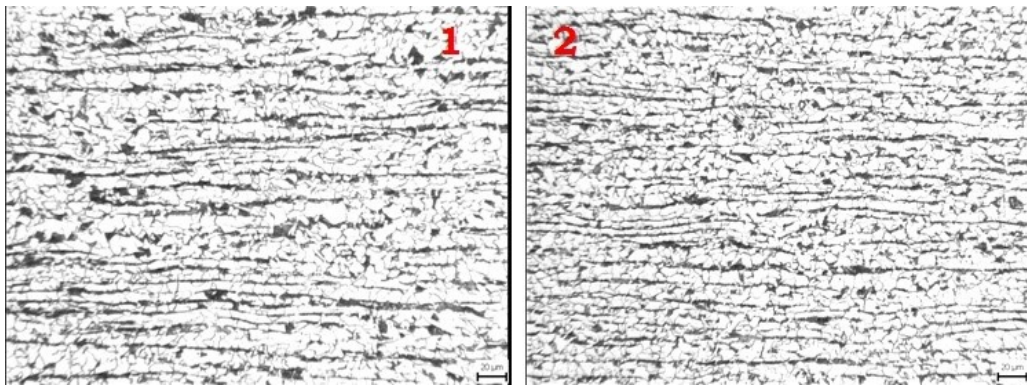
Obrázek č. 72 – Okuje na otryskaném povrchu tlakové nádobe 16 A – špatně otryskané, deformace zrn, (200x)

Na obrázku č. 72 můžeme vidět také okuje na otryskaném povrchu tlakové nádobe 16 A, ale pod nimi i malou deformaci zrn, což má za následek zpevnění povrchu.



Obrázek č. 73 – Svarová vada u tlakové nádoby 16 A – Inkluze oxidů, (200x)

Na obrázku č. 73 je vidět svarová vada tlakové nádoby 16 A v podobě výskytu oxidů, možnou příčinou této vady je lokálně špinavá svařovací oblast.

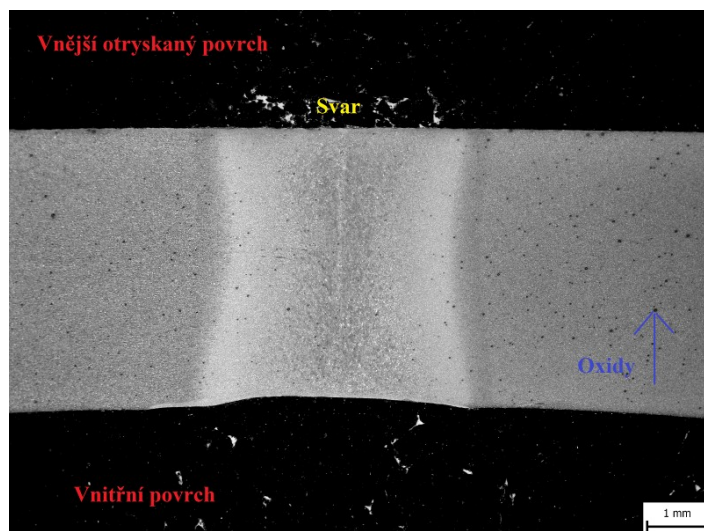


Obrázek č. 74 – Odlišná struktura základního materiálu v různých místech tlakové nádoby 16 A – 1) hrubší zrno, 2) menší zrno, (200x)

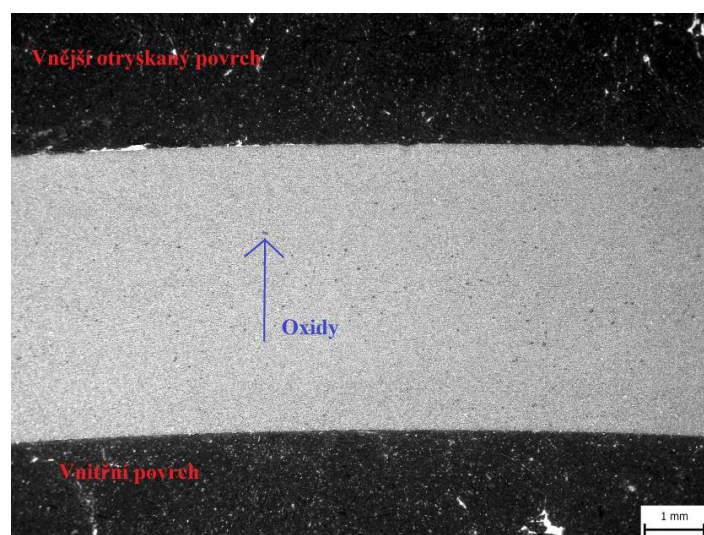
Zhodnocení:

Povrch tlakové nádoby nebyl velmi dobře otryskaný. Lokálně zde můžeme nalézt zbytky okují (viz. Obrázek č. 71). Tato tlaková nádoba má vadu svaru – inkluze oxidů (viz. Obrázek č. 73). Základní materiál, který se používá k výrobě této tlakové nádoby má odlišnou mikrostrukturu (viz. Obrázek č. 74). Struktura základního materiálu je ferit, bainit a sporadicky perlit.

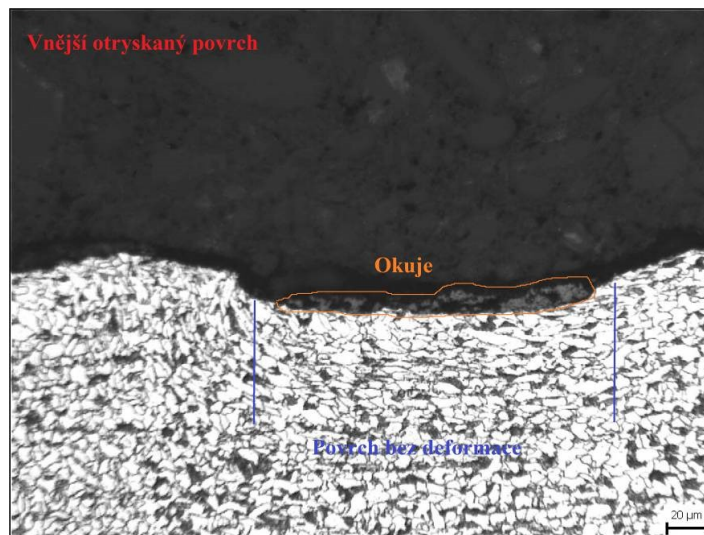
Tlaková nádoba 17 B:



Obrázek č. 75 – Průřez tlakové nádoby 17 B svarem, základní materiál obsahuje oxidy – makrostruktura

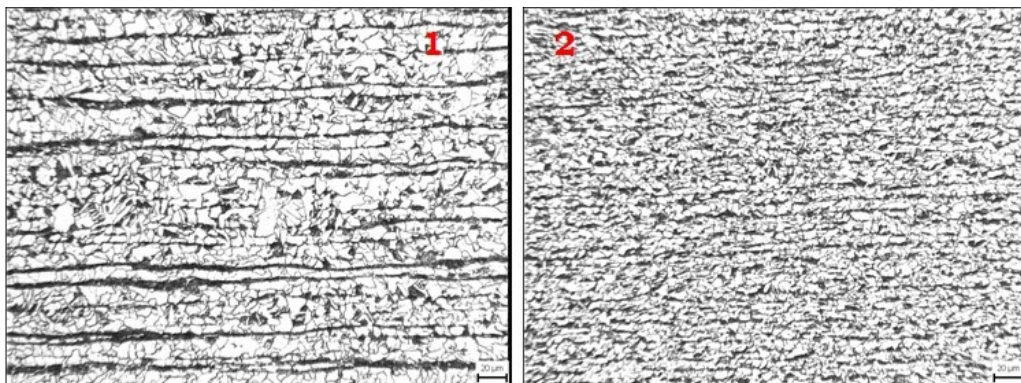


Obrázek č. 76 – Průřez tlakové nádoby 17 B mimo svar, základní materiál obsahuje oxidy – makrostruktura



Obrázek č. 77 – Okuje na otryskaném povrchu tlakové nádoby 17 B, povrch bez deformace – špatně otryskané, (200x)

Na obrázku č. 77 vidíme výskyt okují a povrch bez deformace, což je způsobeno špatným otryskáním povrchu.



Obrázek č. 78 – Odlišná struktura základního materiálu v různých místech tlakové nádoby 17 B – 1) hrubší zrno, 2) menší zrno, (200x)

Zhodnocení:

Povrch tlakové nádoby nebyl velmi dobře otryskaný. Lokálně zde můžeme nalézt zbytky okují (viz. Obrázek č. 77). Základní materiál, který se používá k výrobě této tlakové nádoby má odlišnou mikrostrukturu (viz. Obrázek č. 78). Struktura základního materiálu je ferit, bainit a sporadicky perlit.

5.10 KOROZNÍ ZKOUŠKA

Pro korozní zkoušku byl vybrán vzorek tlakové nádoby 4 A (neotryskaný povrch) a 4 B (otryskaný povrch). Tato zkouška probíhala dle normy ČSN EN ISO 9227, která stanovuje chemikálie, přístroje a postupy pro zkoušky neutrální solnou mlhou (NSS), okyselenou solnou mlhou (AASS) a okyselenou solnou mlhu s chloridem měďnatým (CASS), kterými se stanovuje odolnost proti korozi kovových materiálů jak bez protikorozní ochrany, tak s trvalou nebo dočasnou protikorozní ochranou. [27]

Korozní zkouška solnou mlhou byla provedena metodou NSS – v mlze neutrálního roztoku chloridu sodného:

- v průběhu zkoušky se pH rozprašovaného roztoku pohybuje v rozmezí 6,5 – 7,2
- zkušební vzorky jsou v komoře rozmístěny tak, aby nedocházelo k přímému postřiku mlhou z rozprašovače
- teplota ve zkušební komoře by se měla pohybovat kolem 35 ± 2 °C
- úhel, pod kterým je v komoře povrch vzorku vystaven působení mlhy musí být 20° ke svislici

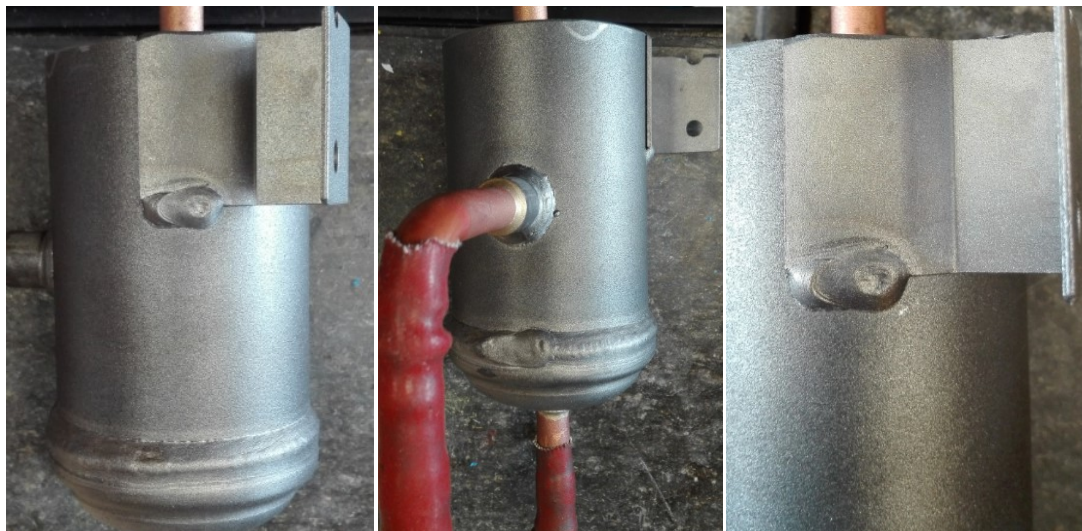
Doba zkoušky v korozní komoře byla 24 hodin. Jednalo se o korozní komoru typu S 400 M TR, Leibisch.



Obrázek č. 79 – Korozní komora [28]

Fotodokumentace:

Tlaková nádoba 4 B – otryskaná:



Obrázek č. 80 – *Otryskané tlakové nádoby 4 B – před korozní zkouškou v korozní komoře*



Obrázek č. 81 – *Otryskané tlakové nádoby 4 B – po korozní zkoušce v korozní komoře*

Fotodokumentace:

Tlaková nádoba 4 A – neotryskaná:



Obrázek č. 82 – Neotryskané tlakové nádoby 4 A – před korozní zkouškou v korozní komoře



Obrázek č. 83 – Neotryskané tlakové nádoby 4 A – po korozní zkoušce v korozní komoře

Zhodnocení:

Po 24 hodinách otryskané a neotryskané tlakové nádoby v korozní komoře byla zjištěna větší koroze na otryskané části (viz. Obrázek č. 82 a 83), a to z důvodu, že otryskáním se zvětší plocha a povrch je v aktivním stavu, zatímco na neotryskaném povrchu zůstávají okuje, které povrch chrání.

Základní informace o měděné trubce:

Materiál: 99,9 % měď

Průměr: 6,35 mm, 9,52 mm, 12,7 mm, 15,9 mm

Předúprava povrchu: Tryskáno ocelovou drtí G 18, 0,71 – 1,18 mm, 59 HRC,

5.10 MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI

Pro měření mikrotvrdosti měděné trubky byl využit vzorek 5 A.

Schéma měření:

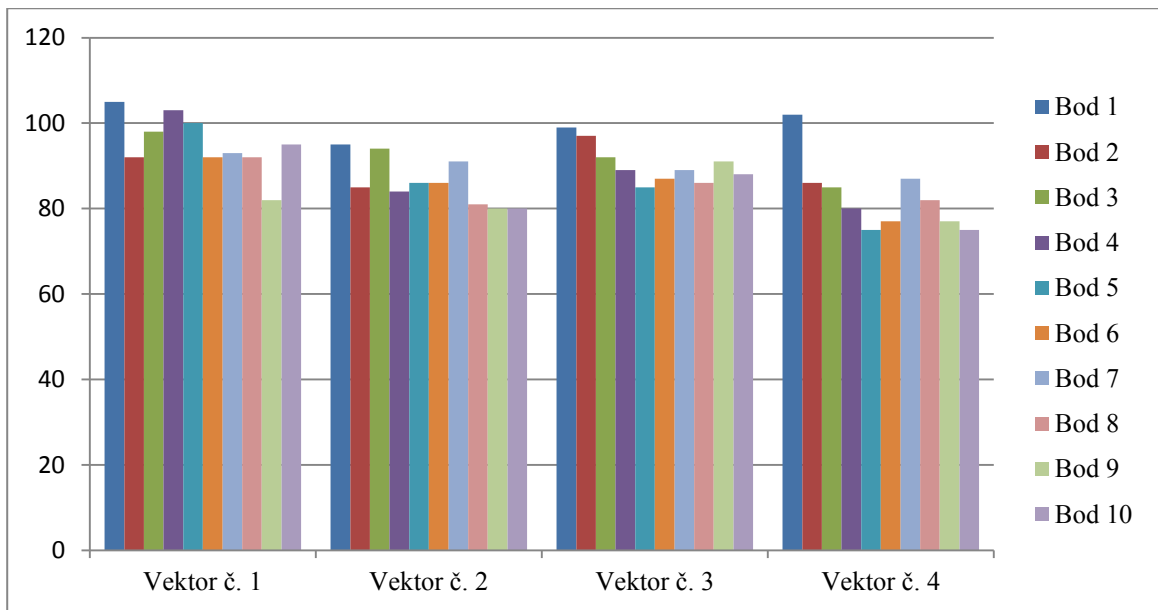


Obrázek č. 84 – Metalografický vzorek – Průřez měděné trubky, 1-4 – vektory měření mikrotvrdosti – měření od otryskaného vnějšího povrchu k základnímu materiálu vnitřního povrchu

Tabulka č. 8 - Tlaková nádoba 5 A – výsledky měření mikrotvrdosti měděné trubky

	Mikrotvrdost HV _{0,1}									
Vektor č. 1	105	92	98	103	100	92	93	92	82	95
Vektor č. 2	95	85	94	84	86	86	91	81	98	80
Vektor č. 3	99	97	92	89	95	97	99	96	91	88
Vektor č. 4	102	86	85	80	75	77	87	82	77	75

	Otryskaný povrch
	Základní materiál



Graf č. 4 – Hodnoty mikrotvrlosti vektorů 1 – 4 měděné trubky u tlakové nádoby 5 A

Z grafu vidíme, že až na malé výjimky mikrotvrдость vnějšího otryskaného povrchu je větší než mikrotvrдость základního materiálu (vnitřní povrch), z důvodu, že otryskáním se zpevní povrch.

5.11 METALOGRAFICKÁ PŘÍPRAVA VZORKŮ + LEPTÁNÍ K VIZUALIZACI STRUKTUR

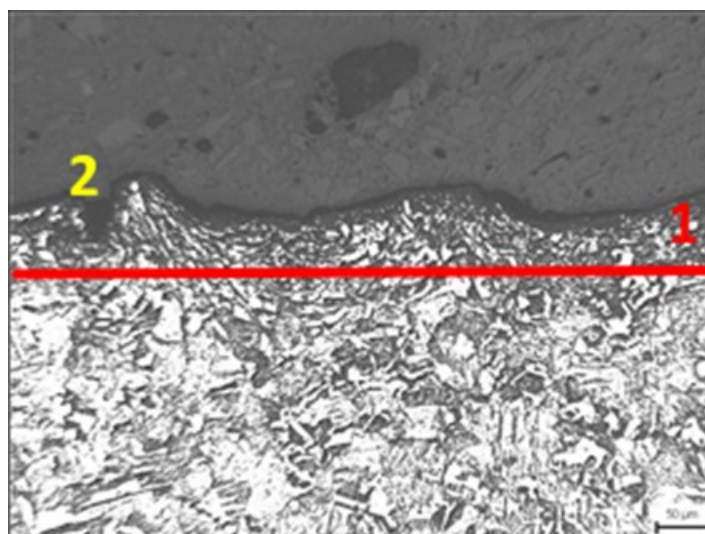
Vzorky:



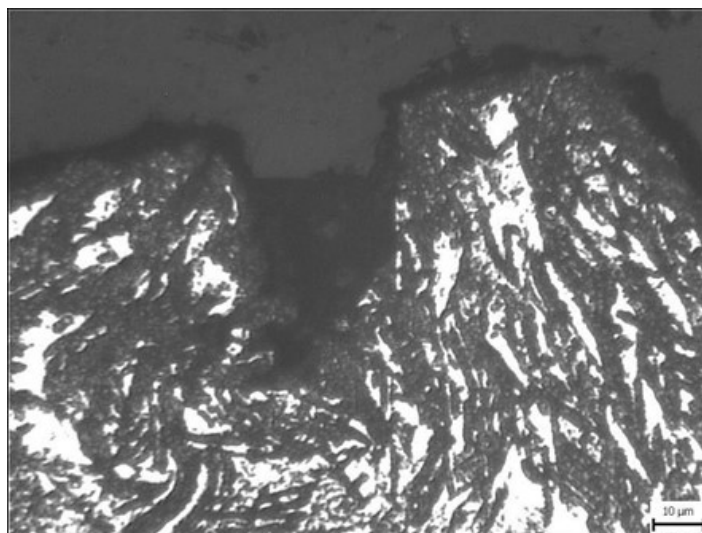
Obrázek č. 85 – Místa odběrů vzorků pro metalografii

Vzorek tlakové nádoby 5 A:

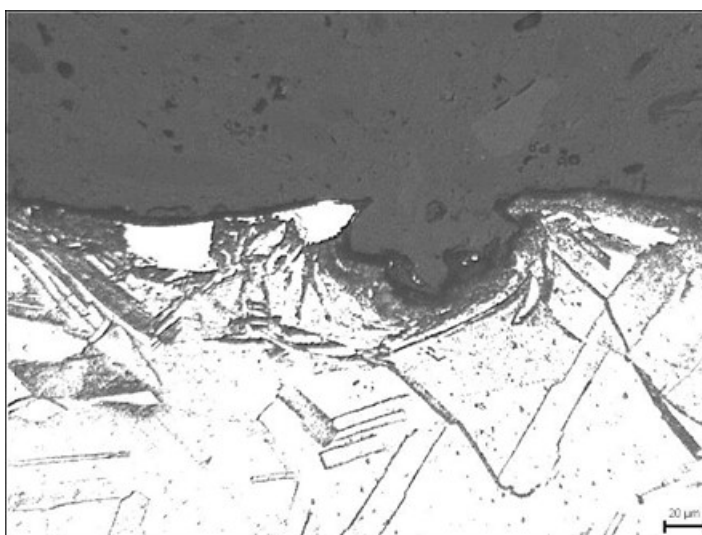
Průměr měděné trubky 6,35 mm



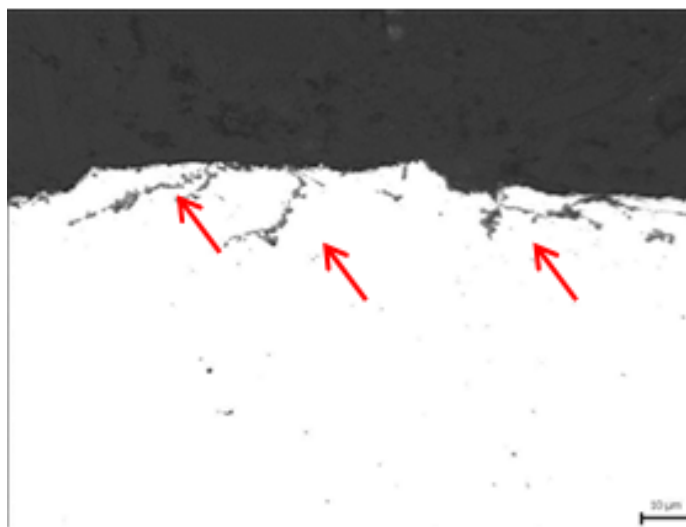
Obrázek č. 86 – Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 5 A po otryskání (1),
zářez (2). (100x)



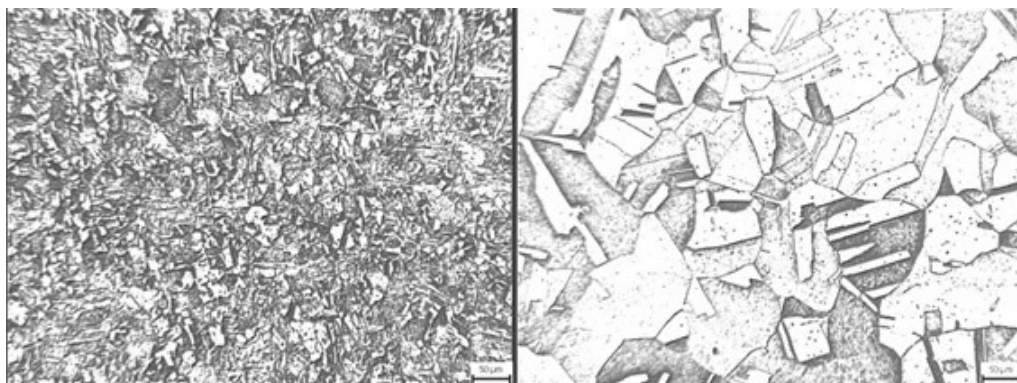
Obrázek č. 87 – Zářez povrchu vzorku, hloubka cca 30 μm, šířka cca 20 μm, (500x)



Obrázek č. 88 – Zářez na povrchu vzorku, hloubka cca 40 μm, šířka cca 40 μm, (200x)



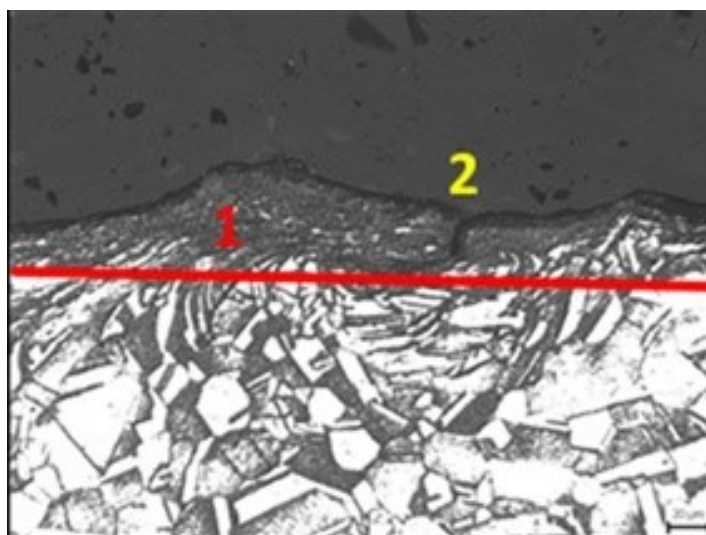
Obrázek č. 89 – Mezikrystalová koroze, (500x)



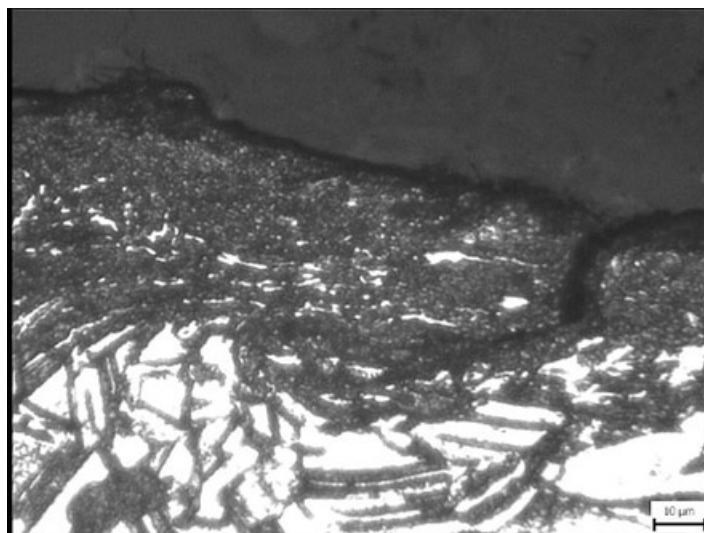
Obrázek č. 90 – *Rozdílná struktura mědi u měděné trubičky tlakové nádoby 5 A*

Vzorek tlakové nádoby 16 A:

Průměr měděné trubky 6,35 mm

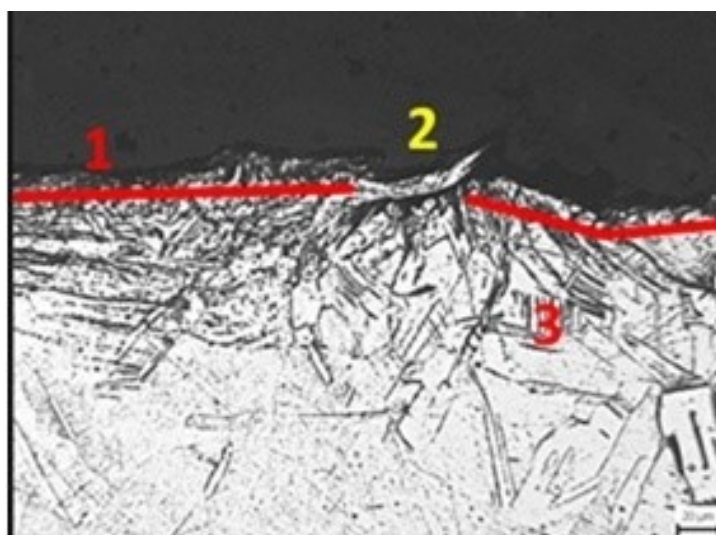


Obrázek č. 91 – *Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A po otryskání (1), oblast plastické deformace (2), (200x)*

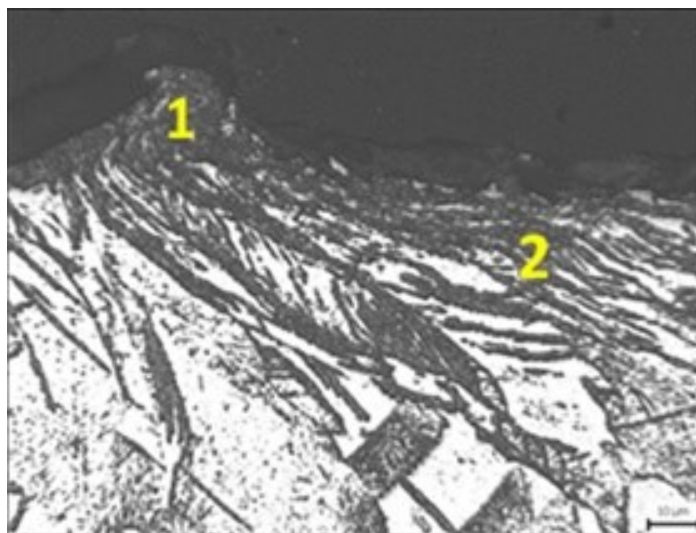


Obrázek č. 92 – Detail oblasti plastické deformace, (500x)

Průměr měděné trubky 9,52 mm

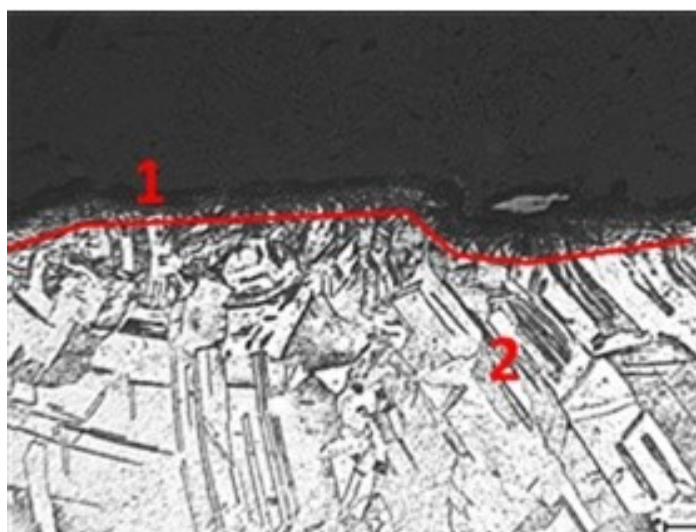


Obrázek č. 93 – Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A (1), oblast plastické deformace (2), deformační čáry (3), (200x)

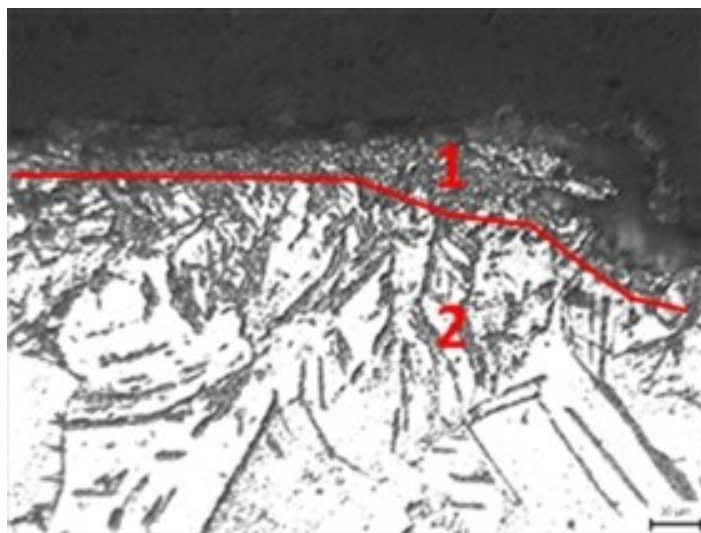


Obrázek č. 94 – Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A (1), deformační čáry (2), (500x)

Průměr měděné trubky 15,9 mm



Obrázek č. 95 – Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A (1), deformační čáry (2), (200x)



Obrázek č. 96 – Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A (1), deformační čáry (2), (500x)

Zhodnocení:

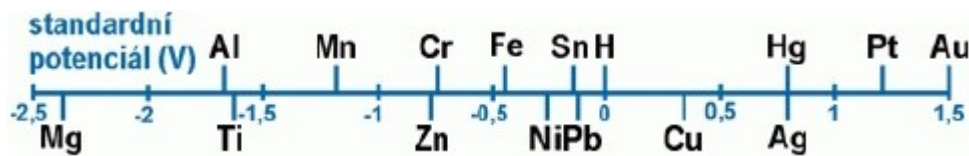
Na fotografiích vidíme prostor s plastickou deformací a oblast, kde byly vytvořeny deformační čáry. Plastická deformace byla lokálně velmi intenzivní a výsledky jsou oblasti s promáčknutím. To je výsledkem použitého ostrohranného ocelového abraziva, kdy tvrdost oceli je vyšší než tvrdost mědi.

Dále můžeme vidět oblasti výskytu mezikrystalové koroze. Je velmi obtížné zjistit příčinu vzniku tohoto typu koroze, jelikož doba mezi otryskáním a měřením byla několik týdnů. Obecně platí, že mezikrystalová koroze se vytváří z důvodu poškození pasivní vrstvy oxidů na povrchu a následné elektrochemické koroze. Různá mikrostruktura měděných trubek byla pozorována u všech průměrů (viz. Obrázek č. 90).

5.12 Vyhodnocení tryskání s ohledem na použitý tryskací materiál

Tlakové nádoby se skládají ze dvou různých materiálů, a to oceli a mědi. Každý tento materiál má jiný elektrochemický potenciál (viz. Obrázek 97). Máme-li spojit dva různé materiály, kde je rozdílný elektrochemický potenciál minimálně 0,25 V, tak dojde ke galvanické korozi. V této souvislosti vždy koroduje materiál s nižší hodnotou elektrochemického potenciálu. V tomto případě je to ocel. Na galvanickou korozi mají vliv i další faktory, např. velikost plochy každého materiálu, prostředí atd.

Z hlediska tryskání problém nastal v použitém druhu abraziva. Jestliže bylo použito ocelové abrazivum, tak na povrchu měděných trubek zůstaly stopy po tryskání (např. jemný ocelový prach) a tím dochází k velmi intenzivní korozi. Tím pádem by se mělo použít na otryskání nekovové abrazivum.



Obrázek č. 97 – Elektrochemický potenciál kovů [25]

5.13 Měření průměru trubky před a po otryskání

Účelem tohoto měření bylo vyhodnotit změny průměru měděných trubek před a po otryskání. Toto měření ovšem nebylo vhodné pro měděné trubky, jelikož byly plasticky deformovány po otryskání a průřez trubky nebyl kruhový.

ZÁVĚR

Ve své diplomové práci se zabývám studiem vlivu drsnosti kovového povrchu na vlastnosti povrchu. Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část.

V teoretické části se zabývám charakteristikou povrchu strojírenských materiálů, kde jsou popsány vlastnosti kovů na fázovém rozhraní, dále povrchové úpravy kovů, kde je rozebráno čištění a předběžné úpravy a v poslední části teorie je popsána koroze.

V první části experimentálních měření byla vyhodnocena čistota a drsnost povrchu po provedeném otryskání ocelovou drtí G18. Výsledný stav povrchu po provedeném otryskání je vyhovující pro aplikaci následného nátěrového systému.

Přesto se ale u tlakových nádob vyskytly vady povrchu nebo konstrukční nedostatky, které mohou velmi negativně ovlivnit výslednou životnost nátěrového systému. Nutno upozornit na místní nedostatečně provedenou přípravu povrchu. V některých případech se na povrchu vyskytovaly okuje, které jsou, z pohledu následné protikorozní ochrany nátěrovými hmotami, nepřijatelnou vadou. Je velmi žádoucí, aby byla zintenzivněna kontrola jakosti po technologické operaci otryskávání. Dále se u tlakových nádob vyskytují plochy, které jsou hůře přístupné pro otryskávání. V tomto případě je nutné upozornit obsluhu provádějící tryskání na tuto skutečnost a technologický proces otryskávání upravit tak, aby uvedené plochy byly dodatečně otryskány. Dále byl u tlakových nádob zjištěn výskyt štěrbin, ostrých hran a vad svarů ve formě rozstříku kuliček. Doporučuji se těmto nedostatkům věnovat, neboť jsou příčinou předčasného poškození nátěrového systému. Zvláště v případech, měděných trubek byl otryskáný. Fotografie nám ukazují prostor s plastickou deformací a oblast, kde byly vytvořeny deformační čáry. Plastická deformace byla lokálně velmi intenzivní a výsledky jsou oblasti s promáčknutím. To je výsledkem použitého ostrohranného ocelového abraziva, kdy tvrdost oceli je vyšší než tvrdost mědi.

Dále zde byly zjištěny oblasti výskytu mezikystalové koroze. Je velmi obtížné zjistit příčinu vzniku tohoto typu koroze, jelikož doba mezi otryskáním a měřením byla několik týdnů. Obecně platí, že mezikystalová koroze se vytváří z důvodu poškození pasivní vrstvy oxidů na povrchu a následné elektrochemické koroze. Co se týče korozní zkoušky v korozní komoře, kde byla 24 hodin otryskaná a neotryskaná tlaková láhev, tak větší koroze nastala u otryskané tlakové nádoby.

Různá mikrostruktura měděných trubek byla pozorována u všech průměrů (viz. Obrázek č. 90). Tyto experimentální práce obsahují výsledky měření mikrotvrdosti,

výsledky metalografických analýz a doporučení ohledně tryskání měděných trubek. Použité ocelové abrazivum není vhodné pro měděné trubky, jelikož dochází k plastické deformaci, kdy nátěrový systém je vystavený atmosférickým podmínkám.

Povrch měděných trubek vlivem vyšší tvrdosti oceli než mědi a tím způsobuje vznik vrubů. Je také nutné zabývat se problematikou spojení dvou různých materiálů ve spojení s galvanickou korozi. V této souvislosti koroduje méně ušlechtilý kov.

Poděkování

Rád bych zde poděkoval lidem, bez kterých by tato práce nevznikla. Děkuji Ing. Renému Siostrzonekovi, Ph.D. a Ing. Daniele Pavelkové za rady a pomoc při vykonávání experimentálních prací, konzultací a poskytnutí materiálů. Obzvláště děkuji doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc., za cenné rady a trpělivost při vedení mé diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB-TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [2] Písek křemičitý přírodní: zrnitost 0,6-1,2 mm. [online]. [vid. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://www.flexiobklady.cz/produkty-pisek-prirodni-zrnitost-06-12.php>
- [3] Tvrzená litina – ostrohranná drť. [online]. [vid. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.abranova.cz/ocelovy-a-nerezovy-tryskaci-material/ocelovy-tryskaci-material/tvrzena-litina-ostrohranna-drt.htm>
- [4] Hliníkový sekaný drát. [online]. [vid. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.abranova.cz/ocelovy-a-nerezovy-tryskaci-material/nerezovy-tryskaci-material/hlinikovy-sekany-drat.htm>
- [5] Karbid křemíku. [online]. [vid. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://www.polpur.cz/polpur/eshop/1-1-UZITNE-SKLO/0/5/34-Zeleny-karbid-kremiku-SiC>
- [6] Mikrokuličky – balotina. [online]. [vid. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://www.cz.all.biz/mikrokulicky-balotina-g59058#.VpfAffnhCM8>
- [7] POMETLO, S. Žárové zinkování ocelových konstrukcí. Brno, 2014. Diplomová práce. VUT Brno, Fakulta strojní.
- [8] KRAUS, V.: *Povrchy a jejich úpravy*. Západočeská univerzita, Strojní fakulta, Plzeň, 2000. 1. vydání. 216 s.
- [9] DORAZIL, P. Studium přípravy povrchu substrátu na vlastnosti nátěrového systému. Ostrava, 2009. Diplomová práce. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní.
- [10] DOBROVODSKÁ, L. Studium vlivu drsnosti ocelového substrátu na vlastnosti povlaků plněných malými částicemi. Ostrava, 2010. Disertační práce. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní.
- [11] PAVELKOVÁ, D. Konzervační schopnost povlaků aplikovaných na materiály hutní produkce pro krátkodobou protikorozi ochranu. Ostrava, 2013. Diplomová práce. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní.

- [12] Bodová koroze. [online]. [vid. 2016-01-19]. Dostupné z:http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/Irocnik/chemie1r/prednes/Ch_predn13-Ko.pdf
- [13] KUNDRÁT, V. Koroze kovů v prostředí chloridů podle kritérií globálního harmonizovaného systému. Brno, 2010. Bakalářská práce. VUT Brno, Fakulta strojní.
- [14] Povrchová úprava kovů pískováním. [online]. [vid. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://www.piskovacka.cz/info-65-povrchova-uprava-kovu-piskovanim>
- [15] Koroze v potrubních systémech. [online]. [vid. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1827>
- [16] Trubka rozvodu plynu. [online]. [vid. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/koratlas/09.html>
- [17] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I: [Určeno pro posl. 5. roč. FS]*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1994, 71 s. ISBN 80-7078-235-8.
- [18] Elcometer 125 ISO Komparátor. [online]. [vid. 2016-01-28]. Dostupné z: <http://www.gamin.cz/katalog/merici-a-laboratorni-pristroje/priprava-povrchu—drsnost/elcometer-125—iso-komparator>
- [19] Elcometer 7061 Drsnoměr MarSurf PS1. [online]. [vid. 2016-01-28]. Dostupné z: http://www.gamin.cz/katalog/merici-a-laboratorni-pristroje/priprava-povrchu—drsnost/elcometer_7061_drsnomer_marsurf_ps1
- [20] NOVÁK, Pavel. Druhy koroze kovů. *Koroze a degradace kovových materiálů*. [online]. [vid. 2016-04-24]. Dostupné z:http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_2.pdf
- [21] Koroze materiálů. [online]. [vid. 2016-04-24]. Dostupné z:http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu/koroze_materialu_dopln_ek_prednasek.pdf
- [22] ČSN EN ISO 8501-1: Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků

[23] ČSN EN ISO 8503-1: Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů - Část 1: Specifikace a definice pro hodnocení otryskaných povrchů s pomocí ISO komparátorů profilu povrchu

[24] ČSN EN ISO 8503-5: Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů - Část 5: Určení profilu povrchu páskou metodou repliky

[25] Elektrochemická řada kovů. . [online]. [vid. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://image.slidesharecdn.com/kovy-091030034451-phpapp01/95/che-06a-kovy-11-728.jpg?cb=1381114833>

[26] Povrchy a jejich úpravy. Vlastnosti povrchu. [online]. [vid. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/povrchy.pdf>

[27] ČSN EN ISO 9227: Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou

[28] Korozní komora. [online]. [vid. 2016-04-27]. Dostupné z: http://www.liebisch.de/englisch/html/chest_type_units.htm

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

- Obrázek č. 1** – Schéma sil, které působí na atom v povrchu (A) a uvnitř krystalu (B) – str. 12
- Obrázek č. 2** – Adsorpce, inkorporace, absorpce – str. 13
- Obrázek č. 3** – Povrchové vrstvy na leštěném povrchu (p – povrch, a – směs kovů, oxidů, leštících past, b – oxidová vrstva, c – adsorbované tuky, d – adsorbovaný kyslík nebo jiné plyny) – str. 13
- Obrázek č. 4** – Schéma nerovností různého druhu – str. 14
- Obrázek č. 5** – Typické průběhy zbytkových pnutí pod povrchem – str. 15
- Obrázek č. 6** – Parametry drsnosti R_v , R_p , R_z – str. 15
- Obrázek č. 7** – Parametr drsnosti R_a – str. 16
- Obrázek č. 8** – Parametr drsnosti R_q – str. 16
- Obrázek č. 9** – ISO komparátor drsnosti – str. 17
- Obrázek č. 10** – Elcometer 7061 drsnoměr – str. 17
- Obrázek č. 11** – Křemičitý písek – str. 20
- Obrázek č. 12** – Litinová drť – str. 21
- Obrázek č. 13** – Sekaný drát – str. 21
- Obrázek č. 14** – Brusivo – str. 22
- Obrázek č. 15** – Balotina – str. 22
- Obrázek č. 16** – Způsoby omílání – a) odstředivé b, c, d) rotační e) vibrační – str. 23
- Obrázek č. 17** – Ukázka strojů a přípravků pro broušení – str. 24
- Obrázek č. 18** – Druhy kartáčů – a) fibrový b) drátěný s polévatými svazečky c) s dlouhými svazečky d) s vyměnitelnými svazečky e) drátěné štětky – str. 24
- Obrázek č. 19** – Průběh odmašťování (I. - souvislá vrstva mastnoty na povrchu, II. - postupné rozrušování souvislé vrstvy mastnoty odmašťovacím roztokem, III. - emulgace a dispergace mastnoty) – str. 26

- Obrázek č. 20** - *Princip odlupování nečistot a oxidů kyselinou* – str. 27
- Obrázek č. 21** – *Rovnoměrná koroze (1 – Původní povrch, 2 – Povrch po napadení)* – str. 29
- Obrázek č. 22** – *Nerovnoměrná koroze* – str. 29
- Obrázek č. 23** – *Důlková koroze* – str. 30
- Obrázek č. 24** – *Bodová koroze* – str. 30
- Obrázek č. 25** – *Podpovrchová koroze* – str. 31
- Obrázek č. 26** – *Selektivní koroze (a) napadena jedna fáze vícefázové struktury, b) napadení jednotlivých zrn struktury)* – str. 31
- Obrázek č. 27** – *Mezikrystalová koroze* – str. 31
- Obrázek č. 28** – *Transkrystalová koroze* – str. 32
- Obrázek č. 29** – *Příklad atmosférické koroze* – str. 32
- Obrázek č. 30** – *Potrubi, které sloužilo k odvodu chladicích vod* – str. 33
- Obrázek č. 31** – *Koroze trubky rozvodu plynu v půdě* – str. 33
- Obrázek č. 32** – *Koroze železného šroubu v místě měděného pláště* – str. 34
- Obrázek č. 33** – *Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 1 A* – str. 41
- Obrázek č. 34** – *Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 2 B* – str. 42
- Obrázek č. 35** – *Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 3 A* – str. 42
- Obrázek č. 36** – *Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 4 B* – str. 43
- Obrázek č. 37** – *Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 5 A* – str. 43
- Obrázek č. 38** – *Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 16 A* – str. 44
- Obrázek č. 39** – *Stupeň čistoty – Tlaková nádoba 17 B* – str. 44
- Obrázek č. 40** – *Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 1 A* – str. 46
- Obrázek č. 41** – *Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 2 B* – str. 46

- Obrázek č. 42** – *Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 3 A* – str. 46
- Obrázek č. 43** – *Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 4 B* – str. 47
- Obrázek č. 44** – *Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 5 A* – str. 47
- Obrázek č. 45** – *Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 16 A* – str. 48
- Obrázek č. 46** – *Stanovení drsnosti – Tlaková nádoba 17 B* – str. 48
- Obrázek č. 47** – *Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 1 A* – str. 49
- Obrázek č. 48** – *Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 2 B* – str. 49
- Obrázek č. 49** – *Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 3 A* – str. 50
- Obrázek č. 50** – *Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 4 B* – str. 50
- Obrázek č. 51** – *Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 5 A* – str. 51
- Obrázek č. 52** – *Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 16 A* – str. 51
- Obrázek č. 53** – *Stanovení kotvícího profilu – Tlaková nádoba 17 B* – str. 52
- Obrázek č. 54** – *Tlaková nádoba 5 A – Ostrá hrana, štěrbin* – str. 54
- Obrázek č. 55** – *Tlaková nádoba 17 B – Hůře přístupné plochy* – str. 55
- Obrázek č. 56** – *Tlaková nádoba 16 A – Štěrbin* – str. 55
- Obrázek č. 57** - *Štěrbin* + *zbytky otryskávacího prostředku* – str. 55
- Obrázek č. 58** – *Tlaková nádoba 17 B – Rozstřík kuliček po svařování* – str. 55
- Obrázek č. 59** - *Nedostatečně provedené otryskávání – výskyt korozních produktů oceli* – str. 56
- Obrázek č. 60** – *Tlaková nádoba 5 A – Štěrbin, ostré hrany* – str. 56
- Obrázek č. 61** – *Tlaková nádoba 4 B – Rozstřík po svařování* – str. 56
- Obrázek č. 62** – *Okuje na povrchu* – str. 56
- Obrázek č. 63** - *Metalografický vzorek - a) průřez tlakové nádoby podélným svarem; b) průřez tlakové nádoby mimo podélného svaru; c) podélný svar; 1) vektorové měření mikrotvrlosti č. 1; 2) vektorové měření mikrotvrlosti č. 2; 3) vektorové měření*

mikrotvrdosti č. 3; 4) vektorové měření mikrotvrdosti č. 4; d) otryskaný povrch tlakové nádoby; e) neotryskaný vnitřní povrch tlakové nádoby – str. 57

Obrázek č. 64 – *Místa odběru vzorků pro metalografii – str. 61*

Obrázek č. 65 – *Průřez tlakové nádoby 5 A svarem – makrostruktura – str. 61*

Obrázek č. 66 – *Průřez tlakové nádoby 5 A mimo svar – makrostruktura – str. 62*

Obrázek č. 67 – *Povrchová deformace po otryskávání tlakové nádoby 5 A (1) – str. 62*

Obrázek č. 68 – *Okuje na otryskaném povrchu tlakové nádoby 5 A (1), povrch bez deformace – str. 63*

Obrázek č. 69 – *Průřez tlakové nádoby 16 A – bod 1 značí základní materiál – odlišná mikrostruktura na levé a na pravé straně – makrostruktura – str. 64*

Obrázek č. 70 – *Průřez tlakové nádoby 16 A mimo svar – makrostruktura – str. 64*

Obrázek č. 71 – *Okuje na otryskaném povrchu tlakové nádoby 16 A, povrch bez deformace – špatně otryskané – str. 65*

Obrázek č. 72 – *Okuje na otryskaném povrchu tlakové nádoby 16 A – špatně otryskané, deformace zrn – str. 65*

Obrázek č. 73 – *Svarová vada u tlakové nádoby 16 A – Inkluze oxidů – str. 66*

Obrázek č. 74 – *Odlišná struktura základního materiálu v různých místech tlakové nádoby 16 A – 1) hrubší zrno, 2) menší zrno – str. 66*

Obrázek č. 75 – *Průřez tlakové nádoby 17 B svarem, základní materiál obsahuje oxidy – makrostruktura – str. 67*

Obrázek č. 76 – *Průřez tlakové nádoby 17 B mimo svar, základní materiál obsahuje oxidy – makrostruktura – str. 67*

Obrázek č. 77 – *Okuje na otryskaném povrchu tlakové nádoby 17 B, povrch bez deformace – špatně otryskané – str. 68*

Obrázek č. 78 – *Odlišná struktura základního materiálu v různých místech tlakové nádoby 17 B – 1) hrubší zrno, 2) menší zrno – str. 68*

- Obrázek č. 79** – *Korozní komora* – str. 69
- Obrázek č. 80** – *Otryskané tlakové nádoby 4 B – před korozní zkouškou v korozní komoře* – str. 70
- Obrázek č. 81** – *Otryskané tlakové nádoby 4 B – po korozní zkoušce v korozní komoře* – str. 70
- Obrázek č. 82** – *Neotryskané tlakové nádoby 4 A – před korozní zkouškou v korozní komoře* – str. 71
- Obrázek č. 83** – *Neotryskané tlakové nádoby 4 A – po korozní zkoušce v korozní komoře* – str. 71
- Obrázek č. 84** – *Metalografický vzorek – Průřez měděné trubky, 1-4 – vektory měření mikrotvrdomosti – měření od otryskaného vnějšího povrchu k základnímu materiálu vnitřního povrchu* – str. 72
- Obrázek č. 85** – *Místa odběrů vzorků pro metalografii* – str. 74
- Obrázek č. 86** – *Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 5 A po otryskání (1), zářez (2)* – str. 74
- Obrázek č. 87** – *Zářez povrchu vzorku, hloubka cca 30 μm , šířka cca 20 μm* – str. 75
- Obrázek č. 88** – *Zářez na povrchu vzorku, hloubka cca 40 μm , šířka cca 40 μm* – str. 75
- Obrázek č. 89** – *Mezikrystalová koroze* – str. 75
- Obrázek č. 90** – *Rozdílná struktura mědi u měděné trubičky tlakové nádoby 5 A* – str. 76
- Obrázek č. 91** – *Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A po otryskání (1), oblast plastické deformace (2)* – str. 76
- Obrázek č. 92** – *Detail oblasti plastické deformace* – str. 77
- Obrázek č. 93** – *Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A (1), oblast plastické deformace (2), deformační čáry (3)* – str. 77
- Obrázek č. 94** – *Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A (1), deformační čáry (2)* – str. 78

Obrázek č. 95 – *Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A (1), deformační čáry (2)* – str. 78

Obrázek č. 96 – *Povrchová deformace měděné trubky tlakové nádoby 16 A (1), deformační čáry (2)* – str. 79

Obrázek č. 97 – *Elektrochemický potenciál kovů* – str. 80

Tabulka č. 1 – *Stupně otryskání* – str. 41

Tabulka č. 2 – *Jmenovité hodnoty a tolerance hloubky drsnosti profilů povrchu segmentů komparátorů ISO pro ocel otryskanou ostrohrannými prostředky* – str. 45

Tabulka č. 3 – *Mezní hodnoty stupňů drsnosti pro ocel otryskanou ostrohrannými prostředky* – str. 45

Tabulka č. 4 – *Průměrné hodnoty drsnosti povrchu* – str. 53

Tabulka č. 5 – *Tlaková nádoba 5 A – výsledky měření mikrotvrdosti* – str. 58

Tabulka č. 6 – *Tlaková nádoba 16 A – výsledky měření mikrotvrdosti* – str. 59

Tabulka č. 7 – *Tlaková nádoba 17 B – výsledky měření mikrotvrdosti* – str. 60

Tabulka č. 8 – *Tlaková nádoba 5 A – výsledky měření mikrotvrdosti měděné trubky* – str. 72

Graf č. 1 – *Hodnoty mikrotvrdosti otryskaného vnějšího a neotryskaného vnitřního povrchu směrem od roztaveného okraje svaru k základnímu materiálu (tlaková nádoba 5 A)* – str. 58

Graf č. 2 – *Hodnoty mikrotvrdosti otryskaného vnějšího a neotryskaného vnitřního povrchu směrem od roztaveného okraje svaru k základnímu materiálu (tlaková nádoba 16 A)* – str. 59

Graf č. 3 – *Hodnoty mikrotvrdosti otryskaného vnějšího a neotryskaného vnitřního povrchu směrem od roztaveného okraje svaru k základnímu materiálu (tlaková nádoba 17 B)* – str. 60

Graf č. 4 – *Hodnoty mikrotvrdosti vektorů 1 – 4 měděné trubky u tlakové nádoby 5 A* – str. 73