

# Vyhodnocování kvality procesu smaltování litinových výrobků

Bc. Miroslava Holcmanová

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**

**Fakulta technologická**

**Ústav výrobního inženýrství**

**akademický rok: 2010/2011**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

**Jméno a příjmení: Bc. Miroslava HOLCMANOVÁ**

**Osobní číslo: T090580**

**Studijní program: N 3909 Procesní inženýrství**

**Studijní obor: Výrobní inženýrství**

**Téma práce: Vyhodnocování kvality procesu smaltování  
litinových výrobků.**

**Zásady pro vypracování:**

- 1. Vlastnosti a výroba grafitických litin**
- 2. Tepelné zpracování litin**
- 3. Povrchová úprava kovů**
- 4. Způsoby hodnocení smaltovaných povrchů**
- 5. Vyhodnocení provozních zkoušek smaltovaných litinových výrobků**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I.*. Brno : CERM, 2001. 505 s. ISBN 8072041932
2. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II.* 2., opr. a rozš. vyd. Brno : CERM, 2002. 392 s. ISBN 8072042483.
3. LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie.* 1. vyd. Brno : VUT, 1992. 273 s. ISBN 8021403993.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Josef Hrdina**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**14. února 2011**

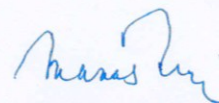
Termín odevzdání diplomové práce:

**13. května 2011**

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské 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 právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 13. května 2011

.....



<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## ABSTRAKT

Abstrakt česky

Tato diplomová práce s názvem „Vyhodnocování kvality procesu smaltování litinových výrobků“ se zabývá úkolem analyzovat současný stav procesu smaltování což je očištění, žíhání, tryskání, nanášení smaltu a jeho následné vypálení. Cílem této práce je porovnat současný zaběhlý proces smaltování litinových výrobků v Jihomoravské Armaturce Hodonín spol. s r. o., který se řídí podle předepsaných návodek s obecnou teorií. Na základě zjištěných poznatků určit hlavní parametry ovlivňující zmetkovitost smaltovaných litinových výrobků. Tato diplomová práce je zaměřena na parametry ovlivňující v určité míře vzhledové vady a pórovitost smaltu jako například vlivy používaných materiálů, prostředí a také vliv lidského faktoru.

Klíčová slova: zmetkovitost, vady, smaltování, žíhání, tryskání, vypálení, pórovitost, povrchová úprava, kvalita

## ABSTRACT

Abstrakt ve světovém jazyce

This dissertation titled "Measuring the quality of the process of enameling cast iron products," deals with the task of analyzing the current state of the enamel which is cleaning, annealing, shot blasting, spray enamel and its subsequent firing. The aim of this study is to compare the current stray process enameling of cast iron products in the South Moravian Armaturka Hodonin. Ltd., which is governed by the prescribed instruction cards to general theory. It is based on the findings to identify the main parameters affecting the enameled cast iron scrap products. This thesis is focused on parameters affecting some degree of visual defects and porosity of the enamel as the effects of the materials, environment and human influence.

Keywords: scrap, defects, enameling, annealing, shot blasting, burning, porosity, surface finish, quality

## Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Josefu Hrdinovi za pomoc s vypracováním mé diplomové práce, za odborné rady a připomínky v dané tématice. Dále chci vyjádřit své poděkování zaměstnancům fi. Jihomoravská Armaturka spol. s r.o. za možnost uskutečnění práce na mé diplomové práci a za čas poskytnutý při získávání informací k mé diplomové práci, za dobré rady a věcné připomínky.

## Motto

„Podněty, povzbuzující nás k učení a poznání, jsou ve věcech samých, kterým se učíme a které poznáváme.“

Cicero

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 VLASTNOSTI A VÝROBA GRAFITICKÝCH LITIN.....</b>	<b>12</b>
1.1 LITINY.....	12
1.2 GRAFITICKÉ LITINY.....	13
1.2.1 Litina s lupínkovým grafitem (šedá litina).....	15
1.2.2 Litina s kuličkovým grafitem (tvárná litina).....	15
1.2.3 Litina s vermikulárním (červíkovitým) grafitem.....	16
1.2.4 Litina s vločkovým grafitem (temperovaná litina).....	16
<b>2 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ LITIN.....</b>	<b>17</b>
2.1 VÝZNAM TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ OCELI.....	17
2.1.1 Žhání.....	17
<b>3 POVRCHOVÁ ÚPRAVA KOVŮ.....</b>	<b>22</b>
3.1 PORUŠOVÁNÍ POVRCHŮ.....	23
3.1.1 Koroze.....	23
3.1.2 Opotřebení.....	23
3.1.3 Porušování povlaků.....	24
3.2 ZPŮSOBY OCHRANY POVRCHŮ.....	24
3.2.1 Úprava prostředí.....	25
3.2.2 Volba vhodného materiálu a povrchových úprav.....	26
3.3 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY POVRCHŮ.....	27
3.3.1 Mechanické úpravy povrchu.....	27
3.4 ANORGANICKÉ NEKOVOVÉ POVLAKY A VRSTVY.....	30
3.4.1 Smaltování.....	31
3.4.2 Mechanismus vzniku přídržnosti smaltů.....	33
3.4.3 Průběh koroze smaltových povlaků.....	35
<b>4 ZPŮSOBY HODNOCENÍ POVRCHŮ.....</b>	<b>38</b>
4.1 ORGANIZACE ŘÍZENÍ JAKOSTI.....	38
4.1.1 Kriteria jakosti povlakového systému.....	39
4.2 KONTROLA JAKOSTI POVLAKOVÝCH SYSTÉMŮ.....	39
4.2.1 Vzhledové vlastnosti.....	40
4.2.2 Ochranné vlastnosti.....	40
4.2.3 Pórovitost.....	45
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>51</b>
<b>5 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>52</b>
5.1 JIHOMORAVSKÁ ARMATURKA SPOL. S R.O.....	52
5.1.1 Historie.....	52
<b>6 SPECIFIKACE POUŽITÝCH VÝROBKŮ.....</b>	<b>55</b>



6.1	TĚLESO BETA UZAVÍRACÍ ŠOUPÁTKO F5 DN 100 PN 25 .....	55
6.2	EKN DISK DN 400.....	55
6.3	TĚLESO EKN UZAVÍRACÍ Klapka DN 600 .....	56
<b>7</b>	<b>PROCES POVRSTVOVÁNÍ VÝROBKŮ SMALTOVÁNÍM.....</b>	<b>57</b>
7.1	ŽÍHÁNÍ .....	57
7.2	TRYSKÁNÍ .....	58
7.3	POSTUP SMALTOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VÝROBKŮ.....	59
7.3.1	Smaltování Tělesa BETA uzavírací šoupátka F5 DN 100 PN225.....	59
7.3.2	Smaltování EKN disku DN 400.....	61
7.3.3	Smaltování Tělesa EKN uzavírací klapky DN 600.....	62
7.3.4	Druh použitého smaltu a jeho příprava .....	64
7.4	POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJE.....	65
7.4.1	Žihací a vypalovací pec.....	65
7.4.2	Tryskací komora.....	66
7.4.3	Stříkací pistole.....	66
7.4.4	Přístroj na měření tloušťky vrstvy smaltu před vypálením.....	67
7.4.5	Zařízení na měření porozity DIN EN ISO 8289.....	68
7.5	KONTROLA KVALITY SMALTOVANÝCH VÝROBKŮ PO VYPÁLENÍ.....	68
7.5.1	Vizuální kontrola.....	68
7.5.2	Zkouška porozity DIN EN ISO 8289 metoda B.....	69
7.6	VYHODNOCENÍ PROCESU SMALTOVÁNÍ.....	70
7.6.1	Vyhodnocení povrstvení smaltem Tělesa BETA uzavírací šoupátka DN100 .....	70
7.6.2	Vyhodnocení povrstvení smaltem EKN disk DN400 .....	71
7.6.3	Vyhodnocení povrstvení smaltem Tělesa EKN uzavírací klapky DN600 .....	72
7.6.4	Vyhodnocení zmetkovitosti výrobků .....	73
7.6.5	Porovnání technologického postupu s teorií .....	81
<b>8</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU – BRAINSTORMING.....</b>	<b>82</b>
8.1	ISHIKAWŮV DIAGRAM .....	82
8.2	PARETOVA ANALÝZA .....	83
8.2.1	Data k tvorbě Lorenzovy křivky .....	83
8.2.2	Popis a vyhodnocení tabulek 14., 15., diagramu a celkové Paretovy analýzy .....	85
8.2.3	Nápravná opatření .....	87
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>95</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>96</b>

## ÚVOD

V oblasti povrchové úpravy strojírenských kovových sériově produkovaných výrobků se s úspěchem používají vypalovací nátěry, které zajišťují dlouhodobou ochranu proti vlivům prostředí. Požadavek na životnost výrobku včetně jeho povrchové úpravy je jedním z rozhodujících faktorů ovlivňujících výběr technologie povrchové úpravy. Společnost Jihomoravská Armaturka s.r.o. se kromě výroby odlitků zabývá také povrchovou úpravou těchto odlitků a hotových výrobků sklovitým anorganickým povlakem komplikovaného chemického složení, které je upraveno tak, aby jeho výsledné fyzikální a chemické vlastnosti umožnili jeho natavení na kov a vytvořili na něm celistvý povlak. Je známý pod názvem smaltování (emailování). V rámci technologické předpravy se provádí předúprava mechanická – tryskání, která následuje po správné volbě tepelného zpracování a to žihání. Tryskání se používá z důvodu znečištěného povrchu korozními produkty, od rzi a jiných nečistot protože znesnadňují, nebo dokonce znemožňují provedení povrchové úpravy smaltováním a snižují jejich kvalitu a je tedy nutné toto znečištění odstranit případně vytvořit požadovanou drsnost povrchu. Výrobky jsou dodávány pro průmyslové využití. Jedná se o armatury, hydranty a klapky. Při užití těchto výrobků dochází k jejich styku s okolním prostředím a tím i k jejich povrchové degradaci vlivem opotřebení, koroze a dalších vlivů. Povrchové úpravy se tedy podílí na výsledné jakosti technického zařízení. Ovlivňují jeho životnost, provozní spolehlivost a tím i využitelnost a nároky na údržbu. V současné době je při navrhování technologie povrchové úpravy rozhodujícím hlediskem kromě obecných požadavků na odpovídající kvalitu, životnost, kapacitní požadavky, výrobovou skladbu a také ochrana životního prostředí.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

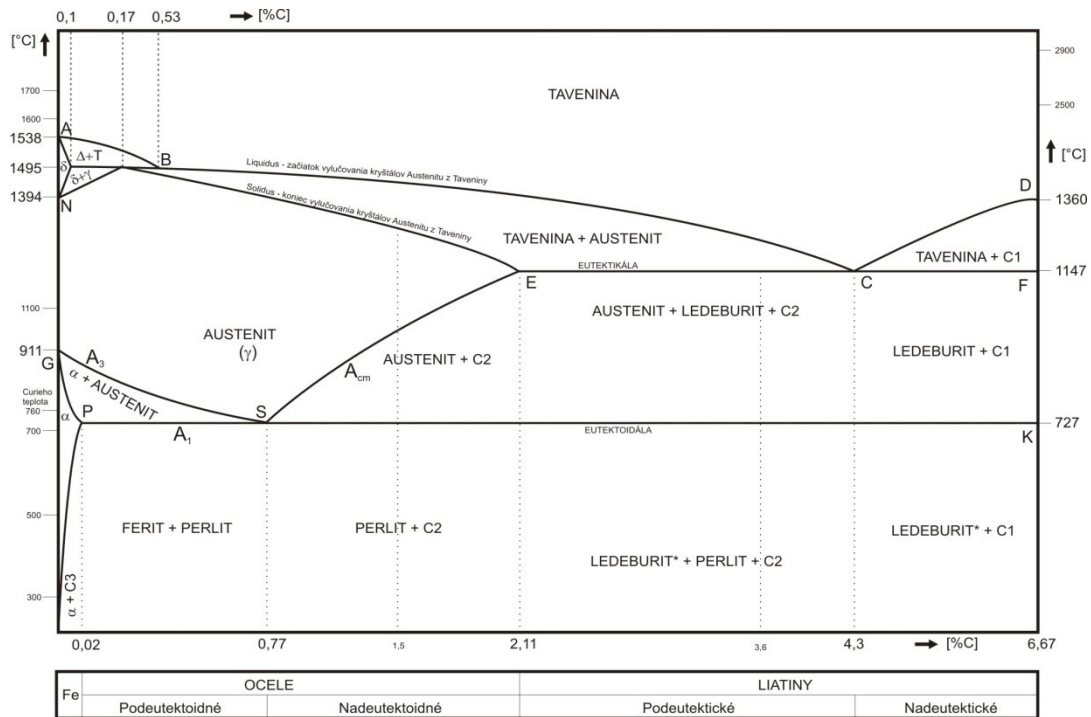
# 1 VLASTNOSTI A VÝROBA GRAFITICKÝCH LITIN

## 1.1 Litiny

Jako litiny bývají označovány slitiny železa se zvýšeným obsahem uhlíku (nad 2,1 %, viz Obr. 1) a dalších prvků zejména křemíku. Křemík podporuje tuhnutí litin podle stabilního diagramu Fe-C. Litiny se vyrábějí tavením surovin (surové železo, litinový nebo ocelový šrot atd.) v pecích. Na rozdíl od ocelí se litiny zpracovávají výhradně odléváním, neboť mají výbornou slévatelnost a lze z nich odlévat tvarově velmi náročné odlitky. Z litin se odlévají např. bloky spalovacích motorů, pístní kroužky, vložky válců, skříně čerpadel, potrubí, topná tělesa, sloupy a další. [1]

Podle toho, v jaké formě je přítomen uhlík, se litiny dělí na dvě skupiny:

1. Bílé litiny
2. Grafitické litiny

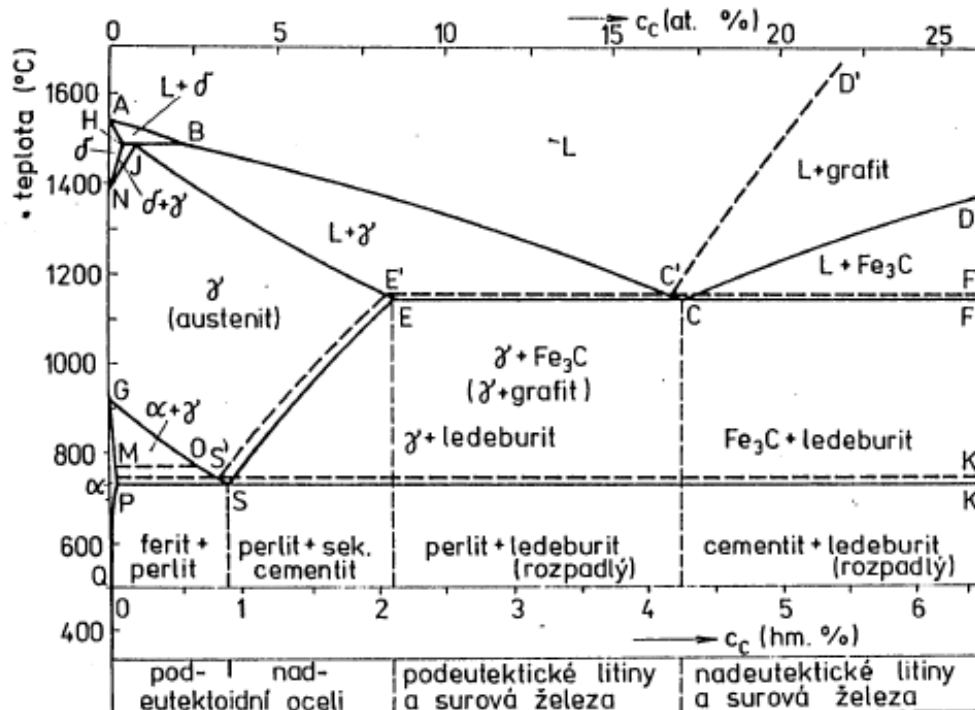


Obr. 1. Metastabilní diagram systému Fe-Fe<sub>3</sub>C

## 1.2 Grafitické litiny

Grafitické litiny jsou mnohem významnější než bílé litiny. Hlavními stavebními prvky jsou železo a uhlík. V těchto litinách probíhá tuhnutí podle stabilního diagramu Fe-C, viz (Obr. 2). Znamená to, že při eutektické reakci vzniká austenit a grafit, tzv. grafitické eutektikum.

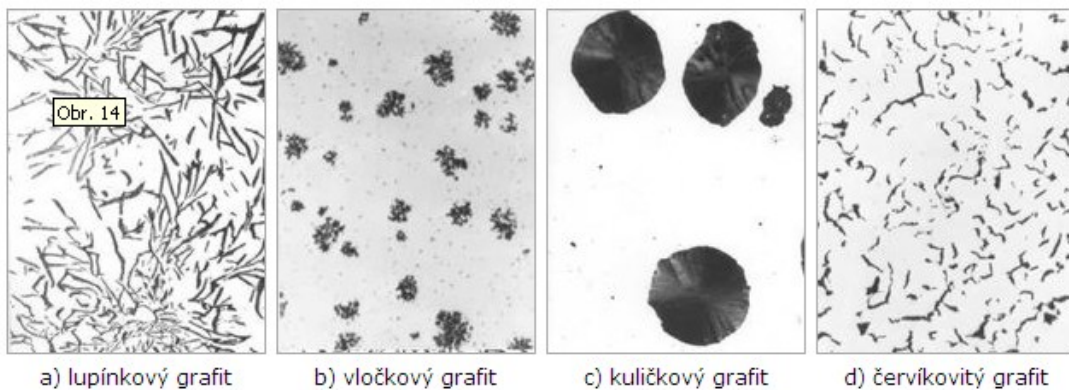
Vznik grafitu při tuhnutí litiny podporuje vyšší obsah křemíku, nižší obsahy karbidotvorných prvků a nižší ochlazovací rychlost. Další přeměny austenitu v tuhém stavu mohou probíhat různě, tzn. jak podle stabilního tak i podle metastabilního diagramu. V prvním případě se austenit rozpadá eutektoidní reakcí na směs feritu a grafitu (tzv. grafitický eutektoid). Grafit vzniklý touto reakcí se naváže na již existující částice eutektického grafitu a výsledkem je litina s čistě feritickou maticí. Ve druhém případě vznikne při eutektoidní reakci perlit a grafitická litina bude mít perlitickou maticí. Velmi často se u grafitických litin vyskytují obě složky a tyto litiny tedy mají feritickoperlitickou maticí. To, jak budou probíhat přeměny austenitu v tuhém stavu, závisí na aktuálním chemickém složení litiny a ochlazovací rychlosti.



Obr. 2. Rovnovážný diagram Fe-C

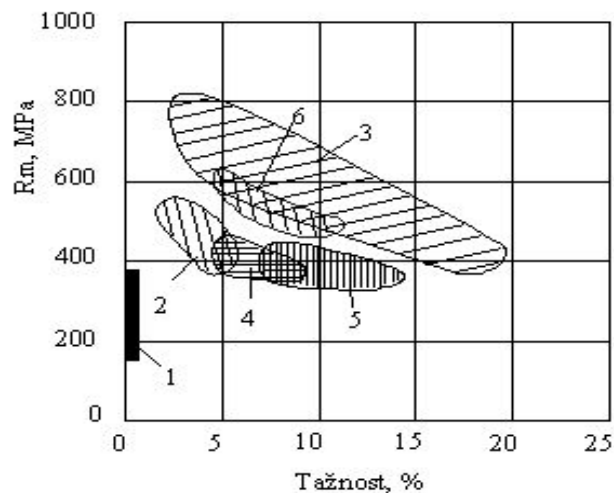
V grafitických litinách mohou mít částice eutektického grafitu různý tvar v závislosti na chemickém složení a podmínkách výroby. Podle tvaru grafitu, viz (Obr. 3), pak rozlišujeme litinu s lupínkovým grafitem, litinu s kuličkovým grafitem a litinu s vezikulárním (čer-

víkovitým) grafitem. Posledním typem je litina s vločkovým grafitem (temperovaná), u níž však grafit nevzniká při tuhnutí, nýbrž tepelným rozkladem cementitu v bílé litině. [2]



Obr. 3. Morfologické typy grafitických částic v grafitických litinách

Vlastnosti grafitických litin závisí na množství, tvaru a velikosti grafitických částic a na druhu kovové matrice, ve které je grafit rozložený. Matrice může mít různý podíl feritu a perlitu. Litina s vyšším obsahem perlitu v matrici má vyšší pevnost a nižší tažnost. Charakteristické mechanické vlastnosti jednotlivých druhů grafitických litin jsou znázorněny na (Obr. 4). [9]



Obr. 4. Mechanické vlastnosti grafitických litin

1. Litina s lupínkovým grafitem
2. Litina s červíkovitým grafitem
3. Litina s kuličkovým grafitem
4. Litina s vločkovým grafitem (temperovaná litina s bílým lomem)

5. Litina s vločkovým grafitem (temperovaná litina s černým lomem)
6. Temperovaná politická litina [9]

### 1.2.1 Litina s lupínkovým grafitem (šedá litina)

Lupínkový grafit, viz (Obr. 3a) je základním morfologickým typem grafitu. Litina s lupínkovým grafitem, neboli šedá litina, je nejstarším a nejběžnějším typem grafitické litiny. Obvyklé složení šedých litin bývá: 2,8-3,6% C, 1,4-2,8% Si, 0,5-1% Mn, 0,2-0,5% P, max. 0,15% S.

Litina s lupínkovým grafitem je velmi levný materiál, nenáročný na chemické složení s výbornou slévatelností a kluznými vlastnostmi. Jistou nevýhodou je poměrně nízká pevnost (max. 400 MPa) a tažnost (méně než 1%).

Pokud je matrice litiny feritická, litina má nejnižší pevnost a tvrdost. Feritická matrice vzniká při nízké ochlazovací rychlosti a při zvýšeném množství křemíku. Ve většině případů je však vyžadována vyšší pevnost a tvrdost a toho lze dosáhnout, pokud je matrice perlitická. Perlitická matrice vzniká při vyšší ochlazovací rychlosti a podporují ji rovněž malá množství prvků, jako jsou Cu, Cr, Mo, Ni, Sn. [3]

Polohu eutektického bodu v litinách neovlivňuje pouze uhlík, nýbrž také další prvky, zejména křemík a fosfor. [4]

### 1.2.2 Litina s kuličkovým grafitem (tvárná litina)

U této litiny grafit vzniká ve formě kuliček, viz (Obr. 3c). Tvorba kuličkového grafitu nastává tehdy, jestliže taveninu modifikujeme vhodnými přísadami. Nejběžnější je hořčík (0,03-0,08%) a podobný účinek mají rovněž prvky vzácných zemin (Ce). Pokud je modifikátoru nedostatečné množství, změna morfologie proběhne jen částečně a vznikne tzv. červíkovitý (vermikulární) grafit, viz (Obr.3d). Chemické složení litin s kuličkovým grafitem bývá následující: 3,2–4%C, 1,8-3 Si, 0,1-0,8% Mn, max. 0,1%P, max. 0,05%S a 0,03-0,08% Mg.

Tvárná litina je celkově náročnější na čistotu taveniny, než je tomu u šedé litiny.

Z tohoto důvodu je materiálem dražším. Její vyšší cena je však vyvážena mnohem lepšími mechanickými vlastnostmi, zejména pevností (až 900 MPa) a tažností (až 20%). Je to způsobeno příhodnější morfologií grafitu s nižším vrubovým účinkem. Matrice tvárných litin může být feritická (nižší pevnost, vyšší tažnost), i perlitická (vyšší pevnost, nižší tažnost).

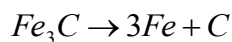
Tvárné litiny se mechanickými vlastnostmi blíží některým ocelím a vzhledem k příhodnější ceně je v řadě případů nahrazují. [5]

### 1.2.3 Litina s vermikulárním (červíkovitým) grafitem

Pokud taveninu modifikujeme hořčíkem nebo prvky vzácných zemin nedostatečně, vzniká jakési přechodové stádium – litina s vezikulárním (červíkovitým) grafitem (Obr. 3d). Tato litina v sobě kombinuje výhody od obou předchozích typů – od litiny s lupínkovým grafitem dobré slévárenské vlastnosti a od litiny s kuličkovým grafitem uspokojivé mechanické vlastnosti (pevnost až 550 MPa a tažnost až 8%).[6]

### 1.2.4 Litina s vločkovým grafitem (temperovaná litina)

Temperovaná litina vzniká z bílé litiny jejím temperováním (žiháním) při teplotách až kolem 1000°C, při kterém dojde ke grafitizaci cementitu:



Grafit vzniká ve formě charakteristických vločkových útvarů, viz (Obr. 3b). Podle podmínek žihání, výsledné struktury a vzhledu lomu se temperovaná litina dělí:

- Temperovanou litinu s černým lomem a
- Temperovanou litinu s bílým lomem.

Temperovaná litina s černým lomem vzniká žiháním v neutrální atmosféře a její matrice může být feritická nebo politická. Temperovaná litina s bílým lomem pak vzniká žiháním v oxidační atmosféře, kdy dojde k oduhličení povrchu. Matrice litiny je pak na povrchu feritická a v jádře politická.

Temperovaná litina svými vlastnostmi tvoří přechod mezi ocelí a šedou litinou. Její pevnost dosahuje až 800 MPa a tažnost až 12%. [7]



## 2 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ LITIN

Tepelným zpracováním rozumíme aplikaci určitého teplotního režimu na daný materiál za účelem dosažení požadovaných vlastností (mechanických, obrobitelnosti, korozní odolnosti atd.). Režimů tepelného zpracování je celá řada a v tomto textu zmíníme následující:

- Žihání,
- Kalení + popouštění,
- Chemicko-tepelné zpracování a
- Tepelně-mechanické zpracování [8]

### 2.1 Význam tepelného zpracování oceli

Ocel je nejrozšířenějším strojírenským materiálem, jehož vlastnosti je možno měnit podle potřeby ve velkém rozsahu. Ocel může být za určitých podmínek tepelného zpracování poměrně měkká a velmi tvárná, takže se dá dobře tvářet i za studena. Může však být také velmi tvrdá takže se hodí i k výrobě řezných nástrojů. Nebo může mít tak vysokou mez pružnosti, že se ani při působení velkých sil trvale nedeformuje

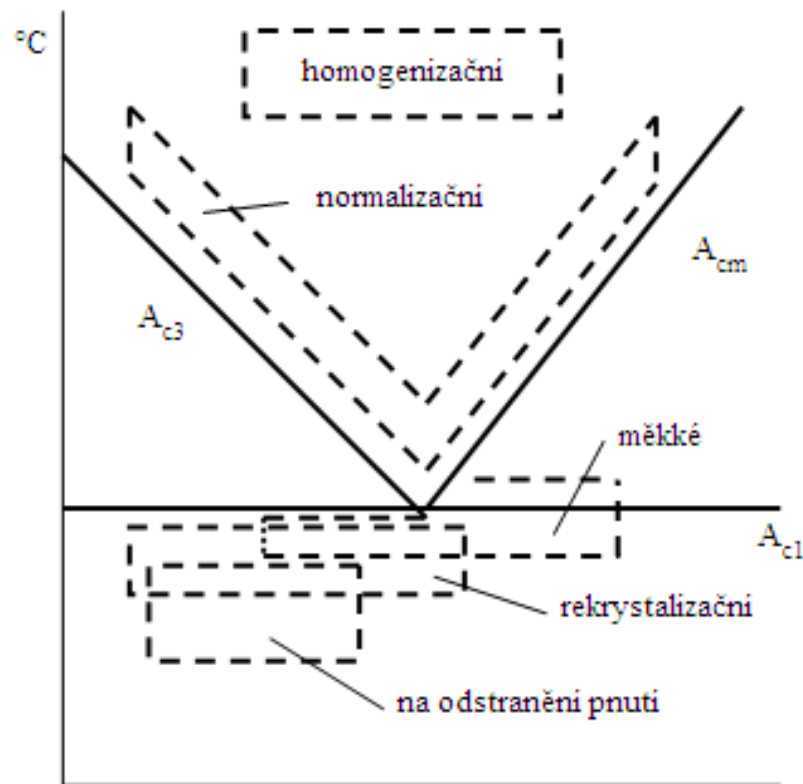
V zásadě lze říci, že mechanické vlastnosti oceli jsou dány jejím chemickým složením, zvláště obsahem uhlíku. Se zvyšováním jeho obsahu se v určitém rozsahu zvyšuje i její tvrdost, pevnost a mez kluzu na úkor tvárnosti a houževnatosti. Tepelným zpracováním se však mohou tyto vlastnosti měnit u oceli ještě v mnohem větším rozsahu. Podle požadovaných vlastností oceli je pak třeba zvolit vhodný způsob jejího tepelného zpracování, aby bylo dosaženo zvýšené jakosti strojírenských výrobků. [2]

#### 2.1.1 Žihání

Žihání je způsob tepelného zpracování, při němž se materiál v tuhém stavu ohřívá na určitou teplotu, na které se po určitou dobu udržuje. Potom následuje zpravidla pomalé ochlazení. Teplota, na kterou se materiál při žihání ohřívá, doba, po kterou se na této teplotě udržuje, a rychlost jakou se ochlazuje, závisí na druhu materiálu a na účelu, jehož má být žiháním dosaženo. [2]

Pokud je teplota vyšší než  $A_1$ , pak se jedná o žhání s překrystalizací. Mezi žihání bez překrystalizace patří zejména rekrystalizační žihání, žihání na měkko a žihání k odstranění vnitřního pnutí. Z postupů žihání s překrystalizací jsou nejvýznamnější normalizační žihání

a homogenizační žíhání. Teplotní oblasti jednotlivých postupů žíhání jsou schematicky znázorněny na (Obr. 5). [1]



Obr. 5. Teploty různých postupů žíhání nelegovaných ocelí

### Žíhání bez překrystalizace

Při žíhání bez rekrytalizace nedochází ke vzniku austenitu. Přeměny probíhají v oblasti existence feritu a perlitu. [1]

### **Rekrytalizační žíhání**

Účelem rekrytalizačního žíhání je obnovení tvárných vlastností oceli po tváření za studena. U ocelí tvářených za studena lze však tímto žáháním dosáhnout zjemnění, popř. ve výjimečných případech i požadovaného zhrubnutí zrna.

Rekrytalizační žíhání je ohřev oceli tvářené za studena na teplotu v oblasti rekrytalizace (podle stupně tváření), výdrž na této teplotě a následující ochlazování. Má-li se dosáhnout zjemnění zrna výsledné struktury, musí se po nižším stupni protváření použít spíše nižší teploty. Zhrubnutí zrna, které se požaduje např. u oceli na transformátorové plechy, lze dosáhnout žíháním na vyšší teploty po nižším (kritickém) stupni tváření za studena (asi 5 až 10%). [3]

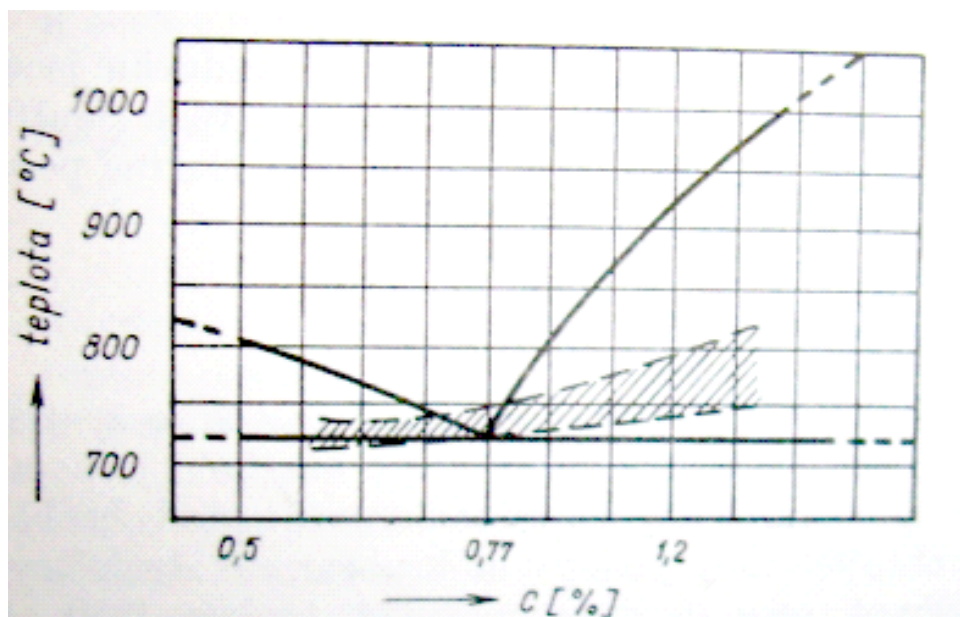
Teplota ohřevu je 550 až 700 °C.

### Žihání na měkko

Účelem žihání na měkko je jednak snížení tvrdosti pro následující obrábění nebo tváření za studena jednak získání vhodných mechanických fyzikálních i jiných vlastností a rovněž i příprava vhodné výchozí struktury pro následující kalení.

Nejjednodušší žihání na měkko je ohřev na teplotu těsně pod bodem  $A_{c1}$  a několikahodinová výdrž na této teplotě. Průběh žihání lze poněkud urychlit kolísáním žhací teploty okolo bodu  $A_1$ . Při žihání velkých kusů nebo velkých vsázek se však mění teplota jen na povrchu a uvnitř materiálu se změny teploty téměř neprojeví.

Čím má ocel větší obsah uhlíku, tím déle se karbidy rozpouštějí, a proto u nadeutektodidních ocelí je správná žhací teplota vyšší (Obr. 6).



Obr. 6. Rozmezí žhacích teplot uhlíkových ocelí

S následujícím pomalým ochlazováním. Aby se ve vsázce dosáhlo co nejrovnoměrnějšího rozložení teploty, provádí se ohřev v komorových pecích pomalu nebo i stupňovitě. V průběžných pecích tunelových se může použít rychlejšího ohřevu i kratší doby výdrže k vyrovnání teploty. U průběžných pecí válečkových je možný rychlý ohřev a pro lepší prohřátí materiálu uvnitř jednotlivých kusů může být první ohřev na vyšší teplotu bez nebezpečí přílišné homogenizace. Aby se vyrovnala teplota mezi povrchovými částmi vsázky, které chladnou rychleji, a vnitřkem vsázky, bývá u komorových pecí do ochlazování zařazena výdrž na teplotě ležící těsně pod bodem přeměny. [3]

### **Žihání na odstranění pnutí**

Účelem tohoto žihání je odstranit vnitřní pnutí bez záměrné změny struktury a bez podstatných změn původních vlastností oceli. Vnitřní pnutí v oceli vznikají nejen nerovnoměrným chlazením po tváření za tepla a svařování, ale i po tváření za studena, např. rovnání a v povrchových vrstvách i po třískovém obrábění.

Žihání na odstranění vnitřních pnutí je ohřev na teplotu nižší než  $A_{c1}$ , výdrž na této teploty a následující pomalé ochlazení. Při žihání na odstranění pnutí po rovnání zušlechtěných výrobků, u nichž musí být žihací teplota nižší než teplota předchozího popouštění, se používá teplot 400 až 600 °C, při nichž se již vnitřní pnutí snižují. Vzhledem k požadavku rovnoměrného ohřevu, při němž nesmí nastat ani místní překroční popouštěcí teploty, je účelné používat tohoto způsobu žihání v elektrických komorových pecích s nucenou cirkulací atmosféry. [3]

Žihání k snížení pnutí probíhá za poměrně nízkých teplot. Jeho hlavním účelem je zabránit bez podstatných změn původních vlastností pozdějším deformacím.

K snížení pnutí se oceli většinou žihají při teplotě 500 až 650°C.

U odlitků ze šedé litiny nemá teplota žihání k snížení pnutí překročit 550°C. V ostatních případech je nutno postupovat individuálně podle druhu materiálu a součásti. V zásadě se při tomto způsobu žihání ponechávají předměty na žihací teplotě poměrně dlouho a ochlazují se pomalu a stejnoměrně, nejlépe v peci. [3]

### **Žihání s překrystalizací**

Při žihání s překrystalizací dochází nejprve k přeměně feritu a perlitu na austenit.

Tato přeměna se nazývá austenitizace. Austenitizace vyžaduje určitý čas, který se zkracuje s rostoucí teplotou žihání. S rostoucí teplotou se rovněž zlepšuje homogenita austenitu, avšak zvyšuje se nebezpečí hrubnutí austenitického zrna. Hrubé zrno vede ke zhoršení pevnosti i houževnatosti oceli, je tedy nežádoucí. Oceli náchylné k hrubnutí se nazývají hrubozrné. Pokud zrno austenitu zůstává do určité teploty jemné, oceli se nazývají jemnozrné. Jemnozrné oceli obsahují disperzní částice intermediálních fází, které brzdí růst austenitického zrna. Těmito částicemi mohou být karbidy nebo nitridy, např. nitrid hliníku, který se vyskytuje u ocelí dezoxidovaných hliníkem. [1]

### **Normalizační žihání**

Účelem normalizačního žíhání je zjemnění hrubého zrna, které se v oceli může vytvořit již při lití, nebo při tváření za vysoké teploty nebo dlouhodobým žíháním za vysokých teplot. Normalizačním žíháním se vytvoří nejen zrno jemnější, ale i stejnoměrně velké. V normách jakosti ocelí se stav normalizačně žíhaný označuje doplňkovým číslem 1.

Normalizační žíhání podeutektoidních ocelí je ohřev na teplotu o 30 až 50 °C nad bodem přeměny  $A_{c3}$  a následující volné ochlazení na vzduchu.

Oceli nadeutektoidní se zpravidla normalizačně nežíhají.

Má-li se normalizačním žíháním nadeutektoidních ocelí zjemnit zrno, provádí se ohřev jen nad teplotou  $A_{c1}$  s následujícím ochlazením na vzduchu. Při ohřevu na teplotu  $A_{cm}$  zrno zbytečně hrubne a při pomalém ochlazení se vyloučí karbidy rozpuštěné v austenitu na hranicích zrn a vytvoří se zde karbidická síť.

Zjemnění zrna při normalizaci je způsobeno rekrytalizací, a je proto tím větší, čím rychlejší byl ohřev na normalizační teplotu a čím rychlejší bylo ochlazení. [3]

### **Homogenizační (difúzní) žíhání**

Účelem homogenizačního žíhání je vyrovnat co nejvíce nestejnoměrnost chemického složení ocelí difúzí. Nestejnorodost chemického složení vzniká již při chladnutí odlité oceli mezi teplotami likvidu a solidu. U ocelí s větším obsahem uhlíku a slitinových prvků se již z taveniny vylučují primární karbidy.

Homogenizační žíhání jako samostatná operace je ohřev na teplotu značně vyšší, než je poloha bodů  $A_3$  a  $A_{cm}$ , tedy mezi teplotami 1000 až 1250 °C, dostatečně dlouhá výdrž na této teplotě (6 i více hodin) a pomalé ochlazení. Velmi vhodné je spojení homogenizačního žíhání s ohřevem k tváření, kdy se jen prodlouží výdrž na válcovací nebo kovací teplotě o 2 až 4 hodiny.

Delší výdrž na vysoké teplotě se však zpravidla vytvoří na povrchu okuje a podpovrchové vrstvy se ochudí o uhlík (oduhličí). Proto je homogenizační žíhání správné jen tehdy, když je to nutné, a pokud možno již na ingotu nebo polotovaru; jinak se musí značně zvětšit přídávky na opracování. V oceli již tvářené (rozrušenou licí strukturou) probíhá ovšem difúzní vyrovnání chemického složení mnohem rychleji. Další tváření po homogenizačním žíhání je žádoucí pro zjemnění zrna. Pokud je účelem difúzního žíhání homogenizace prvků rozpustných ve feritu, lze využít větší difúzní rychlosti v železe  $\alpha$  a žíhat při teplotách těsně pod bodem  $A_1$ , u ocelí s velmi nízkým obsahem uhlíku těsně pod bodem  $A_3$ . [3]

### 3 POVRCHOVÁ ÚPRAVA KOVŮ

Povrchové úpravy zahrnují řadu postupů aplikovaných velmi často jako finální operace výroby kovových součástí. Mezi hlavní cíle povrchových úprav patří zejména:

- Zvýšení korozní odolnosti výrobku,
- Dosažení požadovaného vzhledu
- Zlepšení mechanických vlastností (tvrdosti) povrchu atd.

Podle použitých metod můžeme rozlišit např. následující skupiny povrchových úprav:

- Mechanické
- Chemické
- Organickými povlaky,
- Elektrochemické,
- Tepelné
- Vakuové. [1]

Při svém funkčním namáhání jsou vlivem vnějších vlivů a působení okolního prostředí všechny materiály svým způsobem povrchově namáhány a poškozovány, čímž postupně dochází ke ztrátě vlastností a parametrů výrobků z nich zhotovených.

Materiály jsou povrchově namáhány vlivy fyzikálními (abrazivní a erozivní opotřebení), vlivy chemickými, elektrochemickými a fyzikálně-chemickými (koroze), ale nejčastěji jejich kombinací.

Získání potřebných vlastností povrchu a tím i životnosti výrobků musí vycházet z vhodné volby materiálů a jejich povrchových úprav na základě předpokládaného způsobu namáhání. Správná volba povrchové úpravy vychází ze znalostí systémů povrchových úprav a ochrany a možností jejich aplikací.

Podstatou povrchových úprav je získání určitého stavu a vlastností povrchu materiálů nezbytných pro jejich optimální a dlouhodobou funkci.

Povrchové úpravy jsou jednou ze základních výrobních technologií a vzhledem ke svému významu tvoří samostatný obor s odborně-výzkumnou i technickou a výrobní základnou. [5]

### 3.1 Porušování povrchů

Konstrukční materiály jsou při použití namáhány nejen mechanicky, ale jsou často vystaveny i vlivů agresivního prostředí, vysokých teplot i vzájemné interakci. V nepříznivých případech dochází k jejich porušování a je snižována jejich použitelnost, životnost a tím i spolehlivost, často i celých zařízení. Odolnost povrchové vrstvy nebo povlaku proti porušení je určována především jeho typem a složením, rozhodující však mohou být i další charakteristiky, zejména tloušťka, struktura, velikost pnutí, jakost spojení se základním materiálem a způsob namáhání součásti i povlaku. [5]

#### 3.1.1 Koroze

Korozi můžeme definovat jako samovolně probíhající nevratný proces postupného narušování a znehodnocování materiálů chemickými a fyzikálněchemickými vlivy prostředí. V některých případech zahrnujeme do koroze i děje vyvolané fyzikálním rozpouštěním (např. v roztavených kovech), nebo vypařováním apod. Korozi podléhají nejen kovy a jejich slitiny, ale také nekovové materiály, jako jsou např. anorganické látky keramické či silikátové (sklo, beton), organické látky (guma, plasty) a další materiály. Poškození materiálů může být rozdílné, např. od změn jeho vzhledu (ztráta lesku, barvy) až po jeho úplný rozpad (porušení celistvosti v celém průřezu). Korozní děje mohou být často ovlivňovány i současným působením mechanického namáhání (korozní praskání, korozní únava), elektrickým proudem (koroze bludnými proudy), radiací, bakteriemi apod.

Koroze kovu se může projevovat jedna zcela zjevně – úbytkem materiálů a tvorbou korozních produktů, jedna změnami materiálů, které nejsou sice tak zjevné (např. ztráta pevnosti, tažnosti, vznik mikrotrhlin), ale projeví se za čas korozním poškozením struktury např. korozním praskáním. [5]

#### 3.1.2 Opotřebení

Životnost a spolehlivost strojních součástí je značně ovlivněna opotřebením, které se významně podílí na ztrátách energie a materiálu a má výrazný vliv i na náklady spojené s údržbou, opravami a renovacemi strojích částí. Opotřebení, ke kterému dochází při vzájemném styku a relativním pohybu těles (resp. funkčního povrchu a média, které opotřebení vyvolává) je i v nejjednodušších případech složitý děj, který je významně ovlivňován řadou faktorů. Vyplývá to jak ze složitosti vzájemného působení materiálů na funkčním povrchu součástí, tak z toho že proces opotřebení není ukončen tak jednoznačnou hranicí

použitelnosti. Se zvětšujícím se opotřebením se zvětšují rázy ve stycích jiné poruše v důsledku únavy. Opotřebenění může vést i k zmenšování průřezů v nebezpečných místech. Růst opotřebenění se projevuje chvěním, hlukem a rázy a zvyšováním třecích sil, příp. i zadíráním. Obecně opotřebenění se projevuje odstraňováním nebo přemísťováním částic hmoty s povrchu materiálu mechanickým účinkem, jenž je obvykle doprovázen jevy fyzikálními, chemickými, popř. elektrickými. [5]

### 3.1.3 Porušování povlaků

Pro zvýšení užitných vlastností výrobků se na povrchu součástí záměrně vytvářejí povlaky. Povlak spolu se základním materiálem může být namáhán vnějšími mechanickými silami, pnutím, teplotními změnami i okolním prostředím ke změně funkce povlaků může dojít vznikem trhlin, odloupením povlaku nebo jeho části. Proto vedle vlastností povlaku je nutno posuzovat změny, k nimž během funkce součásti může dojít jak v základním materiálu, tak i v povlaku a hodnotit je v širších souvislostech a návaznosti. Odolnost povlaku proti porušení je určována především jeho typem a složením, rozhodující však mohou být i ostatní charakteristiky, zejména tloušťka, struktura, velikost pnutí, jakost spojení základním materiálem a způsob namáhání součásti i povlaku. [5]

## 3.2 Způsoby ochrany povrchů

Aplikacemi poznatků o mechanismech a kinetice poškozování povrchu lze vhodnými způsoby zabránit jednotlivým formám poškozování povrchů nebo je omezit na přijatelnou mez. Vzhledem k různým podmínkám, kterými jsou konstrukční materiály vystaveny, nelze použít jednotného, univerzálního systému ochrany a je nutno volit případ o případu podle charakteru kovu a podmínek jeho namáhání nejúčelnější způsob ochrany.

Požadované úrovně ochrany lze dosáhnout těmito hlavními způsoby:

- Úprava prostředí
- Volbou vhodného materiálu a povrchových úprav
- Vhodným konstrukčním řešením a optimální technologií výroby
- Elektrochemickými a dočasnými ochranami. [5]



### 3.2.1 Úprava prostředí

Uskutečnitelnost i rychlost porušování povrchu závisí na vlastnostech prostředí. Je-li známo, kteří činitelé významně ovlivňují příslušné prostředí a pokud to dovolují technické aplikace, je možno dosáhnout účinné ochrany záměrnou úpravou resp. změnou složení tohoto prostředí. Úpravou lze provést dvěma způsoby:

- **odstraněním činitelů** zvyšujících stupeň agresivity prostředí
- **ovlivněním vlastností** prostředí látkami zabraňujícími resp. zpomalujícími porušování

Jednotlivá prostředí (atmosféra, voda, půda, spaliny apod.) jsou charakterizována rozhodujícími činiteli, kteří významně ovlivňují stupeň agresivity prostředí nebo míru intenzity působení těchto činitelů na materiál exponovaný v tomto prostředí.

V prostředí atmosféry jde zejména o snížení vlhkosti vzduchu pod kritickou mez tj. pod 60% relativní vlhkosti. Tohoto může být dosaženo zvýšením teploty vzduchu či větráním (sklady, garáže), vysoušením popřípadě pohlčováním vlhkosti vysoušedly (při dlouhodobém skladování a přepravě), zamezením kondenzace vodní páry (při střídání a změně teplot), hermetizací nebo vakuováním.

V prostředí vody má velký význam odstranění korozně aktivní složky především kyslíku resp. dalších látek a plynů v uzavřených cirkulačních systémech (energetika, vytápění). Snížení obsahu kyslíku v napájecí vodě můžeme dosáhnout fyzikálními metodami (předběžný ohřev, snížením parciálního tlaku vzduchu nad kondenzátem) nebo metodami chemickými (vazbou na alkalizační látky – hydrazin nebo siřičitan sodný apod.). Obsah plynů v kapalném prostředí zvyšuje i intenzitu kavitačního opotřebení.

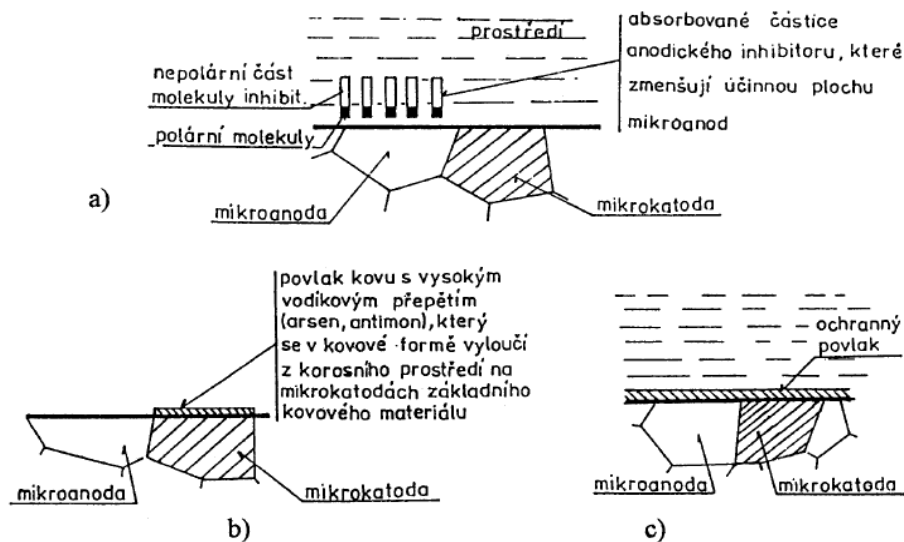
V pecních atmosférách při ohřevu kovů je třeba vyloučit přístup vzduchu zavedením ochranných atmosfér, resp. změnou parciálních tlaků oxidačních složek dosáhnout jejich eliminace.

Z hlediska opotřebení zabránit zvýšené prašnosti a možnosti vzniku částice mezi třecí dvojice, kde přechod k abrazivnímu opotřebení zvyšuje hodnoty otěru. Usazené prachové částice vytvářejí i vhodné podmínky pro elektrochemickou korozi.

Do průběhu korozních reakcí lze zasáhnout především **inhibitory** koroze. Jsou to látky, které v nepatrných množstvích (i několik setin procenta) chrání povrch kovu v daném agresivním prostředí tím, že změní vlastnosti fázového rozhraní kov-prostředí. Reakcí kovu

s inhibitory při spolupůsobení korozního prostředí vznikají na povrchu kovu tenké povlaky (filmy) prvků a jejich sloučeniny, které v závislosti na svých fyzikálně-chemických vlastnostech snižují rychlost korozního procesu.

Schéma mechanismu působení různých inhibitorů je znázorněno na (Obr. 7). [5]



Obr. 7. Schéma funkce různých inhibitorů /a – s anodickou účinností, b – s katodickou účinností, c vytvářející povlak

### 3.2.2 Volba vhodného materiálu a povrchových úprav

Různé materiály za srovnatelných podmínek korodují nebo se opotřebovávají různou rychlostí a různými morfologickými formami. Využití specifických vlastností materiálů lišících se vzájemně fyzikálními i mechanickými vlastnostmi a korozní odolností je jedním ze základních způsobů ochrany. Prvním předpokladem pro správnou volbu materiálů a povrchových úprav je dobrá znalost jejich chování za různých podmínek a v různých prostředích. Požadavky na stupeň odolnosti kovů a povrchových ochrany se řídí těmito hledisky:

- Součást musí mít z důvodů funkčních nebo vzhledových trvale kovový stav povrchu bez viditelných poškození po celou dobu životnosti
- Součást musí být chráněna proti poškození povrchu, ochrana zajišťuje zachování základních konstrukčních vlastností, přičemž určitý stupeň degradace (vznik korozních zplodin, míra opotřebení) není funkčně ani vzhledově na závadu [5]

### 3.3 Předběžné úpravy povrchů

Vhodnou přípravou povrchu zajišťujeme dostatečnou přilnavost konečných povlaků, stejnoměrný vzhled výsledné úpravy i její dobrou odolnost proti korozi nebo opotřebení. Úprava povrchu je obvykle dvoustupňová a rozděluje se na dvě základní skupiny pracovních operací:

- Mechanické úpravy povrchu
- Chemické úpravy povrchu

Takto se postupně plní dva základní požadavky na předběžné úpravy kovů:

- Příprava určité požadované mikrostruktury resp. mikrogeometrie a kvality povrchu
- Zajištění požadované čistoty povrchu

Volba a provedení způsobu předběžných úprav se řídí druhem následující povrchové úpravy a jejím účelem. Kvalita přípravy povrchu rozhoduje často o úspěchu či nezdaru dalších prací. V některých případech se operace předběžných úprav povrchů mohou vyskytovat i jako konečné úpravy povrchu výrobků. [5]

#### 3.3.1 Mechanické úpravy povrchu

Předběžnými mechanickými úpravami povrchu nedodáváme předmětu přesný, výkresem stanovený tvar a rozměr (jako u třískového obrábění), ale vytváříme určitou požadovanou jakost a kvalitu povrchu (obvykle hodnocenou drsností). Účelem mechanických úprav je především:

- Očistit povrch od nečistot
- Zajisti podmínky pro vyhovující přilnavost následujících vrstev
- Vytvořit podmínky pro zvýšení odolnosti proti korozi a opotřebení
- Vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům
- Zlepšit mechanické vlastnosti povrchu [5]

#### Tryskání

**Tryskání**, nazývané též **otryskávání** nebo **pískování**, je technologický postup opracování povrchu nejrůznějších, obvykle tvrdých, materiálů proudem jemných částic (abrazivní čás-

tice). Nejvíce se jako abrazivní materiál používají ocelové broky, křemičitý písek, ocelová drť či struska. [10]

Účelem otryskávání je čištění od korozních produktů, písku, grafitu apod., dodání vhodné drsnosti povrchu upravovaného výrobku a jeho zpevnění. Při tryskání dopadají abrazivní částice na povrch velkou rychlostí (kinetickou energií). Výkon otryskávání (tzv. úběr) se reguluje:

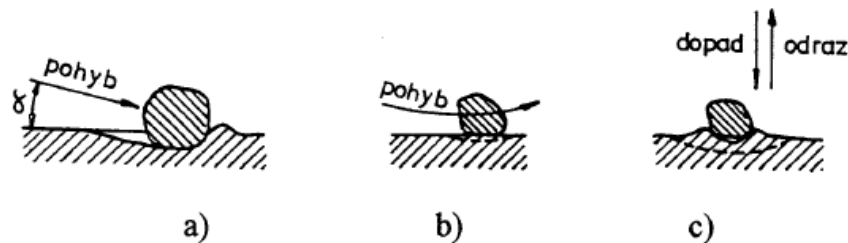
- Druhem otryskávaného materiálu
- Velikostí zrn
- Tlakem
- Úhlem a vzdáleností tryskání
- Velikostí trysky

Jako tryskací hmoty se nejvíce používají:

- Litinová drť a broky (výroba granulací litiny, dobrá úběrová schopnost i trvanlivost – 60x vyšší než křemičitý písek-, dražší celkově hospodárnější a hygieničtější-, používá se do tlaku 0,7 MPa)
- Křemičitý písek (levný, úběrová schopnost malá, tříští se, nebezpečí vzniku silikózy, použití do tlaku 0,3 MPa)
- Sekaný drát (nejpevnější – patentovaný drát 160 MPa-, neštěpí se, 5x dražší než litinová drť, méně opotřebovává metací kola)
- Umělé a speciální materiály (drť z pecek a plastických hmot, sklenění kuličky - balotina – vyhlazování, snížení drsnosti)
- Brusiva (karbid křemíku, korund – ostřejší zrno, stejnoměrnější a trvanlivější než křemičitý písek)

Výsledek tryskání je ovlivňován řadou paracetů především typem materiálu použitého pro tryskání (hmotnost, tvrdost, velikost a tvar), rychlostí dopadajících částic a hustotou částic dopadlých za jednotku času, úhlem dopadu a dobou tryskání. Při dopadu částice na povrch se přemění část (cca 90%) kinetické energie na teplo a odvede se povrchem součásti, část na práci spotřebovanou na plastickou deformaci ev. oddělování třísky a část zůstává po odražení částic. Ostrá a tvrdá zrna působí podle úhlu dopadu (Obr. 8) a vysekávají z po-

vrchu částice kovu, přičemž předmět zbaví nečistot, rzi, okují a výsledný povrch je podle velikosti a druhu otryskávaného materiálu příslušně zdrsňen. Při dopadu tupých a tvrdých zrn naproti tomu nedochází k úběru materiálu, ale povrch se otloukáním očistí, zpevní a upravený povrch je pokryt malými důlky.



Obr. 8. Poměry při dopadu částice na exponovaný povrch /a – šikmý dopad, b - rovnoběžně s povrchem, c – kolmo k povrchu/

Otryskávání se užívá jako velmi produktivní způsob čištění a přípravy povrchu pod nátěry, smalty, žárové nástřiky kovů a keramických materiálů. Je to nejúčinnější mechanický způsob odstraňování rzi a okují z povrchu hutnic výrobků, ale i rozměrných a velkoplošných konstrukcí.

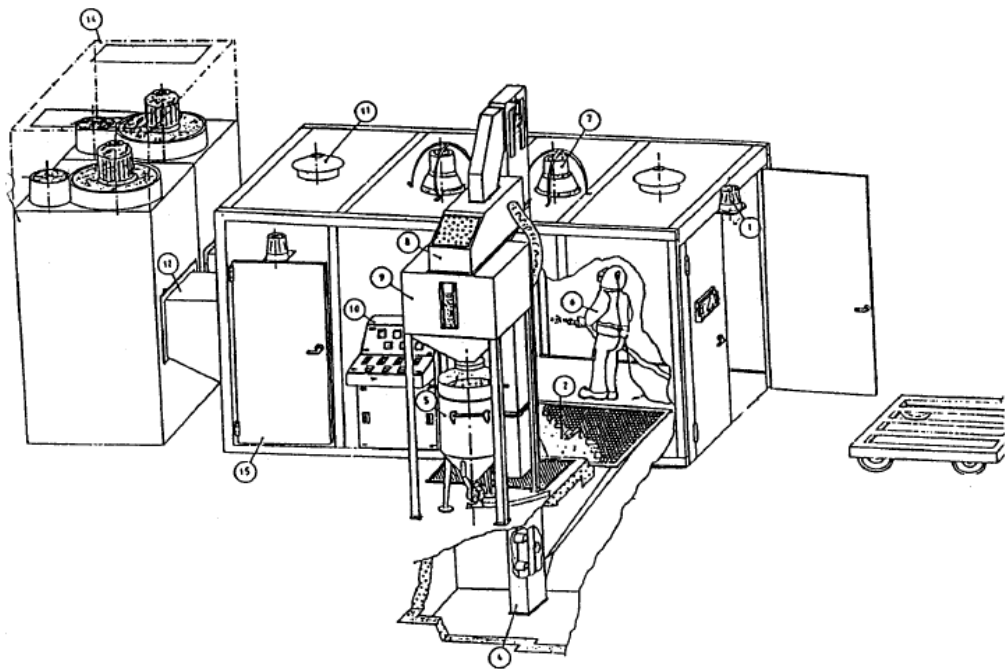
Otryskávání však může být i konečnou operací s cílem zpevnění povrchu. Základním předpokladem pro tuto technologii je kulovitost částic, stejná velikost i hmotnost a určitá tvrdost. S rostoucí velikostí částic roste intenzita i hloubka ovlivněné vrstvy přičemž optimální velikost je určena i rozměrem tryskané součásti. Doba tryskání se má volit tak, aby stačila k zajištění požadované intenzity – její prodlužování je nepříznivé jak technicky, tak ekonomicky. Změna doby tryskání má menší vliv než rychlost a rozměr dopadajících kuliček.

Důsledkem plastické deformace povrchu je zpevnění, které lze prokázat větší tvrdostí a větší hustotou dislokací. Je třeba počítat s tím, že zpevnění a pnutí vzniklá tryskáním (deformací za studena) nemohou být stabilní.

Zvyšování tvrdosti a tlaková pnutí v povrchové vrstvě jsou využívány pro zlepšení únavových vlastností některých součástí. Zvýšení meze únavy je přičítáno jednak odstranění povrchových defektů z předchozího zpracování, především oduhličené vrstvy příp. povrchových oxidů a inkluzí, jednak ovlivněním vzniku šíření prvních trhlin v povrchové vrstvě. Naproti tomu nevýhodou tryskání může být zhoršení povrchové drsnosti, jež může zvyšovat negativní vrubový účinek. Zvlášť významná zlepšení byla prokázána při cyklickém

zatěžování v korozním prostředí a zvýšení odolnosti nerezavějících ocelí proti koroznímu praskání.

Urychlení částic je dosaženo mechanicky metacími koly (Wheelabratory) nebo proudícím plynem (nejčastěji vzduchem) či kapalinou. Pneumatické tryskače se vyrábí jako tlakové (tryskáci prostředek v tlakové nádobě) nebo injektorové (tryskáci prostředek nasáván pod tlakem nosného proudícího plynu – plynulá práce, nižší výkon). Vzduchových tryskačů se často využívá v uzavřených tryskáčích komorách (Obr. 9). Zařízení mechanických tryskačů (s metacími koly) jsou velice výkonná a proti pneumatickým tryskačům hospodárnější. Nevýhodou je nedokonalé řízení směru tryskajícího paprsku a opotřebování lopatek metacího kola (hlavně brusivem, křemičitým pískem a litinovou drtí). Mechanické tryskače mohou být různě konstruovány jako např. stolové, komorové, bubnové nebo průběžné. [5]



Obr. 9. Schéma uzavřené tryskáčích komory se vzduchovým tryskačem /1 – výstražná lampa, 2 – jáma pro tryskáčích materiál, 3 – vozík, 4 – korečkový dopravník, 5 – tryskač, 6 – dělník, 7 – osvětlení, 8 – čistič tryskáčích materiálu, 9 – zásobník, 10 řídicí pult, 11 – přívod vzduchu, 12 – odsávání, 13 – filtry, 14 vývod vzduchu, 15 – nouzový východ/

### 3.4 Anorganické nekovové povlaky a vrstvy

Ochranná funkce nekovových anorganických povlaků a vrstev vychází z charakteru materiálů a způsobu jejich vytváření, přičemž chrání především bariérovým způsobem (např.

smalty), případně změnou korozní odolnosti (např. pasivací, oxidací) materiálu i dalšími způsoby např. katodicky u materiálů anorganických s obsahem zinku). Vazby nekovových povlaků a vrstev jsou obdobně jako u kovových povlaků a vrstev odvislé od způsobů jejich vytváření a jsou mechanické, fyzikální a chemické. [5]

### 3.4.1 Smaltování

Smalty jsou typickým představitelem nekovových anorganických povlaků. Jejich ochranná funkce spočívá ve vytvoření nerozpustné, celistvé vrstvy natavené na podkladovém kovu, která izoluje kov od působení agresivních prostředí. Základní podmínkou této funkce je vyhovující přídržnost a neporéznost povlaku.

**Smalty** – jsou v podstatě skla modifikovaných vlastností, které umožňují jejich přilnavost k povrchu kovů. Základní stavební jednotkou smaltů jsou tetraedry  $(\text{SiO}_4)^{4-}$ , vyskytují se v krystalickém i amorfním stavu. Vyrábí se ze skloviny, která je složena:

- Ze silotvorných oxidů, ať již kyselých (křemen, kyselina boritá), neutrálních (živec, kaolin, borax), nebo zásaditých (uhličitan sodný, draselný, vápenatý)
- Z pomocných surovin jako jsou přídržné oxidy (nikelnatý, kobaltnatý), kalidla (oxid cínčitý, titaničitý), barvítka (oxid chromitý, kobaltnatý, manganičitý, železitý), oxidační látky (dusitan draselný, oxid manganičitý)

Smalt chrání bariérovým způsobem, a proto nesmí být povlak pórovitý, což zaručuje jeho dostatečná tloušťka. Povlak musí mít též dostatečnou korozní odolnost určenou složením frity, aby se neztenčoval. Smalty jsou narušovány výhradně chemickými procesy (rozpuštění ev. vyluhování). Kyselinovzdornost zvyšují  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  apod., snižují naopak  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{CaO}$  apod. Obvykle vyšší korozní odolnost vykazují smalty s krystalickou fází. Pro dobrou tepelnou a chemickou odolnost smaltů je to vhodná úprava pro silně agresivní prostředí (mimo kyselinu fluorovodíkovou a koncentrované hydroxidy – štěpí síť  $\text{SiO}_4$ ), zvláště při vysokých teplotách a tlacích. Předností sklovitých minerálních smaltů je to, že jsou souvislé, mají vysokou odolnost proti otěru a izolační schopnost při současném ozdobném efektu. Výhodou je i dlouhá životnost za vyšších teplot (běžně  $700^\circ\text{C}$ , speciální až  $1100^\circ\text{C}$ ), je však nutno počítat s možností poškození při rychlých a četných teplotních změnách prostředí v důsledku nižší tepelné vodivosti a nižší tepelné roztažnosti smaltů. Mechanické vlastnosti smaltů závisí na podílu krystalické fáze a velikosti pórovitosti (obvykle pevnost v tlaku bývá 700 – 1300 MPa, pevnost v tahu 70 – 90 MPa, tvrdost mezi 5. a

7. stupněm Mohsovy stupnice). Další nevýhodou smaltů je jejich křehkost a tím možnost poškození povlaku nárazem nebo při upevňování šrouby.

Vrstvy smaltu se na povrch nanáší ve formě suspenze (břečky) poléváním, máčením nebo stříkáním (u litinových předmětů i poprášením) a po vysušení se vypalují při 800 až 950°C. Nanáší se základní a krycí vrstva nebo jednovrstvé smalty. Moderními způsoby je nanášení v elektrickém poli (bez sušení) a elektroforézní. [5]

### **Základní smalt**

Je určen k natavování přímo na kov a k vytvoření přídržné mezivrstvy mezi kovem a funkčním povlakem. V důsledku přídržné reakce dochází k pevnému spojení sklovitého povlaku a kovu. [5]

### **Krycí smalt**

Natavuje se na vypálený základní povlak a vykazuje požadované příslušné vlastnosti chemické, fyzikální, mechanické, které závisí od složení tohoto povlaku. Krycí smalty mohou být zakalené nebo transparentní. Hlavním typem zakalených smaltů jsou v současné době smalty titaničité a titaničitozirkoničité. Menší význam již mají typy antimonové, cíničité a ceričité. Zakalené smalty lze barvit na pastelové odstíny, transparentní smalty jsou většinou univerzálně barvitelné. [5]

### **Jednovrstvé smalty**

Spojují aplikační vlastnosti základních smaltů a funkční vlastnosti smaltů krycích. Jsou ekonomicky (energeticky) výhodný a používá se jich zvláště na konstrukčně složitější výrobky, kde tlustší nános smaltů dvouvrstvých je nevýhodný z hlediska vzniku pnutí, které působí porušení celistvosti povlaku.

Podle použitého povlakového kovu rozdělujeme smalty na ocel, litinu, hliník a smalty speciální. Oceli s vyšším obsahem uhlíku (nad 0,1%) se smaltují obtížně, neboť uhlík reaguje s oxidy ve smaltu za vývinu plynů během vypalování, jež způsobují vady povlaku (bubliny, krátery apod.). Obdobně u šedé litiny je požadována rovnoměrná, jemnozrnná, politická struktura o vhodném chemickém složení litiny. Volný cementit, stejně jako hrubozrnný grafit, způsobují nesnáze při smaltování. Nepříznivý vliv má také vyšší obsah a nerovnoměrné rozložení fosforu ve struktuře (vznik steatitu – teplota tání 950°). Negativní vliv na jakost povlaku (výskyty šupin) má i vodík, jehož zdrojem může být samotný kov (metalurgie, moření), pecní atmosféra i volná a vázaná voda ve smaltu.



Ve všech případech povrch součástí před smaltováním musí být zcela čistý. Čištění se provádí mechanickými nebo chemickými způsoby. Odličky se obvykle žijají pro odstranění různých nečistot z pórů, zmenšení obsahu plynů i ke snížení vnitřního pnutí. Obdobnou pozornost vyžaduje i předprava svařenců.

Podle způsobu zpracování rozdělujeme smalty pro aplikaci:

- Za mokra ve formě vodních suspenzí,
- Za sucha ve formě pudrů (na litinu),
- Ve formě suchých hydrofobizovaných prášků (pro nanášení v elektrostatickém poli vysokého napětí).

Navážené a homogenizované suroviny se taví za teplot 1150 až 1400°C podle druhu skloviny. Roztavená sklovina se vypouští do vody, kde vznikají zrníčka skloviny, tzv. frity, která se pak suší a mele za sucha nebo za mokra s různými přísadami. Těmito přísadami jsou např. soda, borax, dusitan sodný, jež mají za úkol upravit tečení smaltové břechky. Dále látky působící na vypalovací interval povlaku (křemen, živec).

Vlastnosti smaltu závisí na složení smaltu (frity) i technologii smaltování. Při navrhování smaltového povlaku je nutné znát a přihlížet k vlastnostem základního kovu, neboť při smaltování dochází k pevnému spojení dvou různých materiálů o různých chemických i fyzikálních vlastnostech. [5]

### 3.4.2 Mechanismus vzniku přídržnosti smaltů

Při smaltování šedé litiny se uplatňuje mechanická složka přídržnosti. Předúpravou tryskáním se vytvoří zdrsňený reliéf povrchu, do kterého se při vypalování smalt dokonale zakotví. Je to umožněno tím, že ke smaltování litiny se používá smaltů o nižší viskozitě taveniny v oblasti vypalovacích teplot a delší vypalovací doby, takže smalty se do nerovností povrchu dobře zalévají a chemická složka přídržnosti zprostředkovaná přítomností přídržných oxidů ve smaltu se využívá jen ve speciálních případech (smaltování některých chemických zařízení). Pro přídržnost smaltů na litině je důležitá čistota povrchu kovu a správná volba granulometrie tryskacího prostředku nekovového nebo kovového.

Nutným předpokladem úspěšného vypalovacího procesu je oxidační atmosféra v prostoru vypalovací pece. Vypalování smaltového povlaku začíná slinováním vysušené suspenze nebo prášku a vznikem vrstvy tzv. biskvitu. Tento porézní povlak umožňuje do teploty 600 – 650 °C prostup kyslíku z oxidační atmosféry pece k povrchu železa, které se oxiduje. Při

tom vzniká film směsí oxidů  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , které se postupně se zvyšováním teploty rozpouštějí ve vznikající tavenině až do jejího nasycení. Stupeň nasycení závisí na chemickém složení smaltu a jeho viskozitě v oblasti natavování. Proces je třeba vést tak, aby oxid železitý, který se v tavenině rozpouští špatně a je zdrojem některých vad povlaku, vznikal v minimálním množství. Regulace jeho vzniku se zabezpečuje experimentálně ověřenou teplotou vypalování a dobou vypalování (rychlostí pohybu dopravníku).

Zásadní vliv na přídržnost smaltu na oceli mají přídržné oxidy  $\text{CoO}$  a  $\text{NiO}$ . Experimentálně je potvrzen také vliv oxidů  $\text{MnO}$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{MoO}_3$  na přídržnou, ale přídržné reakce se tyto oxidy přímo nezúčastní. Ovlivňují pouze viskozitu a další reologické vlastnosti taveniny při natavování smaltu na ocel. Oxidy  $\text{CoO}$  a  $\text{NiO}$  musí být součástí sklovité smaltěřské frity a jejich celkový obsah je v základním smaltu 3 – 5 %. Použije-li se přísada  $\text{CoO}$  a  $\text{NiO}$  při mletí suspenze, přídržnou se tím prakticky neovlivní, oxidy fungují pouze jako barvítka ( $\text{CoO}$  namodro,  $\text{NiO}$  nahnědo). Na vzniku chemické přídržnosti má největší vliv migrace iontů  $\text{Co}$  a  $\text{Ni}$  k povrchu ocelového plechu z natavované skloviny. Tento proces nastává ve vzdálenosti až několika desetin mm od povrchu. Kobalt a nikel jsou elektro pozitivnější než železo, takže tento proces funguje jako soubor mikročlánků se sklovinou jako elektrolytem. Vzniklá slitina  $\text{Co-Fe}$  a  $\text{Ni-Fe}$  pokrývá část povrchu železa a nepokrytá místa jsou v přímém kontaktu s taveninou skla, které má při vypalovací teplotě cca  $800\text{ }^\circ\text{C}$  silně korozní účinek. Vzniká velmi členité fázové rozhraní a tím se zvětšuje kontakt mezi kovovou a skelnou fází. Lokální rozpouštění povrchu oceli je tak intenzivní, že během několika minut při vypalovací teplotě cca  $800\text{ }^\circ\text{C}$  dochází k velmi dokonalému propojení korodovaných ploch a elektro pozitivnější částice jsou tavenou zcela obklopeny. Vzniká tak kompaktní systém smaltovaná ocel. Tento mechanismus vzniku přídržnosti se realizuje u všech typů smaltů, kde se povlak vytváří dvouvrstvým systémem základní a krycí smalt včetně moderních kombinovaných systémů, kdy se jako základní vrstva používá reaktivní základní smalt, který se vypaluje společně se smaltem krycím.

Při smaltování legovaných ocelí vzniklý přídržnou nižší vzhledem k pomalejšímu průběhu uvedených reakcí, zejména oxidace povrchu oceli. Pro zvýšení přídržnosti se doporučuje před smaltováním těchto ocelí krátkodobé přežhánání, které vznik oxidů  $\text{Fe}$  podporuje.

Přídržnost smaltu se zkouší podle speciálních norem (v ČR norma EN-ČSN). Jde o zkoušky ohybové, nárazové a protlačování kovovým vrchlíkem. Kvantifikace se provádí hodnocením zbytku celistvého smaltu po deformaci soustavou jehel. [11]

### 3.4.3 Průběh koroze smaltových povlaků

Koroze smaltových povlaků je způsobena chemickými a fyzikálními vlivy. Chemické vlivy jsou dominující, fyzikální vlivy, např. eroze, abraze, sluneční záření, termické a mechanické namáhání degradaci povlaku urychlují. Korozní proces je závislý na druhu korozního prostředí – rozlišujeme korozi v prostředí kyselém, alkalickém, v prostředí vody a v atmosféře.

#### Koroze v kyselém prostředí

Působením agresivního prostředí kyselin na smalt se projevuje komplexem dějů, jejichž výsledkem jsou výměnné reakce, při kterých dochází k uvolňování volně vázaných iontů, především alkalických, ze smaltovaného povlaku. Vyluhované ionty jsou ve struktuře smaltu postupně nahrazovány iont  $H^+$ , resp.  $H_3O^+$ . Důsledkem těchto výměnných reakcí doprovázených hydrolyzou je postupná destrukce vazby mezi křemíkem a kyslíkem a vznik křemičitého gelu na smaltovém povrchu. Na něm se mohou adsorbovat ionty uvolněné z povrchu účinkem korozního prostředí. Tím dochází k částečnému zpomalení korozního procesu, ke zpevnění povrchu smaltu a určité pasivaci. U smaltů vhodně voleného složení (smalty s vysokou chemickou odolností) tak dochází na začátku korozního procesu ke ztrátě lesku a další postup je již velmi pomalý.

Obecně lze uvést, že kyselinovzdornost smaltů je velmi dobrá v prostředí všech organických a anorganických kyselin a jejich solí s výjimkou kyseliny fluorovodíkové, které smalty stejně jako ostatní skla neodolávají. Určité problémy jsou v prostředí kyseliny fosforečné, kde odolnost závisí na koncentraci a teplotě. Avšak za nižších teplot je např. při skladování fosforečných hnojiv životnost kyselinotvorných smaltů vysoká. Z organických kyselin je nejagresivnější kyselina citrónová, z anorganických kyselina sírová. Parní fáze má obvykle 1,5 – až 3 krát vyšší korozní účinek než kapalná fáze.

Zvláštním případem koroze smaltů v kyselém prostředí je nízkoteplotní koroze. Jde o soubor dějů, k nimž dochází při kontaktu kovových materiálů se spalinami za teploty pod rosným bodem kyseliny sírové a vody. Projevuje se u energetických zařízení při spalování méně hodnotného uhlí s obsahem síry. Při teplotách kolem  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  vzniká ve spalinách plynná kyselina sírová slučováním vody s oxidem sírovým. Její vznik je ukončen při teplotách kolem  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , koroze kovového zařízení je intenzivní hlavně při teplotách pod rosným bodem (pod  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Smaltování se využívá hlavně pro povrchovou úpravu výměníků tepla, kde mnohonásobně zvyšuje jejich životnost v tomto agresivním prostředí.

Korozní odolnost smaltů se zjišťuje korozními zkouškami při teplotách 100 °C (případně při jiných teplotách), metodika je stanovena v ISO normách. Celistvost smaltu se kontroluje elektrickou jiskrou při zvoleném napětí stejnosměrného proudu. [12]

### **Odolnost smaltů v prostředí vody a páry**

Sklovité smalty jsou samozřejmě vysoce odolné v prostředí všech druhů vod za nižších teplot a k určitému stupni koroze dochází v závislosti na chemickém složení smaltu za vyšších teplot, speciálně za varu. Přitom voda působí podstatně méně agresivně než např. pára za zvýšeného tlaku. Koroze smaltu vodou je složitým mechanismem, v němž podle většiny autorů převládá hydrolyza.

Jako ve všech ostatních případech je průběh koroze silně závislý na chemickém složení smaltu, především poměru obsahu  $\text{SiO}_2$  a oxidů  $\text{R}_2\text{O}$ . Účinně lze odolnost v prostředí vody zvýšit přísadou oxidu zirkoničitého. [12]

### **Koroze smaltu v agresivních atmosférách**

Působení vnější atmosféry na smaltové povlaky nemá na jejich životnost zásadní vliv, ale i zde platí, že pro expozici v agresivní atmosféře je třeba volit smalty s vysokou nebo alespoň střední odolností. Doporučuje se předem ověřit korozními zkouškami vhodnost příslušného typu. To se týká zejména smaltů barevných a dekorativních.

Atmosféra působí na smalty komplexem chemicko-fyzikálních dějů, které zahrnují působení vlhkosti, slunečního záření, teplotních změn, eroze a přítomnosti plynů a solí v ovzduší. Převažující vliv má opět hydrolyza. Při ní se zvyšuje koncentrace alkálií na povrchu povlaku a postupně dochází k rozkladu strukturní mřížky. Při tom vzniká tenká pasivační vrstvička křemičitého gelu, na jejímž rozpouštění současně působí vzdušný oxid uhličitý. Pokud v ovzduší převažuje vliv kyselého prostředí, dochází k trvalému působení zředěných kyselých roztoků, kterým smalty odolávají většinou dobře. Ultrafialové záření má vliv na změnu barevného odstínu smaltu, což se projevuje hlavně u smaltů červených, žlutých a oranžových v důsledku fotosenzitivních reakcí s částicemi sulfoselenidových barvitek. [12]

Základní předpoklady korozní odolnosti jsou:

- Vhodné chemické složení smaltu. Před aplikací je třeba korozními zkouškami ověřit vhodnost příslušných druhů smaltů a vybrat optimální typ.
- Celistvost smaltového povlaku. Póry v povlaku jsou nepřípustné. Urychlují korozní proces a většinou jsou zdrojem koroze. Podle předpokládaného použití smaltu je

třeba volit jeho optimální způsob vytváření a vypalovací podmínky. Smalty vypálené nedostatečně mají nižší korozní odolnost. Rovněž je třeba volit optimální tloušťku nánosu. [12]

## 4 ZPŮSOBY HODNOCENÍ POVRCHŮ

### 4.1 Organizace řízení jakosti

Základním úkolem řízení jakosti je zabezpečit kvalitu zvoleného povlaku. Nedodržení výrobní a technologické kázně v průběhu procesu, nedostatečná vstupní, mezioperační i výstupní kontrola jsou mnohdy příčinami nekvalitní povrchové úpravy a následného selhání i optimálně navržené povrchové ochrany. Odstraňování takto vzniklých vad je činností pracovně, materiálově i energeticky náročnou.

Při řízení jakosti se zásadně uplatňuje měřicí a zkušební technika (Tab. 1). Umožňuje aktivní řízení jakosti při návrhu, provedení a využívání povrchové úpravy.

*Tab. 1. Uplatnění měřicí, zkušební a řídicí techniky při zabezpečování optimální jakosti povrchové ochrany.*

<b>Soubor měřících metod, zkušebních postupů a přístrojové techniky</b>
Studium principů korozních dějů
Studium účinnosti protikorozních ochran
Sledování agresivity prostředí využívání
Řízení procesu
Mezioperační kontrola
Konečná kontrola jakosti
Ověřování spolehlivosti u uživatelů

V předvýrobní přípravě, před návrhem optimálního povlaku, je nutná znalost principů korozních jevů, znehodnocujících vlivů prostředí, účinnosti protikorozních ochran, vlastností kovových a nekovových materiálů a zákonitostí jejich znehodnocování v různých prostředích. V oblasti výroby, při vytváření povlaku, umožňuje řízení dílčích operací i celého procesu včetně mezioperační kontroly. V oblasti využití zajišťuje konečnou kontrolu jakosti optimálně upraveného výrobku i ověřování provozní spolehlivosti.

Zavedení systému řízení jakosti při vytváření povrchových ochran je podmíněno úrovní rozvoje a dostupnosti specializované měřicí, zkušební a řídicí techniky. [5]

#### 4.1.1 Kriteria jakosti povlakového systému

Základním měřítkem jakosti povlaku je schopnost zajisti ekonomickou životnosti strojírenského výrobku. Pro formulaci koncepce řízení jakosti se uvádí tyto pojmy:

- Provozně významná podmínka (PVP) – veličina, která ovlivňuje průběh dílčí operace technologického procesu (vlastnosti materiálu, surovin, lázní, podmínky technologického, tepelné technického a elektrického charakteru).
- Parametr jakosti (PJ) – veličina, která popisuje požadovanou vlastnost vytvořeného povlaku (vzhledového, funkčního, ochranného charakteru).
- Kritérium jakosti (KJ) – významné parametry jakosti na předepsané úrovni, které souhrnně vymezují vhodnost vytvořeného povlaku pro určité požadavky a zařazení výrobku do třídy jakosti.
- Třída jakosti (TJ) – určuje v několika stupních užitnou hodnotu výrobku, charakterizovanou nejčastěji životností povlaku (dobou splňující požadavky, než znehodnocení přestoupí přípustnou mez). [5]

Pro požadovanou třídu jakosti jsou odpovídající kriteria jakosti určena již při návrhu optimální povrchové úpravy a technologie jejího vytváření. Kritérium jakosti závisí na funkci výrobku, jeho ekonomické životnosti a prostředí, ve kterém je uplatněn. Řízení jakosti by mělo být zajištěno v celém průběhu procesu, při vstupní kontrole (materiálu, surovin, lázní, součástí určených k povrchové úpravě), sledováním a řízením provozně významných podmínek dílčích operací, při mezioperační kontrole parametrů jakosti, při konečné kontrole PJ (přímým měřením nebo zkoušením povlakového systému na výrobku v definovaném prostředí).

Kriteria jakosti jsou obvykle formulována v závislosti na vzhledových (celkový vzhled, barevný odstín, lesk), funkčních (odolnost proti mechanickému porušení, proti podkorodování) a ochranných vlastnostech (tloušťka, pórovitost). [5]

#### 4.2 Kontrola jakosti povlakových systémů

Užitná hodnota strojírenských výrobků je ovlivněna tím, zda funkčnost, životnost a korozní odolnost povlaku odpovídá předpokládaným požadavkům. Systematická kontrola jakosti povrchové úpravy tvoří nedílnou součást výroby. Sledování jakosti je možné při mezioperační kontrole v technologickém sledu procesu a při konečné kontrole. Na základě kontroly

se posuzuje a hodnotí splnění předepsaných nároků na jakost povlaku, rozhoduje o dosažení jakosti povrchové úpravy a odhaduje očekávaná protikorozní, vzhledová a funkční účinnost, zajišťuje se kvalitativní třídění výrobků do tříd jakosti. [5]

#### 4.2.1 Vzhledové vlastnosti

Vzhledové vlastnosti tvoří řadu optických charakteristik povrchu, popisovaných pojmy celkový vzhled povrchu, barva a lesk (matnost, zobrazivost) povrchu. Tyto vlastnosti představují nejen rozhodující parametry jakosti ozdobných povrchových úprav, ale jsou jednou z charakteristik hodnocení korozního napadení ev. opotřebení povrchu, u funkčních povlaků jsou pak nedílnou součástí mezioperační kontroly pro zjištění závad v technologickém procesu. [5]

##### **Celkový vzhled**

Do pojmu celkového vzhledu povrchu se zahrnuje především vizuální stejnorodost (homogenita) a optická izotropie povrchu.

Celkový vzhled je nejčastěji posuzován vizuální kontrolou. Tato je snadno zajištěna při manipulaci s výrobky s minimálními nároky na investice, prostor a čas. Potíže spočívají v subjektivním odhadu intenzity vady ev. v určení procenta plochy vad odhadem. Pro účinné uplatnění kontroly je nutné zajistit vhodné osvětlení a pracovní režim.

Vizuální nestejnorodost povrchu se charakterizuje slovním popisem s označením typu vady popř. číselně (počtem vad nebo procentem plochy vad). Vady mohou být bodového, lineárního nebo plošného charakteru s plynulou nebo náhlou změnou vzhledu. Vizuální hodnocení optických nehomogenit, jejich tvaru a charakteru umožňuje většinou stanovit a rozlišit místa bez povlaku, makroskopické póry, odlupující se povlak, trhliny, rysky, puchýře a podpovrchové plynné vměstky, důlky v povlaku, nerozlité pramence a kapky, nežádoucí texturu povlaku, ulpělé nečistoty, průnik korozních zplodin substrátu povlakem i vlastní korozní zplodiny povlaku. Vizuální vzhledová kontrola je předepsána v normách (např. ČSN 03 8510, 03 8153, 03 8221). [5]

#### 4.2.2 Ochranné vlastnosti

Účinnost a odolnost proti působení vnějších znehodnocujících vlivů charakterizují ochranné vlastnosti povlaků. Závisí na průběhu interakce prostředí-povlak a mechanismem působení povlaku. Ochranné vlastnosti jsou ověřovány měřením (tloušťky, pórovitosti) nebo zkoušením v přírodních, provozních i laboratorních podmínkách. [5]



## Tloušťka

Tloušťka povlaku představuje základní nepřímý ukazatel očekávané účinnosti provedené ochrany proti působení vlivů vnějšího prostředí. Významnost, průkaznost a schopnost výpovědi naměřeného údaje tloušťky závisí na typu povlaku a mechanismu jeho ochranného působení. Tloušťka přímo ovlivňuje bariérový efekt povlaku, jeho dokonalou celistvost, pórovitost i další řadu fyzikálně chemických vlastností. Obvykle v oboru povrchových úprav se tloušťka udává v  $\mu\text{m}$ , u fosfátových povlaků a povlaků vytvářených žárově ponořením do roztaveného kovu se uvádí jako plošná hmotnost.

Rozsáhlý soubor metod měření tloušťky lze členit na:

- Metody destruktivní – vhodné u povrchových úprav hromadného charakteru, u vícevrstvých povlaků umožňují kontrolu tloušťky jednotlivých vrstev.
- Metody nedestruktivní – vhodné pro rychlá měření a automatizaci měřících operací.

Pro optimální metodu a výběr vhodného přístroje pro měření tloušťky je nutno uvažovat hlediska:

- Měřitelnost kombinace povlak – podklad
- Charakter kontroly
- Velikost a geometrický tvar měřeného místa i výrobku
- Rozsah kontrolovaného souboru [5]

### Destruktivní metody

**Metoda snímací** (chemická, elektrochemická)

Jedná se o destruktivní metodu stanovení průměrné tloušťky (ČSN 03 9046) pro různé kombinace povlak-podklad. Není vhodná pro slitinové povlaky s neznámou hustotou, naopak je využívána u fosfátových vrstev. Tloušťka je určována u rozdílu hmotností povrchově upraveného výrobku a výrobku bez povlaku. Toho je možno dosáhnout chemickým nebo elektrochemickým rozpouštěním povlaku ev. základního materiálu. Pro první případ:

$$h = \frac{m_1 - m_2}{\rho \cdot S} \quad (1)$$

$h$  – průměrná tloušťka povlaku,  $m_1$  – hmotnost výrobku s povlakem,  $m_2$  – hmotnost výrobku bez povlaku,  $\rho$  – hustota povlaku,  $S$  – pokovená plocha

Přesnost měření závisí na selektivitě funkce snímacího roztoku, přesnosti stanovení povrchu i rozdílu hmotnosti a rovnoměrnosti povlaku.

### Metoda výbrusu

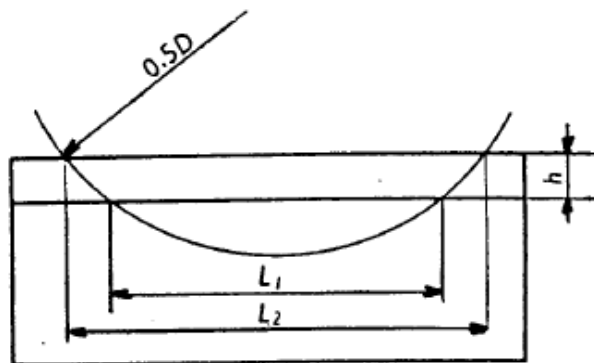
Tato univerzální destruktivní metoda (ČSN 03 8156) je od tloušťky povlaku 2  $\mu\text{m}$  uznávána jako rozhodčí metoda. Tloušťka se určuje přímým měřením na metalografickém výbrusu pod mikroskopem.

Pro zvětšení měřené tloušťky je možno provádět šikmé výbrusy ev. sledovat tloušťku povlaku tzv. probrusme (je možno použít brusného kotouče nebo ocelové kuličky s diamantovou pastou tzv. Kalotest) – tloušťka povlaku  $/h/$  se pak rovná (Obr. 10):

$$h = \frac{L_1^2 - L_2^2}{4R} \quad (2)$$

$R$  – poloměr kotouče;  $L_1$ ,  $L_2$  – odečtené délky probrusu.

Je relativně nejpřesnější metodou (maximální chyba  $\pm 1\%$ ). K zvýraznění rozhraní a sledování mikrostruktury povlaku je výbrus naleptáván. Právě toto a příprava (preparace) vzorku může působit určité obtíže. Metodou je možno sledovat i difúzní vrstvy.



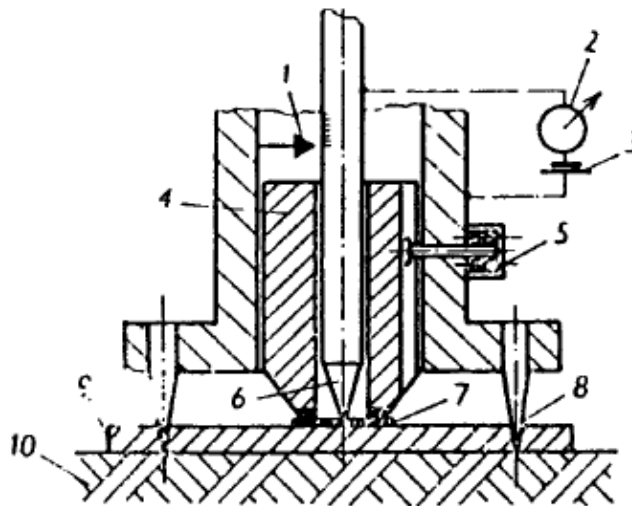
Obr. 10. Princip metody probrusu

### Metoda délkových měření

Místní tloušťka se určuje měřidlem z rozdílu údaje odečteného v místě, kde je povlak sejmuto a v jeho okolí.

Dotyková varianta používá různých druhů měřidel např. mikrometr, číselníkový úchylkoměr apod.

U nezaschlých i zaschlých nevodivých nátěrů na vodivé podložce se používá vpichovací varianta (Obr. 11), která spočívá v odečtu posunu vpichovací jehly mezi povrchem povlaku a základem odečtu na mikrometru.



Obr. 11. Princip vpichovací metody měření tloušťky /1-stupnice, 2-měřič napětí, 3-suchý článek, 4-přidržovač, 5-pomocný dotyk, 6-měřící hrot, 7-vodivá fólie, 8-pomocné hroty, 9-měřený nevodivý povlak, 10-základní vodivý materiál/

### Metoda mokré stopy

K měření mokrého (nezaschlého) nátěru se používá odvalovacího kotouče nebo měřícího pravítka. Tloušťka se stanoví podle otisku nezaschlého filmu na kalibrovaném excentrickém kotouči nebo měřícím zubu. Všechna měření je nutno provádět ihned po nanesení nátěrové hmoty, protože se vzhledem k těkání rozpouštědel tloušťka nátěru rychle mění.

### Nedestruktivní metody

Měření tloušťky povlaku nedestruktivním způsobem je ovlivněno typem snímače, povlaku a základního materiálu. Signál snímače závisí na souhrnném vlivu fyzikálně chemických a

fyzikálně mechanických vlastností měřeného místa i souhrnu vnějších vlivů. Jsou to metody srovnávacího charakteru, pro objektivní zjišťování tloušťky povlaku je nutné provádět kalibraci.

### **Metoda magnetická**

Magnetická metoda představuje nejjednodušší způsob měření tloušťky nemagnetických (kovových i nekovových) povlaků na magnetickém podkladu. Měření povlaku Ni je problematické v závislosti výsledné permeability na složení lázně. Těžiště uplatnění je v rychlé provozní kontrole nenáročná na vysokou přesnost. Přesnost měření závisí na permeabilitě a remanenci základního materiálu, tvaru, velikosti, drsnosti, tloušťce základního materiálu i zabezpečení polohy snímače. Měřicí rozsahy se pohybují v pásmech od 0 do 100 μm pro kovové povlaky a pro organické povlaky od 0 do 1000 μm.

Existuje několik variant měření tloušťky povlaku:

- Odtrhová varianta spočívá v měření síly nezbytné k odtržení permanentního magnetu od povlaku – tloušťka se stanoví z převodního grafu nebo na stupnici přístroje
- Varianta indikující rozložení magnetického pole určuje změnu magnetického pole dvou permanentních magnetů přiložených na povlakovaný materiál
- Varianta indikující magnetický tok spočívá v indikaci magnetického toku, který je závislý na přiblížení snímače k feromagnetickému materiálu, citlivým prvkem

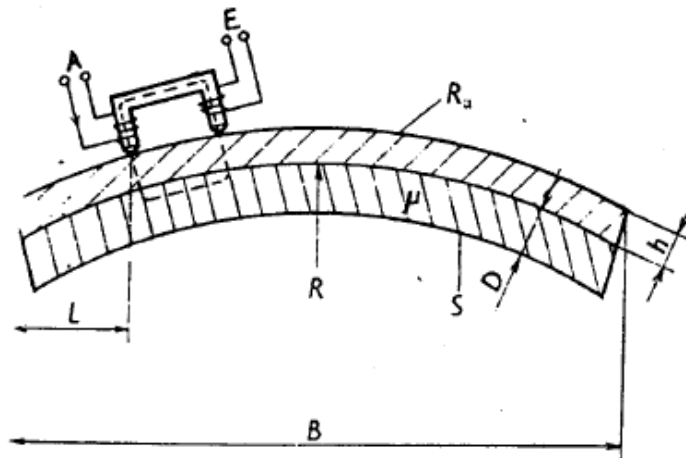
Přenosný magnetický tloušťkoměr METRA typu 634 (rozsah 10 až 1000 μm) a 635 (rozsah 2 až 100 μm) pracuje na odtahovém principu. Je tužkového tvaru, sestává z permanentního magnetu, měrné pružiny, napínacího a ukazovacího ústrojí. Měření se provádí kolmo k měřenému povrchu. Permanentní magnet se odtrhává napínáním pružiny. V okamžiku odtržení magnetu se ukončí napínání a údaj prodloužení pružiny na stupnici přístroje se podle kalibrační křivky převede na μm tloušťky povlaku.

### **Metoda elektromagnetická**

Podstata měření tloušťky spočívá ve zjišťování změny magnetického toku, který se uzavírá v obvodu snímače (obr. 12). Střídavé elektromagnetické pole snímače je buzeno z pomocného zdroje elektrické energie.

Oblast využití této metody je zcela shodná s magnetickou metodou. Metoda však umožňuje měřit s vyšší přesností (3 až 6 %), je proto určena především pro laboratorní a náročnější

měření. Měřiče tloušťky sou řešeny jako univerzální s volitelnými rozsahy (např. Ultrametr).



Obr. 12. Princip elektromagnetické metody měření tloušťky a vlivy působící na měřený údaj

#### 4.2.3 Pórovitost

Pórovitost ochranného povlaku společně s tloušťkou je přímým ukazatelem kvality a účinnosti proti vlivům vnějšího agresivního prostředí. Významnost pórovitosti závisí na účelu povlaku a mechanismu jeho ochranného působení.

Pórovitost je určována jako stupeň nepokrytých, převážně mikroskopických oblastí na podkladovém materiálu, množství dutin v povlaku. Z hlediska velikosti je možno póry dělit na:

- Makroskopické (větší než 100  $\mu\text{m}$ )
- Mikroskopické (od 1 do 100  $\mu\text{m}$ )
- Submikroskopické (od 0,001 do 0,1  $\mu\text{m}$ )

Při hodnocení korozní významnosti musí být uvažována nejen velikost, ale i umístění póru v povlakovém systému. Z tohoto hlediska mohou být póry tříděny na:

- Průchozí (korozně nejvýznamnější)
- Neprůchozí (potenciální možnost vzniku průchozích v průběhu provozního namáhání)
- Inherentní (významnost závisí na poloze a velikosti, u podkladu, v povlaku)

Základní pórovitost vzniká v průběhu vytváření povlaku, může být:

- Strukturní (typická pro kovové povlaky) – submikroskopické póry závisí na provozních podmínkách technologie vylučování
- Související s kvalitou přípravy podkladu – mikro a makroskopické póry jsou vyvolány nehomogenitami v podkladu, přítomností vlastních nebo ulpělých nečistot
- Související s kvalitou vytváření povlaku – jsou vyvolány rušivými vlivy typickými pro určitou technologii nanášení (např. vlhkost, prašnost, vývoj vodíku, vnitřní pnutí atp.)

Následná pórovitost vzniká v důsledku funkčního a korozního namáhání povlaku. K porušení celistvosti povlaku a vzniku trhlin může dojít i při následném zpracování výrobku.

Je vyvinuta řada metod kontroly pórovitosti. Zkušební metody možno členit do dvou skupin:

- Kvalitativní metody (vizuální vyhodnocování počtu pórů po expozici v předepsaných podmínkách, s místní lokalizací pórů)
- Kvantitativní metody (pórovitost je stanovena číselným údajem jako index pórovitosti při expozici na zvolené ploše)

Z hlediska metodických postupů se zkoušky pórovitosti člení na:

- Chemické
- Elektrochemické
- Fyzikální [5]

### **Metody chemické**

Chemická reakce zkušebního prostředí (kapalného, plynného) s materiálem základu, v určitém čase, vyvolá v místech průchozích pórů barevné skvrny (produkty koroze podkladu), které jsou indikovány. Metody jsou příbuzné řadě modelových korozních zkoušek. Metody umožňují kvalitativní i kvantitativní stanovení průměrné pórovitosti z vymezené plochy. Metody jsou vhodné pro běžnou kontrolu v provozu, pro přímé určení četnosti a rozložení pórů na zkoušeném povrchu, popř. indexu pórovitosti.

Aplikace zkušební roztoku může být různá:

- Integrální ponorová varianta (spočívá v zanoření povrchu)
- Místní varianta (roztok nanášen na vymezenou plochu nebo v příkládací verzi je filtrační papír nasycený roztokem přiložen na vymezenou plochu)
- Komerová zkouška (vzorek umístěn ve zkušební komoře)

Při kvalitativním hodnocení se zjišťuje četnost a rozložení pórů na zkoušeném povrchu. Kvantifikace výsledku je možná stanovením podílu pórovitosti  $P$ / (ČSN 03 8153, ČSN 03 8510) prostřednictvím měrné sítky přiložené na povrch a výpočtem podílu čtverců obsahujících póry  $n$ / a počtu všech čtverců měrné mřížky  $N$ /:

$$P = \frac{n}{N} \quad (3)$$

Hodnotu pórovitosti lze provádět i podle srovnávacích Normandů pórovitosti.

Při přímém kvantitativním pojetí metody je měřítkem pórovitosti množství rozpuštěného podkladu za určitou dobu  $/\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}/$ .

Příkladem chemické metody je zkouška pórovitosti fosfátovaných povlaků na oceli. Zkušební roztok:  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  1 g,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  kryst. 5 g, destilovaná voda 1000 ml.

Zkoušený povrch se při měření pórovitosti odmastí a osuší. Odstřížky filtračního papíru se vloží na 1 minutu do zkušebního roztoku. Okapaný vlhký papír se přitiskne na zkoušené místo a nechá exponovat 1 minutu do zkušebního roztoku. Okapaný vlhký papír se přitiskne na zkoušené místo a nechá exponovat 10 minut. Poté se opatrně sejme, vypere a nechá volně uschnout. Hodnotí se množství, ev. velikost a rozložení sytých zelenomodrých bodů. [5]

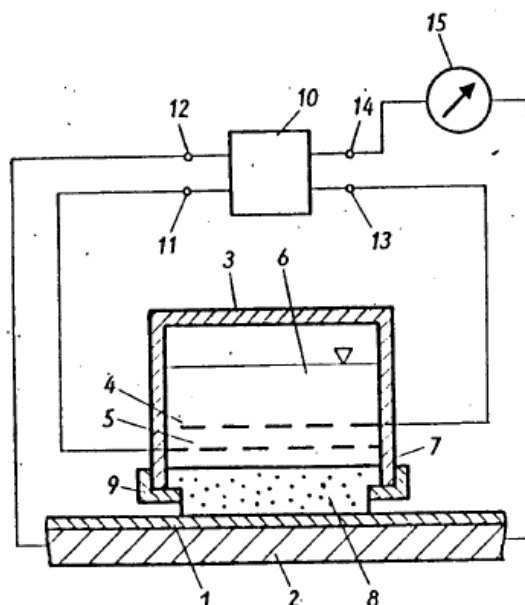
### Metody elektrochemické

Podkladový materiál je za kontrolovaných elektrochemických podmínek anodicky rozpuštěn, ionty procházejí póry povlaku k pomocné protielektrodě. V kvalitativním provedení metody jsou ionty rozpuštěného kovu zjišťovány barevnými skvrnami na zkoušeném povrchu (viz chemická metoda) nebo na pórogramu (vloženém indikačním papíře). V kvantitativním provedení se zjišťuje obsah rozpuštěného podkladu ve zkušebním roztoku, nebo se měří celkový korozní, rozpouštěcí anodový proud, který je měřítkem celkové plochy pórů. Metody vyžadují stabilizaci potenciálu při anodické polarizaci vzorku (úroveň

potenciálu zaručuje, že materiál povlaku je v pasivním stavu a materiál povlaku ve stavu aktivním).

Elektrografické provedení spočívá v přiložení papíru nasyceného zkušebním roztokem, na který se umístí protielektroda. Při jednostupňové indikaci obsahuje elektrolyt přísady, které bezprostředně reagují s ionty rozpouštěného podkladu. Při dvoustupňové indikaci se barevně zřetelná místa pórů na pórogramu získají až po vyvolání v indikačním roztoku. Při potenciostatické verzi obsahuje snímač protielektrody a pomocnou elektrodu. Toto zapojení udržuje automaticky konstantní potenciál mezi vzorkem (anodou) a protielektrodou (katodou).

Měřicí systém EP-test používá jako indikační papír tenký, lesklý, neexponovaný, ustálený fotografický papír. Ten se položí želatinovou vrstvou na měřený povrch a na něj pak snímač přístroj (Obr. 13). Volbu proudové hustoty, nastavení potenciálu, ukončení měření zajišťuje automatika přístroje pro kontrolovanou kombinaci povlak-podklad. Po expozici se papír vyvolá v indikačním roztoku (Tab. 2 a 3). [5]



Obr. 13. Princip elektrografické metody měření pórovitosti povlaku /1 – povlak, 2 – podklad, 3 – kryt, 4 – protielektroda, 5 – pomocná elektroda, 6 – zkušební roztok, 7,8 – těsnění, 9 – víko, 10 – potenciostat, 11,12 – polarizační napětí, 13,14 – okruh korozního proudu, 15 – kontrolní přístroj//



Tab. 2. Volba zkušebních a indikačních roztoků elektrografické potenciostatické metody

Povlak	Základní materiál				
	Cu,Ms	ocel	Al	Ni	Ag
Cu		Z1/I1	Z2/I3		
Sn		Z1/I1			
Cr	Z1/I2	Z1/I1	Z2/I3	Z3/I4	
Au	Z1/I2			Z3/I4	Z3/I7
Ni	Z4/I2	Z1/I1	Z2/I3		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			Z2/I3		
fosfát		Z1/I1			

Tab. 3. Složení pracovních roztoků elektrostatické potenciostatické metody

Zkušební roztok	Složení	Indikační roztok	Složení
Z1	1% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	I1	1% K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>
Z2	1%KCl	I2	1%K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>
Z3	1%NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	I3	0,1%Aluminion
Z4	1%NH <sub>3</sub>	I4	1% dimethylglyoxim v alkoholu
		I7	1%K <sub>2</sub> CrO <sub>3</sub> + 1%CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>

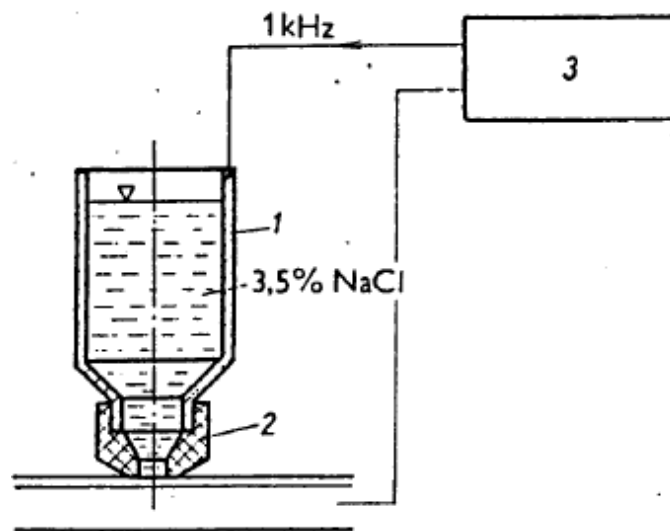
### Metody fyzikální

Zjišťování pórovitosti je založeno na uplatnění fyzikálních principů (mechanických, optických, elektrických apod.) při určování přímé propustnosti povlaku. Jednotlivé varianty se uplatňují u různých druhů povlaků a v různém rozsahu:

- Snímací varianta – míra propustnosti se stanoví po sejmutí povlaku
- Optická varianta – měří se množství světla prošlého povlakem

- Plyná varianta – měřítkem množství plynu prošlého při konstantním přetlaku, ev. tlakový rozdíl.
- Izotopová varianta – měří se množství rtg. ( $\gamma$ ) prošlého záření, zdrojem záření může být i izotop nanesený na podklad
- Vysokonapěťová varianta – zjišťuje se náběhový ionizační proud mezi elektrodou snímače a podkladovým materiálem při namáhání povlaku vhodnou intenzitou elektrického pole (jedná se o úpravu přístroje pro měření průrazného napětí)
- Impedanční varianta – měřítkem impedance povlaku po přiložení snímače s vodivým elektrolytem, dosáhla největšího uplatnění.

Impedanční metoda umožňuje nedestruktivní stanovení průměrné pórovitosti z vymezené plochy (ČSN 03 8150). Je vhodná pro kontrolu konverzních povlaků a stupně utěsnění anodicky oxidovaných povlaků na hliníku a jeho slitinách. Na kontrolovaný povrch zbaven nečistot a mastnoty se přiloží snímač (Obr. 14) naplněný zkušebním roztokem (3,5 % KCL ev. NaCl). Po době nezbytné k difúznímu proniknutí roztoku se měří impedance. Vzhledem k tomu, že elektrické vlastnosti  $Al_2O_3$  se mohou měnit v závislosti na čase i podmínkách výroby a uskladnění, získané údaje jsou dosti relativní. [5]



Obr. 14. Princip měření stupně utěsnění anodicky oxidované vrstvy /1 – elektroda, 2 - těsnění, 3 – měřič impedance/

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo zjištění technologického postupu smaltování litinových výrobků od procesu tryskání až po vypálení smaltu, z čehož následovalo vyhodnocení procesu. Dále porovnat technologický proces a technologické návodky s teorií.

Cílem této diplomové práce bylo také zjistit dodržování předepsaných technologických návodků a jejich srovnání s teorií, vyhodnotit zjištěné hodnoty a určit největší výskyt vad a z toho navrhnout, které vady bude nutné jako první odstranit. Dále zjistit příčiny výskytu vad a z toho navrhnout nápravná opatření.

### 5.1 Jihomoravská Armaturka spol. s r.o.

JMA je nedílnou součástí dnešního vodního hospodářství. Všude, kde se voda upravuje, dopravuje, skladuje a rozvádí, hrají JMA uzavírací šoupátka, klapky, plunžorové, regulační ventily a hydranty důležitou roli.

JMA je zastoupena celosvětově. Stodvacet prodejních pracovníků pečuje o podniky v Evropě, Asii, Africe a Jižní Americe.

Od svého založení ručí JMA za internacionalitu, ale také za kvalitu „made in Germany“. Hlavní stanoviště je Mannheim, odtud dodává JMA do celého světa. Od roku 2001 je největší český výrobce armatur JMA dceřinou společností. JMA. I zde stojí vysoce kvalitní výrobky a inženýrské výkony v popředí. [14]

#### 5.1.1 Historie

##### 1881

Podnikatel Karel Kudrna zakládá „Strojírnu a slévárnu Karla Kudrny“. V podniku pracuje 61 slévačů 10 dělníků. Firma vyrábí roury a tvarovky.

##### 1936

Firma se stěhuje do nových prostor „Bažantnice“ v Hodoníně. V areálu působí dodnes. Zde již začíná výroba vodárenských armatur.

##### 1943

V době okupace pánové Kudrna a Hönig zakládají akciovou společnost HAK.

##### 1950

Po procesu znárodnění a přidružení místních rodinných podniků je založen nový podnik s názvem: „Jihomoravská armaturka národní podnik“. To je první kontakt veřejnosti s názvem JMA.

#### **1979**

JMA zaniká svým názvem a stává se součástí koncernu SIGMA a má jméno „SIGMA Hodonín, koncernový podnik“.

#### **1990**

Koncern Sigma zaniká, podnik působí pod názvem „SIGMA Hodonín, státní podnik“.

#### **1999**

Bopp & Reuther se stává 100% vlastníkem JMA.

#### **2001**

V rámci akciové společnosti Bopp & Reuther dochází k organizačním změnám a JMA se stává součástí VAG – Armaturen GmbH.

#### **2004**

Založení VAG Water Systems v Číně. Otevření nového výrobního závodu pro asijský trh Taicangu (Čína). V prosinci 2004 Equita získala 90% podílu skupiny VAG od společnosti IWKA, která prodala svoji technologickou divizi. Management společnosti držel zbytek, 10% akcií.

#### **2005**

EQUITA kupuje od IWKA, která je majitelem Bopp & Reuther VAG Armaturen GmbH.

#### **2006**

Otevření prvního zákaznického centra v centrále společnosti VAG v Mannheimu (Německo).

Jsou otevřeny nové haly pro výrobu nadzemních a podzemních hydrantů.

#### **2007**

Otevírá se ELC (Evropské logistické centrum).

#### **2008**

Na počátku roku 2008 holdingová společnost Halder GmbH ve spolupráci s vedením VAG Mannheim odkoupila od finanční skupiny Equita Management GmbH většinu akcií VAG-Armaturen GmbH Mannheim. Zkušení vedení společnosti VAG Mannheim zvýšilo v rámci této transakce svůj podíl ve firmě. VAG Mannheim plánuje v nejbližších letech společně se společností Halder rozšíření svých mezinárodních aktivit včetně nových investic jak v Mannheimu, tak i ve svých světových pobočkách.

Investiční společnost HALDER group kupuje od EQUITA VAG Armaturen GmbH.

## **2009**

Otevření nového montážního závodu pro indický trh v Secunderabadu, Indie (VAG-Valves India). Otevření druhého zákaznického centra v Taicangu, Čína (VAG Vater Systems).

[14]

## 6 SPECIFIKACE POUŽITÝCH VÝROBKŮ

Pro analýzu byly vybrány výrobky Těleso BETA uzavírací šoupátko F5 DN100, EKN Disk DN 400 a těleso EKN uzavírací klapka DN600. Byly vybrány z důvodu nejčastějšího výskytu vad smaltovaného povrchu. A z důvodu popsání technologického postupu a jeho dodržování podle předepsaných technologických návodek.

### 6.1 Těleso BETA uzavírací šoupátko F5 DN 100 PN 25

Výroba v Jihomoravské Armaturce s.r.o. Hodonín

Technologie formování – 2S1 Dva modely na modelové desce – strojní formování

Velikost formovacího rámu – Spodek 850x700x330mm Vrch 850x700x330mm

Hmotnost odlitku – 19,5 kg, 28,5 kg včetně vtokové soustavy

Materiál – GGG 40 – Tvárná litina JS 1030

Formovací směs – jednotná – Bentonit

Jádrová směs – CT směs s pojivem Carbophen

Povrstvení jádra – Lihografitový nátěr

Hmotnost jádra – 9,3 Kg

Určení – pro trvalý styk s pitnou a surovou vodou při dovolené pracovní teplotě do 50°C. Dovolенý pracovní přetlak max. 2,5 MPa.

Použití – Obousměrná uzavírací armatura. Při pracovním přetlaku do 2,5 MPa je dovolená průtočná rychlost max. 4m/s.

Ovládání – Šoupátkovým klíčem, ručním kolem, řetězovým pohonem, nebo pomocí zemní soupravy. Uzávěr zavírá, otáčíme-li ovládacím koncem doprava.

### 6.2 EKN Disk DN 400

Výroba v Jihomoravské Armaturce s.r.o. Hodonín

Technologie formování – jeden volný model pro ruční formování

Velikost formovacího rámu – spodek 850x700x330mm Vrch 850x700x330mm

Hmotnost odlitku – 16,5 kg, 26,7 kg včetně vtoku

Materiál – GGG 40 Tvárná litina JS 1030

Formovací směs – Jednotná Bentonit ve spodku opatřena postříkem pro odstranění povrchových vad

Jádrová směs – CT

Povrstvení jádra – Lihografitový nátěr

Hmotnost jádra – 1,6 Kg ( 2 jádra pro jeden odlitek )

Určení – pro trvalý styk s pitnou a surovou vodou, pro vodu, odpadní vodu a neagresivní tekutiny. Dovolena pracovní teplota do 50 °C.

Použití – Obousměrná uzavírací armatura.

Ovládání – Pomocí šnekového převodu. Ruční kolo je zaměnitelné za řetězový pohon. Použití VA-TELESKOP zemní soupravy teleskopické je podmíněno výměnou víka převodu. Dovybavení elektrickým servomotorem na požádání. Uzávěr zavírá, otáčíme-li ovládacím koncem doprava. Místní ukazatel polohy uzávěru je na víku převodu.

### **6.3 Těleso EKN uzavírací klapka DN 600**

Nevyrábí se v JMA s.r.o. Hodonín, vyrábí se v Turecku – není známa výroba

Materiál – GGG 40 Tvárná litina JS 1030

Popis – uzavírací přírubová klapka s excentricky 2x uloženým talířem. Ovládání samosvorným převodem s nastavitelnými koncovými dorazy s mechanickým ukazatelem otevření, převod nevyžaduje údržbu a je vodotěsný do 0,03 MPa.

Určení – pro trvalý styk s pitnou a surovou vodou, pro vodu, odpadní vodu a neagresivní tekutiny. Dovolena pracovní teplota do 50 °C.

Použití – Obousměrná uzavírací armatura.

Ovládání – Pomocí šnekového převodu. Ruční kolo je zaměnitelné za řetězový pohon. Použití VA-TELESKOP zemní soupravy teleskopické je podmíněno výměnou víka převodu. Dovybavení elektrickým servomotorem na požádání. Uzávěr zavírá, otáčíme-li ovládacím koncem doprava. Místní ukazatel polohy uzávěru je na víku převodu.



## 7 PROCES POVRSTVOVÁNÍ VÝROBKŮ SMALTOVÁNÍM

### 7.1 Žihání

Žihání se provádí pro odstranění nežádoucích účinků vnitřního pnutí v materiálu.

Žihání těles probíhá v žihací peci podle předepsaných teplot a časů v (Tab. 4).



Obr. 15. Těleso EKN uzavírací klapka DN600 po žihání.

Tab. 4. Žihací teploty a časy jednotlivých těles

Žihací programy						
Dílce	Teplotní zóny [°C]				Čas [min]	Program
	1	2	3	4		
Beta 200 DN 100	860	860	860	860	35	00
Těleso EKN DN 500	860	860	860	860	60	01
Talíř EKN disk 300	860	860	860	860	60	01

## 7.2 Tryskání

Tryskání provádíme před finální povrchovou úpravou smaltováním.

### Posuzované výrobky tryskáme na závěsném metacím tryskači TMZ – 12.25

Tryskací materiál – směs ocelové ostrohranné drti o rozměru G 25 v poměru:

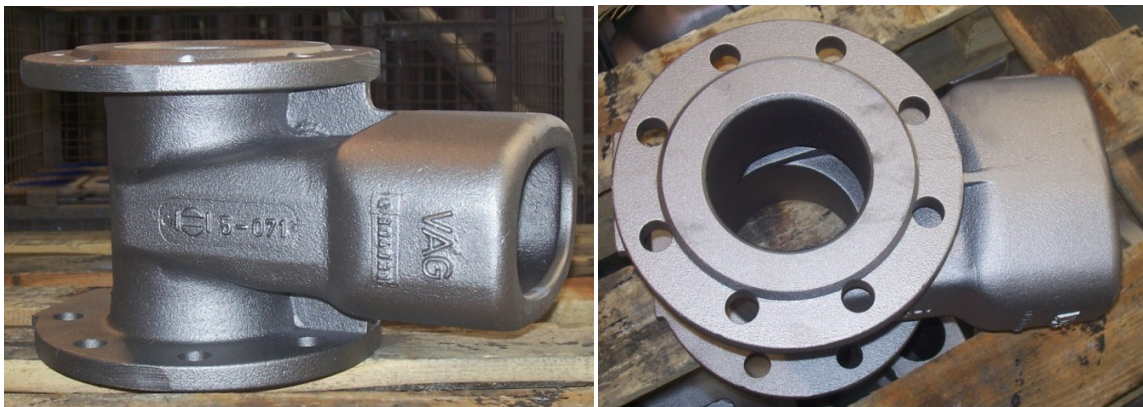
25% drti o tvrdosti GH

75% drti o tvrdosti GL

Postup práce při tryskání dle návodky výrobce:

- Před zahájením práce na začátku směny zapojit tlakový vzduch a zapnout hlavní vypínač.
- Zajistit zavěšený závěs ve fixačním zařízení proti zhrounutí.
- Postupně, rovnoměrně po obvodu, aby nedošlo k jednostrannému přetížení závěsu, navěsit
- Dílce navěsit tak, aby se vzájemně nedotýkali (což by mělo vliv na kvalitu předpovrchové úpravy z důvodu nedostatečného otryskání překrývajících se ploch dílců).
- Při navěšování provést vizuální kontrolu povrchu dílců dle návodky č. 657 - podmínky pro třídění odlitků, nevyhovující nenavěšovat ale uložit odděleně, pro opravu tmelem Permabond GUSSOLIT otryskat a uložit odděleně od dobrých odlitků.

### Těleso BETA uzavírací šoupátko F5 DN100 PN225



Obr. 16. Otryskané těleso BETA uzavírací šoupátko F5 DN 100 PN25

### EKN Disk DN 400



Obr. 17. Otryskaný EKN disk DN 400

### Těleso EKN uzavírací klapka DN 600

Tryská se 38 minut. Při tryskání se musí otočit o 180°C, aby se otryskalo i z druhé strany.



Obr. 18. Otryskané těleso EKN uzavírací klapka DN 600

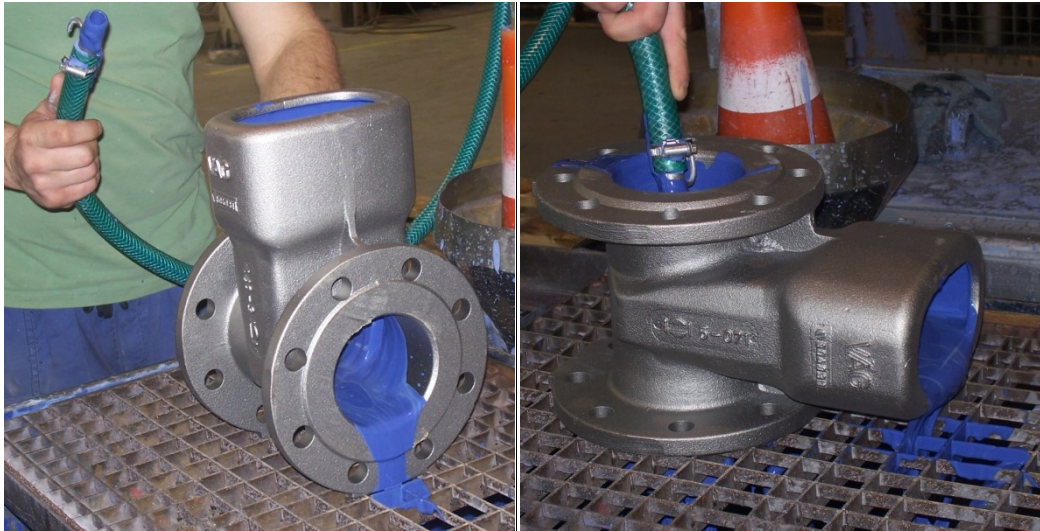
## 7.3 Postup smaltování jednotlivých výrobků

### 7.3.1 Smaltování Tělesa BETA uzavírací šoupátko F5 DN 100 PN225

1. Před vyléváním tělesa Beta smalem se nejprve musí změřit tloušťka smaltu. A to tak, že se musí zkontrolovat hmotnost nátěru. K tomu je zkušební plech (100 x 100mm, ušlechtilá ocel) na váze nastaven na 0. Následně se zkušební plech do smaltovací směsi rovnoměrnou rychlostí plynule ponoří a zase vytáhne a nechá odkapat. Pro zjištění množství ulpěného na povrchu se plech odváží. Předepsaná hodnota: **14 – 18 gramů** (to odpovídá tloušťce vrstvy ca. 200 – 250  $\mu\text{m}$ ). Následně se zkušební plech očistí od směsi vodou. Smaltovací směs v nanášecí nádrži během výrobní zakázky minimálně jednou za hodinu promíchat.



2. Po odvážení bylo zjištěno, že hmotnost 15 g odpovídá danému rozmezí 14 – 18 g a to odpovídá tloušťce vrstvy smaltu cca 200 – 250  $\mu\text{m}$ . To znamená, že připravený smaltu může být použit.
3. Dále následovalo vylévání vnitřních ploch, kdy se těleso muselo několikrát otočit, aby smalt zatekl do všech míst (Obr. 19).



*Obr. 19. Vyléváním tělesa smaltem*

4. Po první nanesení smaltu bylo těleso zavěšeno na hák do stříkací komory, kde byl použit tentýž smalt na vystříkání stejných ploch jako u vylévání (Obr. 20).



*Obr. 20. Stříkáním tělesa smaltem*

5. Plochy, kde nesmí zasahovat smalt, musely být očištěny (Obr. 21).



*Obr. 21. Čištění ploch od smaltu*

6. Po nástřiku bylo těleso uloženo na rošt a nechalo se schnout 24 hodin.
7. Po vysušení následovalo vypálení smaltu viz. (Tab. 5) s vypalovacími teplotami a časy.

### **7.3.2 Smaltování EKN disku DN 400**

1. Připravené těleso ke smaltování (vyžíhané, otryskané) bylo zavěšeno na hák ve stříkací komoře, kde byl stříkací pistolí nanesen smalt z obou stran (Obr. 22).



*Obr. 22. Nástřik smaltu na disk DN 400*

2. Po nastříkání smaltu na těleso byly přidělaný k tělesu ze spodu podpěry, aby při pokládání nedošlo k poškození nástřiku smaltu (Obr. 23).



*Obr. 23. Montáž podpěr na čerstvě smaltované těleso, aby se při pokládání tělesa zabránilo poškození nástřiku smaltu*

3. Po odložení disku na rošt bylo nutné očistit otvory pro čepy od nastříkaného smaltu.
4. Následovalo sušení 24 hodin.
5. Po vysušení následovalo vypálení smaltu dle teplot a časů uvedených v (Tab. 5).

### **7.3.3 Smaltování Tělesa EKN uzavírací klapky DN 600**

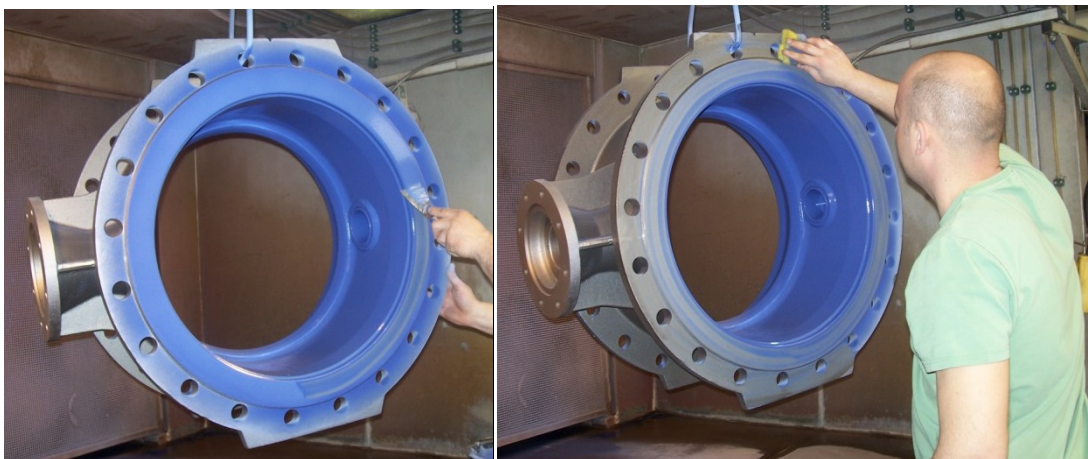
1. Těleso připravené ke smaltování (vyžíhané a otryskané) bylo zavěšeno na hák do stříkací komory, kde se vnitřní plochy nástříkaly připraveným smaltem (Obr. 24).



*Obr. 24. Nástřik smaltu na těleso EKN uzavírací klapky DN 600*

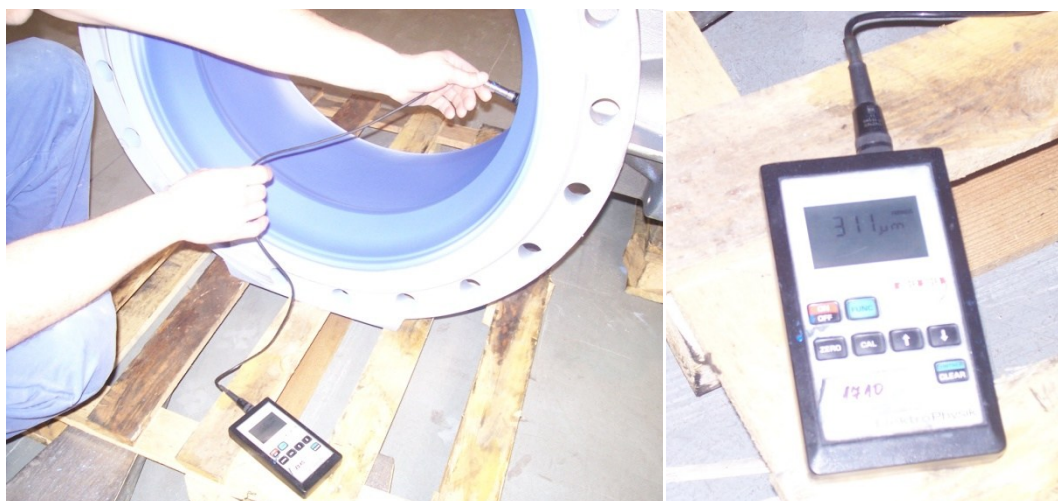


2. Po nástřiku smaltu se musely opět očistit plochy zasažené smaltem, které neměly být stříkány. Čištění bylo prováděno pomocí špachtle a houby namočené ve vodě (Obr. 25). Při čištění hrozí nebezpečí, že z mokré houby odkápne voda na nastříkaný smalt, a tím by došlo k místnímu naředění smaltu, čímž by došlo k zeslabení vrstvy a po vypálení vznikla vada v podobě černé skvrny.



*Obr. 25. Čištění nesmaltovaných ploch zasažených smaltem při stříkání*

3. Po očištění ploch bylo těleso uloženo na paletu a nechalo se 10 minut schnout, aby se mohla změřit tloušťka smaltu na funkčních plochách (těsnící plochy), která nesmí překročit  $400\ \mu\text{m}$  (Obr. 26). Při naměření tloušťky  $800 - 1000\ \mu\text{m}$  by mohlo nastat trhání a praskání smaltu. V každém změřeném místě se nám tloušťka pohybovala ve vyhovujícím rozmezí.



*Obr. 26. Měření tloušťky smaltu před vypálením na funkčních plochách tělesa*

4. Jakmile byla tloušťka změřena, bylo necháno povrstvené těleso schnout 24 hodin.

5. Po vysušení následovalo vypálení smaltu dle (Tab. 5) s vypalovacími teplotami a časy.

Tab. 5. Vypalovací teploty a časy pro jednotlivá tělesa

Vypalovací programy						
Dílce	Teplotní zóny [°C]				Čas [min]	Program
	1	2	3	4		
Beta 200 DN 100	720	720	720	720	50	06
Těleso EKN DN 500	705	705	705	705	70	08
Talíř EKN disk 300	705	705	705	705	65	10

### 7.3.4 Druh použitého smaltu a jeho příprava

Použitý smalt: GG3394/SB RM22 (modrý)

Postup: Smalt se připravuje smícháním vody a smaltového prášku GG3394/SB RM22. K zamíchání slouží vrtačka spolu s míchacím nástavcem. Takto připravená směs je připravená k nástřiku. Do smaltu pro stříkání klapky DN 400 a tělesa EKN DN 600 se přidává močovina. Pro těleso Beta DN 200 se močovina nepřidává.



Obr. 27. Příprava smaltu



## 7.4 Použité zařízení a přístroje

Tato kapitola popisuje stroje, zařízení a měřicí přístroje, které byly použity.

### 7.4.1 Žihací a vypalovací pec

Žihací a vypalovací pec EISENMANN je zařízení sloužící k žihání litinových výrobků a po nastříkání povrchu smaltem slouží jako vypalovací pec.



Obr. 28. Žihací a vypalovací pec

#### Technické parametry

Rok výroby: 1990

Průměrná teplota procesu: 840°C

Maximální tepelný výkon: 320 kW

Propustnost plynu: 36 m<sup>3</sup>/h

Topné médium: plyn H

Typ hořáku: Rekumat SJ Gr. 1

Rekumat SJ Gr. 2

Max. spalovacího vzduchu: 360 m<sup>3</sup>/h

Výkon motoru spalovacího vzduchu: 4kW

Maximální hmotnost plynu: 1090 m<sup>3</sup>/h

Střední teplota: 480°C

Využitelná plocha: 1,9 m<sup>3</sup>

Celková plocha: 8,3 m<sup>3</sup>

#### 7.4.2 Tryskací komora

Tryskací komora KONDRAD RUMP Oberlächentechnik GmbH & Co.KG D33154 SALZKOTTEN je určena k otryskání litinových výrobků po žíhání nebo k otryskání vadných již povrstvených výrobků smalem.



Obr. 29. Tryskací komora

#### Technické parametry

Typ: 13 E/I

Stroje Nr. : 913 21022

Provozní napětí: 400 V 50 Hz

Řídící napětí: 24 V

Spotřeba elektrické energie: 55kW

Rok výroby: 1998

#### 7.4.3 Stříkací pistole

Stříkací pistole HS – 25 pro nástřiku smaltu na litinové výrobky.



Obr. 30. Stříkací pistole

### Technické parametry

S159397

Provozní tlak: 6 Bar

#### 7.4.4 Přístroj na měření tloušťky vrstvy smaltu před vypálením

Přístroj na měření tloušťky MINITEST 1100 Mikroprocesor Coating Thickness Gauge měří tloušťku smaltu v mikrometrech.



Obr. 31. Přístroj na měření tloušťky  
MINITEST 1100

### 7.4.5 Zařízení na měření porezity DIN EN ISO 8289

Zařízení na měření porezity hledá vady smaltu skrz testování nízkým napětím. Volitelný dělič napětí nebo tři v sérii zapojené baterie.



Obr. 32. Zařízení na měření porezity

#### Technické parametry

Napětí: 24 V ± 4V

Zařízení obsahuje:

- Dvě elektrody
- Kuchyňské ubrousky o ploše 20x25 cm = 0,05 m<sup>2</sup>
- Zkušební kapalinu, která obsahuje 3% NaNO<sub>2</sub>, 50ml destilované vody, 2 ml Fenolftalein, zfiltrovat

## 7.5 Kontrola kvality smaltovaných výrobků po vypálení

Po vypálení smaltu na výrobcích Tělesa BETA uzavírací šoupátko F5 DN 100 PN225, EKN Disku DN 400 a tělese EKN uzavírací klapky DN600 byla provedena vizuální kontrola a kontrola porezity.

### 7.5.1 Vizuální kontrola

Vizuální kontrolou byly zjištěny a hodnoceny vady povrchů výrobků pouhým okem. Na základě vizuální kontroly byl dále navržen postup dalšího řešení, nebo technického opatření.

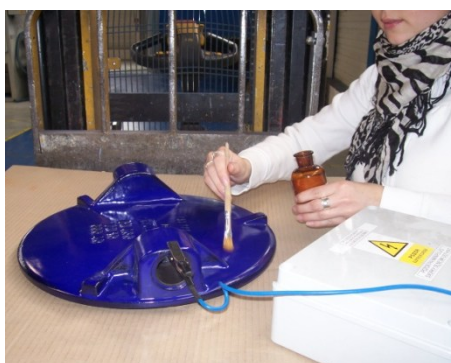
Při hodnocení „vzhledu“ povrstveného povrchu bylo kontrolováno zejména:

- Rovnoměrnost nanesení smaltu na všechny plochy
- Celistvost

- Překrytí hran
- Vyloučení vad jakou jsou trhliny, puchýře, praskání, odlupování, porezita
- Zanesení nečistot do zaschlého nátěru
- Jednotný barevný odstín

### 7.5.2 Zkouška porezity DIN EN ISO 8289 metoda B

Při zkoušce se postupovalo tak, že na místa naznačující porezitu byla potřena dostatečným množstvím roztoku (Obr. 33).



*Obr. 33. Navlhčení smaltovaného povrchu tělesa po vypálení zkušební kapalinou*

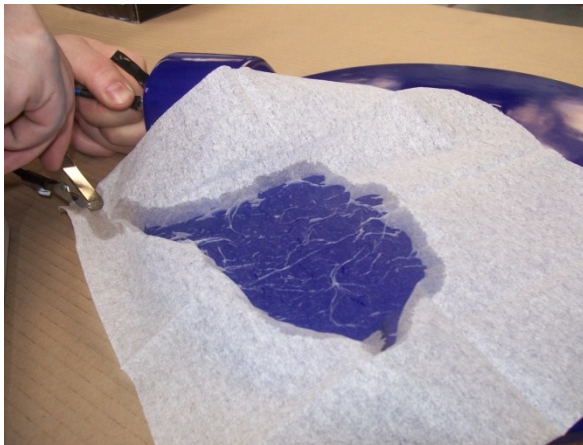
Následně byl položen kuchyňský ubrousek na navlhčenou plochu a stejným způsobem za pomoci malířského štětečku byl navlhčen ubrousek tak, aby jediné jeho místo dotýkající se plochy nebylo suché (Obr. 34)



*Obr. 34. Položení a navlhčení kuchyňského ubrousku na zkoušející plochu*



Taktéž se muselo navlhčit i místo na ubrousku nedotýkající se plochy výrobku protože byla na něj připnuta jedna elektroda a druhá byla připnuta na kovovou část výrobku (Obr. 35).



*Obr. 35. Připnutí elektrod na navlhčený ubrousek a těleso*

Zdroj energie byl zapnut spínačem na polohu zapnuto na dvě minuty. V rámci jedné minuty po vypnutí se počítají vady. Každá chyba způsobená zkušebními elektrodami je viditelně červeně potřísněna tečkami.

## **7.6 Vyhodnocení procesu smaltování**

### **7.6.1 Vyhodnocení povrstvení smaltem Tělesa BETA uzavírací šoupátko DN100**

#### Výsledek:

Po vypálení smaltu na povrchu tělesa Beta následovala vizuální kontrola, při které bylo zjištěno, že na tělese se nenachází žádná vzhledová vada a plochy jsou dokonale hladké bez jakýchkoliv poréznych viditelných vad (Obr. 36). Jelikož bylo těleso shledáno bez jakýchkoliv viditelných vad, není třeba provádět na tělese zkoušku porezity a těleso může být posláno k dalšímu technologickému postupu.



Obr. 36. Vypálený smalt na tělese BETA 200 DN 100

### 7.6.2 Vyhodnocení povrstvení smaltem EKN disk DN400

#### Výsledek:

Po vypálení smaltu na povrchu EKN disku DN 400 následovala vizuální kontrola, při které bylo zjištěno, že na zaoblených okrajích talíře jsou viditelné černé skvrny, které by mohly ohrozit funkci výrobku. Černé skvrny jsou spálená místa, která vznikla při vypálení smaltu a jsou způsobena malou vrstvou nástřiku smaltu. Dále byla na povrchu zjištěna vzhledová vada, která mohla znamenat porézní povrch. A proto byla provedena zkouška porezity. Po provedení zkoušky porezity nebyly zjištěny žádné porézní vady. I tak musel být výrobek vyřazen jako zmetek kvůli spáleným místům.



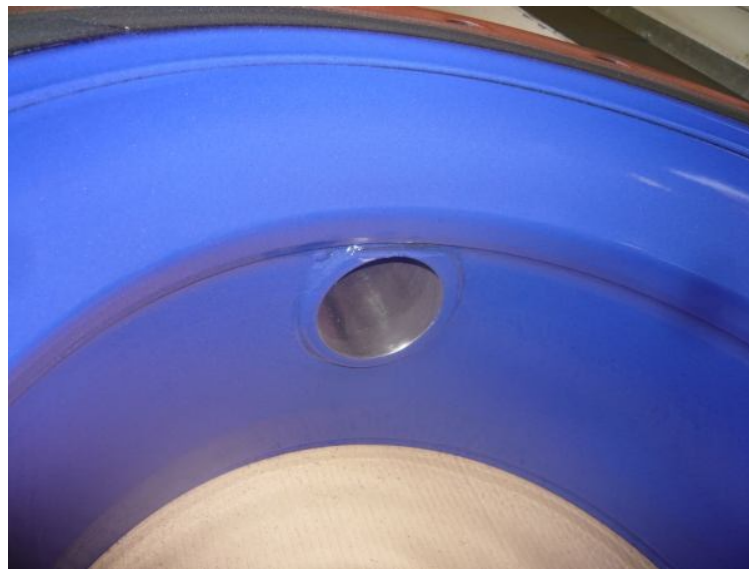
Obr. 37. Vypálený smalt na tělese EKN disk DN 400

### 7.6.3 Vyhodnocení povrstvení smaltem Tělesa EKN uzavírací klapky DN600

#### Výsledek:

EKN klapka byla povrstvená dobře po visuální stránce, ale bohužel na těsnící ploše, což je vystouplá plocha uvnitř klapky, bylo povrstvení větší, než je povolená maximální hranice pro správnou funkci a montáž EKN klapky. Tato max. hranice je stanovena na 400  $\mu\text{m}$ , naměřeno bylo až 560  $\mu\text{m}$ . Z tohoto důvodu je klapka neakceptovatelná a musela být znovu povrstvena.





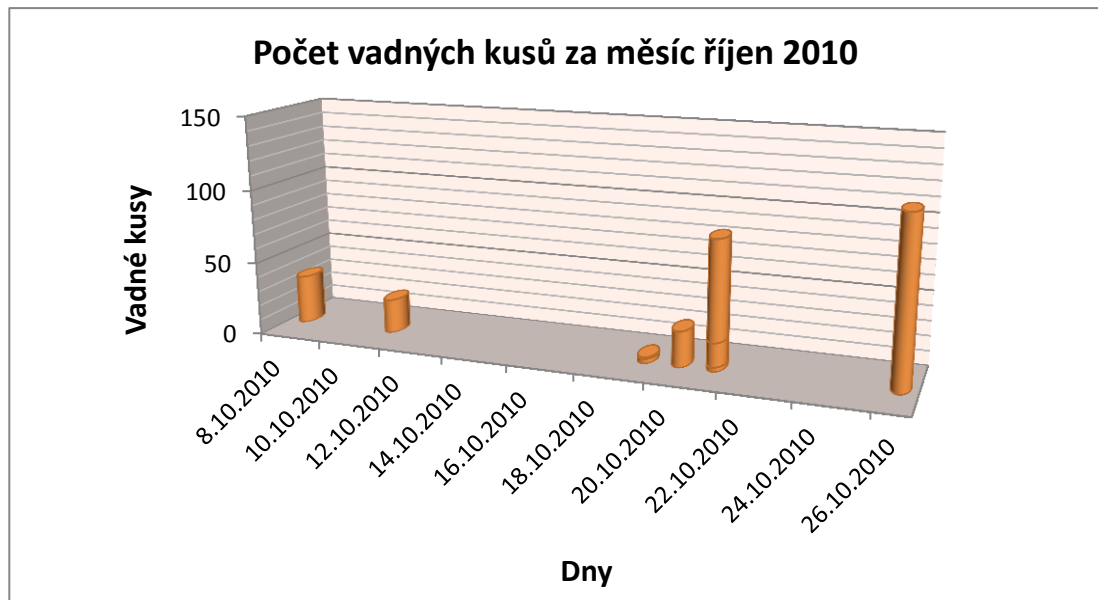
*Obr. 38. Vypálený smalt na Tělese EKN DN 600*

#### **7.6.4 Vyhodnocení zmetkovitosti výrobků**

K vyhodnocení zmetkovitosti byly použity záznamy za období od října 2010 do dubna 2011, které byly zaznamenány při kontrole kvality povrchu smaltovaných výrobků. Pro každý měsíc byla vytvořena tabulka s celkovým počtem vyrobených kusů, z toho dobré kusy a vadné pro jednotlivé dny, v kterých probíhala kontrola kvality výrobků.

Tab. 6. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc říjen v roce 2010

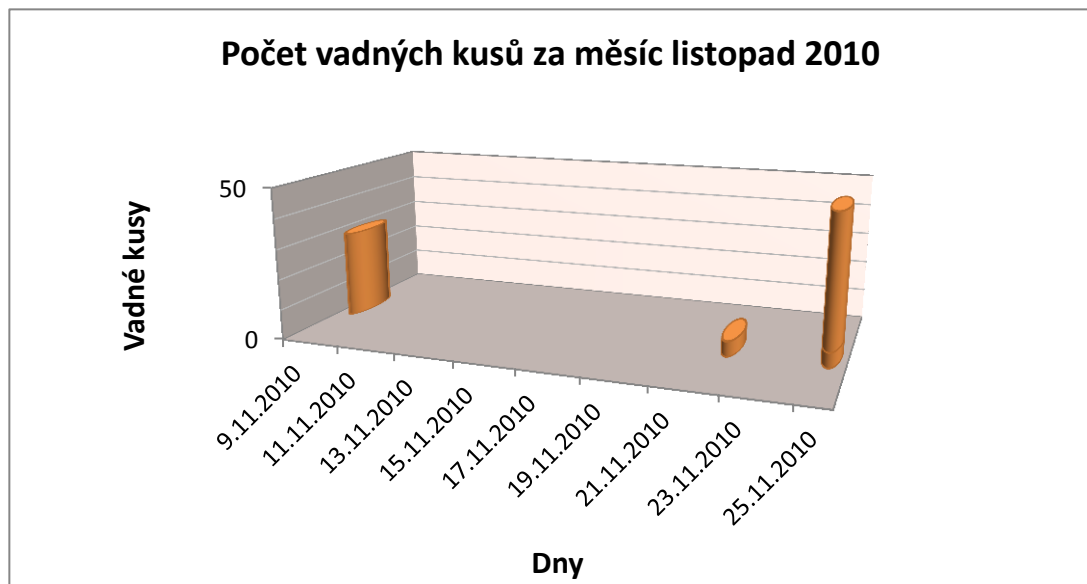
Říjen 2010			
Dny	Celkový počet kusů	Dobré kusy	Vadné kusy
8.10.2010	64	31	33
11.10.2010	29	6	23
19.10.2010	3	0	3
19.10.2010	4	0	4
26.10.2010	112	0	112
20.10.2010	24	0	24
21.10.2010	86	0	86
21.10.2010	19	0	19
21.10.2010	3	0	3



Obr. 39. Grafické znázornění počtu vadných kusů za říjen 2010

Tab. 7. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc listopad v roce 2010

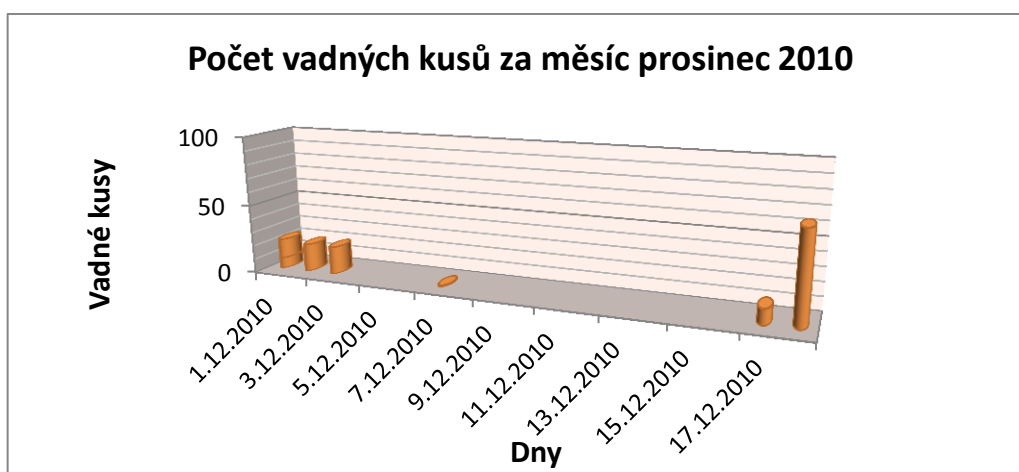
Listopad 2010			
Dny	Celkový počet kusů	Dobré kusy	Vadné kusy
9.11.2010	29	0	29
22.11.2010	5	0	5
25.11.2010	48	0	48
25.11.2010	5	0	5



Obr. 40. Grafické znázornění počtu vadných kusů za listopad 2010

Tab. 8. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc prosinec v roce 2010

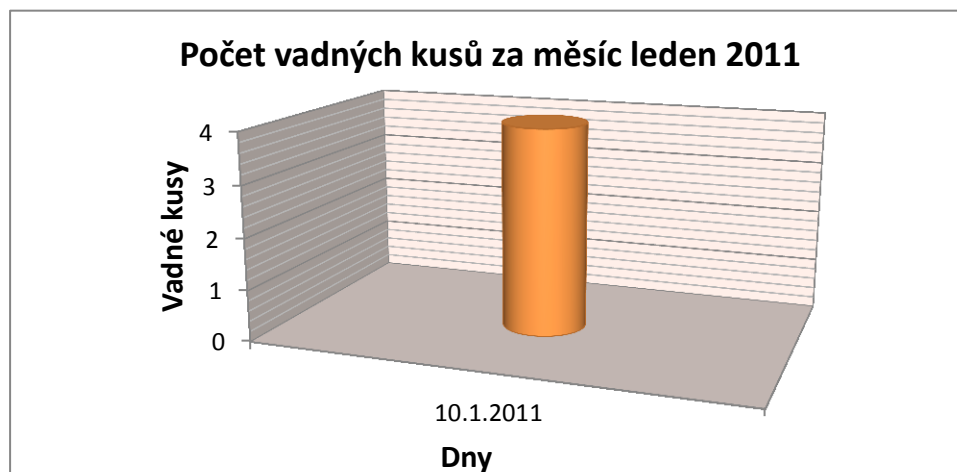
Prosinec 2010			
Dny	Celkový počet kusů	Dobré kusy	Vadné kusy
1.12.2010	22	0	22
1.12.2010	8	0	8
2.12.2010	20		20
3.12.2010	20	0	20
7.12.2010	3	2	1
17.12.2010	40	29	11
18.12.2010	64	0	64



Obr. 41. Grafické znázornění počtu vadných kusů za prosinec 2010

Tab. 9. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc leden v roce 2011

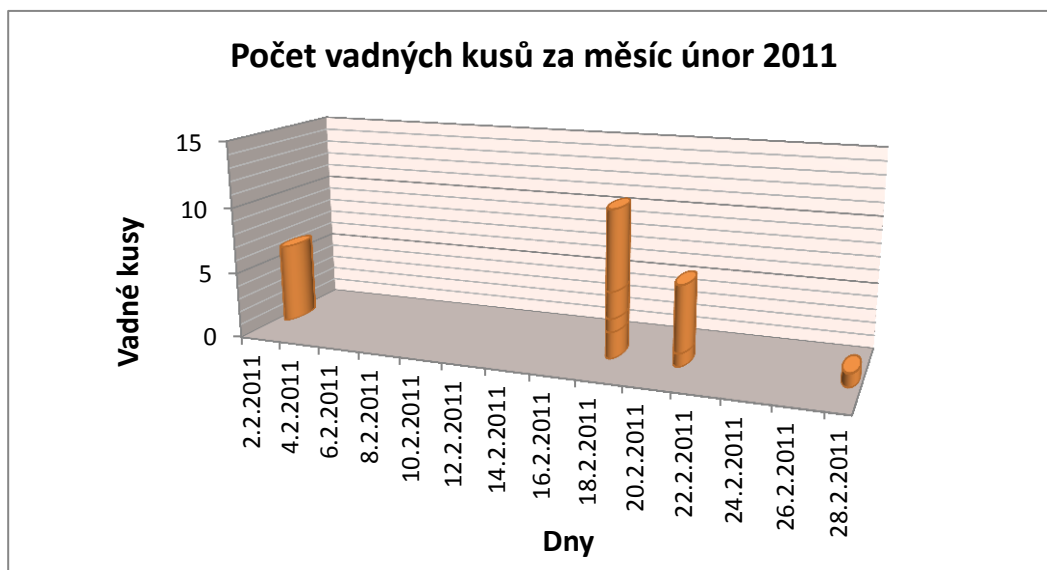
Leden 2011			
Dny	Celkový počet kusů	Dobré kusy	Vadné kusy
10.1.2011	4	0	4



Obr. 42. Grafické znázornění počtu vadných kusů za leden 2011

Tab. 10. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc únor v roce 2011

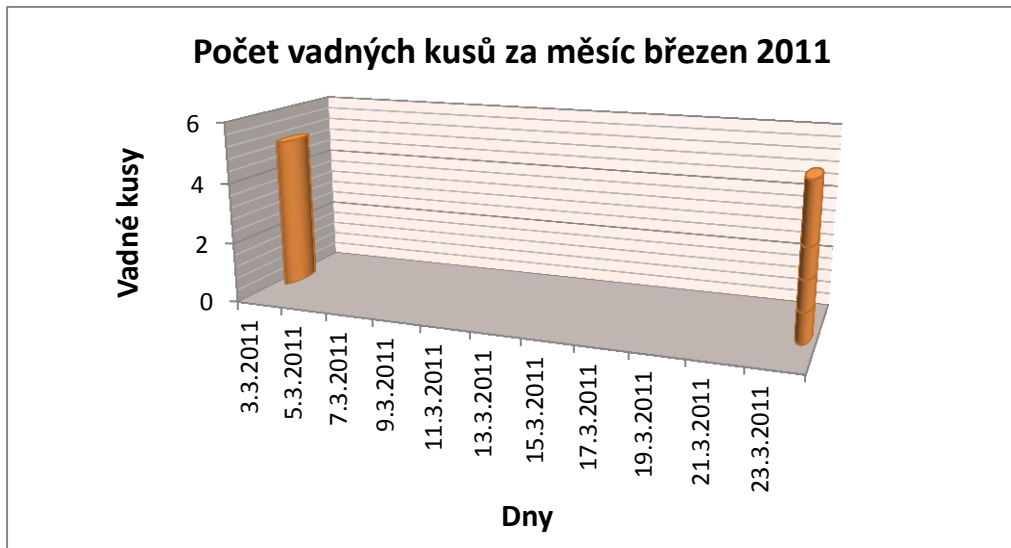
<b>Únor 2011</b>			
<b>Dny</b>	<b>Celkový počet kusů</b>	<b>Dobré kusy</b>	<b>Vadné kusy</b>
2.2.2011	11	5	6
18.2.2011	3	0	3
18.2.2011	11	0	11
18.2.2011	2	0	2
18.2.2011	5	0	5
21.2.2011	6	0	6
21.2.2011	1	0	1
28.2.2011	5	4	1



Obr. 43. Grafické znázornění počtu vadných kusů za únor 2011

Tab. 11. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc březen v roce 2011

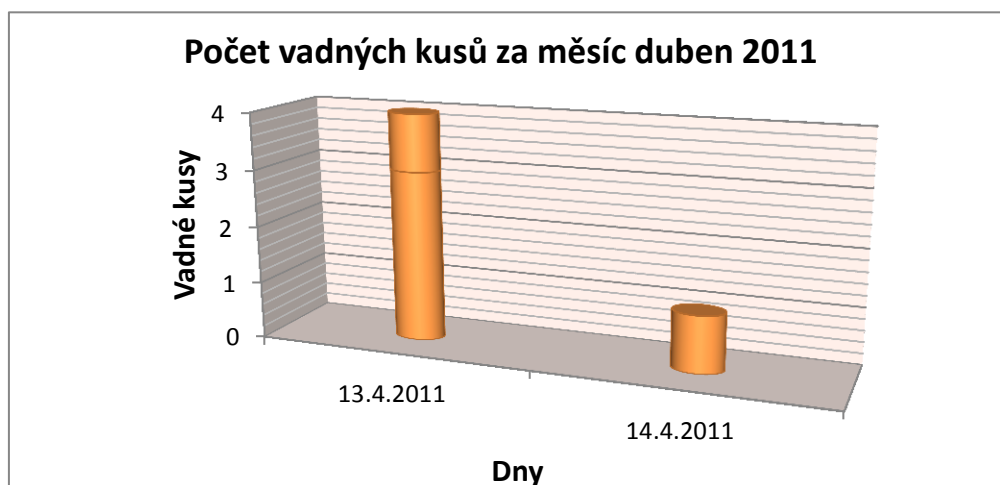
<b>Březen 2011</b>			
Dny	Celkový počet kusů	Dobré kusy	Vadné kusy
3.3.2011	5	0	5
24.3.2011	2	0	2
24.3.2011	5	0	5
24.3.2011	3	0	3
24.3.2011	1	0	1
24.3.2011	2	0	2



Obr. 44. Grafické znázornění počtu vadných kusů za březen 2011

Tab. 12. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc duben v roce 2011

Duben 2011			
Dny	Celkový počet kusů	Dobré kusy	Vadné kusy
13.4.2011	4	0	4
13.4.2011	4	1	3
14.4.2011	3	2	1

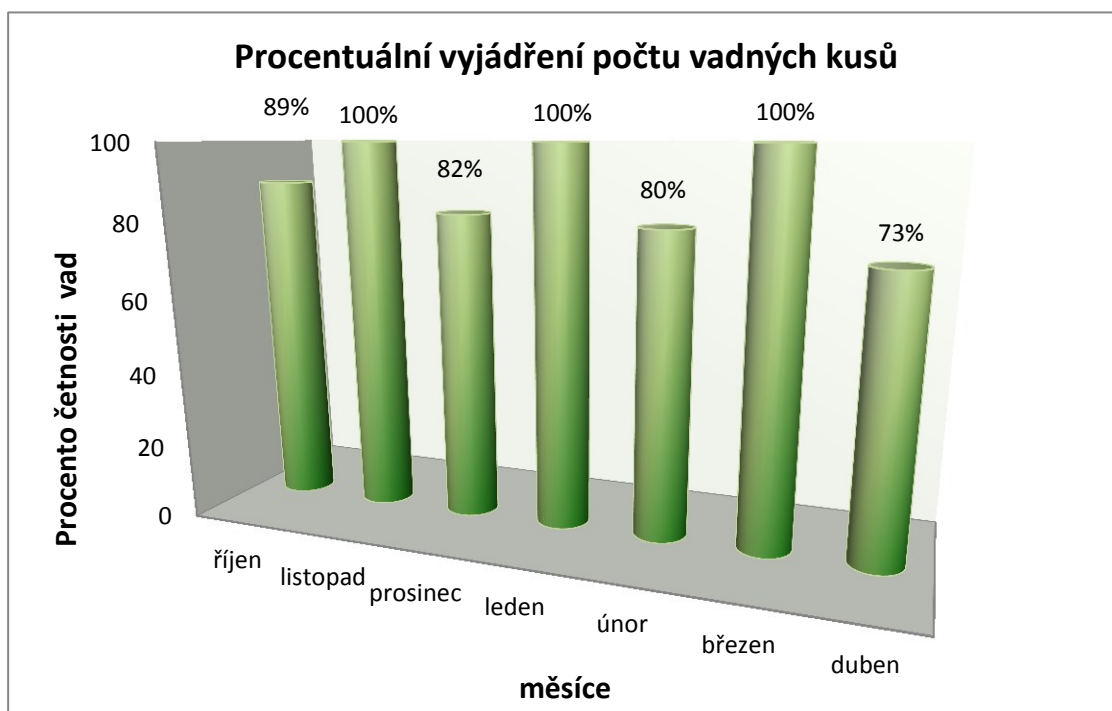


Obr. 45. Grafické znázornění počtu vadných kusů za duben 2011

Cílem vyhodnocování počtu vadných kusů v jednotlivých měsících bylo zjistit i přes nepravidelnost jednotlivých kontrol, ve kterém období jednotlivých měsíců byly počty vadných kusů nejvyšší. Z výše uvedených tabulek a grafů vyplývá, že v prvních třech měsících tj. říjen, listopad a prosinec vychází největší počet vadných kusů vždy na konec měsíce. V následujících měsících se tento trend již neprojevuje. To znamená, že v tomto období nebyla zjištěna žádná souvislost ve výskytu počtu vadných kusů.

Tab. 13. Počty vyrobených kusů v posuzovaném období

měsíc	celkem vyrobených kusů	Dobré kusy	Vadné kusy	Dobré kusy [%]	Vadné kusy [%]
říjen	344	37	307	11	89
listopad	87	0	87	0	100
prosinec	177	31	146	18	82
leden	4	0	4	0	100
únor	44	9	35	20	80
březen	18	0	18	0	100
duben	11	3	8	27	73



Obr. 46. Procentuální vyjádření počtu vadných kusů v posuzovaném období

Z (Obr. 46) vyplývá, že v měsících listopadu, lednu a březnu byly všechny vyrobené díly vadné. Nejnižší počet vadných kusů byl v měsíci dubnu.

Z těchto údajů můžeme vyloučit vliv ročních období na počty vadných kusů.



### 7.6.5 Porovnání technologického postupu s teorií

Při porovnání předepsaných technologických postupů a návodů pro smaltování výrobků v Jihomoravské Armaturce s výše popsanou teorií bylo zjištěno několik rozdílných údajů.

První zjištěný rozdíl mezi údaji v návodce a v teorii je, že vypalovací teplota smaltu předepsaná v technologickém postupu je 705°C oproti teoretické hodnotě 800 – 890°C. Dále nejsou v návodkách uvedeny doby chladnutí po žhání, což brání porovnání technologického postupu s teorií. U technologické návodky postupu tryskání nejsou přehledně nebo vůbec zaznamenány ani rámcově časy tryskání jednotlivých těles ani v závislosti na druhu tryskacího abraziva (recyklované vs. nové). Tyto faktory se mohou zdát ne příliš důležitými příčinami nekvalitního povrchu, ale mohou mít určitý nepříznivý vliv na výslednou kvalitu povrchu.

Vlivem těchto nepřesně definovaných či neúplných předepsaných postupů a návodů může snadno docházet k obtížnému odhalování příčiny vad povrchu smaltovaných výrobků.

## 8 ANALÝZA PROBLÉMU – BRAINSTORMING

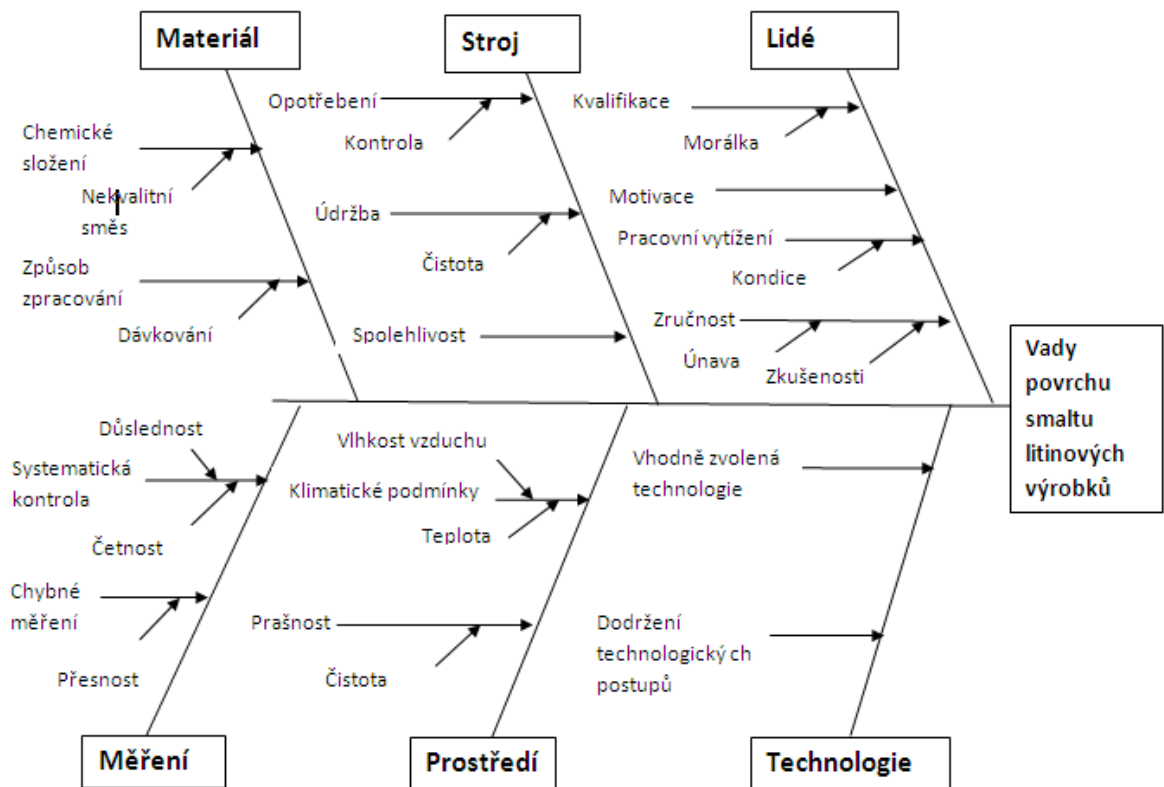
Je kladen důraz na neustálém zlepšování systémů jakosti a na vhodné metody zlepšování. Byla zvolena metoda týmové práce Brainstorming (metoda hledání řešení skupinovou diskuzí), při které se členové skupiny při produkci nápadů vzájemně ovlivňují a za předpokladu pro projevení efektu skupinové spolupráce. Jedná se o metodu, která podporuje kreativitu, uvolňuje napětí, vytváří neformální atmosféru. Brainstorming přináší nové nápady, možnosti, řešení a nové pohledy.

Byl ustaven tým pracovníků, kterým jsem byla členem pro řešení problému, který nevrhá dobré světlo na jméno firmy. Tímto problémem je poměrně častý výskyt vad na povrchu smaltovaných výrobků. Ten má za následek opakovaný proces smaltování, což má vliv na nepříznivé ekonomické hledisko výroby a na pochybnosti zákazníků o kvalitách výrobků. Cílem bylo snížit počet vad na smaltovaném povrchu výrobků. Pro tento problém bylo hledáno řešení nebo témata, která se probírala a pro něž byly dávány dohromady potřebné informace a dostupná data. Výstupem byl vypracovaný formou grafického znázornění Ishikawův diagram, kde byly analyzovány zásadní faktory (příčiny), které způsobují řešený problém (následek). Po uzavření etapy určování příčin byla zhodnocena závažnost jednotlivých příčin formou bodového hodnocení s využitím Paretova diagramu, který posloužil k určení jednotlivých příčin a dále postupovat při jejím odstraňování.

### 8.1 Ishikawův diagram

Ishikawa diagram je diagram příčin a následků, jehož cílem je nalezení nejpravděpodobnější příčiny řešeného problému. Někdy je nazýván jako diagram rybí kosti (Fishbone) pro jeho vzhled. V oboru „kvalita“ je hodně využíván právě tento diagram. Princip vychází ze základního zákona – každý následek (problém) má svou příčinu nebo kombinaci příčin.

Pomocí Ishikawova diagramu bylo rozhodnuto analyzovat situaci, kdy jsou zjištěny vady na povrchu smaltovaných výrobků. Pomocí Ishikawova diagramu byly hledány příčiny, kterými jsou: lidé, stroj, materiál, technologie, prostředí, měření.



Obr. 47. Rozbor – Ishikawův diagram

Z diagramu je patrné, které hlavní úseky výroby jsou zodpovědné za vady na posuzovaných smaltovaných výrobcích.

## 8.2 Paretova analýza

Paretova analýza je založena na vztahu mezi příčinami a jejich následky. Analýze se také říká pravidlo 80/20. Znamená to, že 20% příčin vyřeší až 80% ztrát. Paretovu analýzu definoval italský ekonom Vilfredo Pareto. V roce 1897 přišel na to, že 80% bohatství země je v rukou 20% lidí.

V praxi potom bývá snahou odhalit ono malé spektrum příčin, které tak významně ovlivňuje celkový výsledek.

Společnost sleduje počet vadných kusů. Na základě dostupné dokumentace byly zjištěny počty vadných kusů výrobků z počtu všech vyráběných kusů, a to vždy pro každý měsíc zvlášť.

### 8.2.1 Data k tvorbě Lorenzovy křivky

Data k sestavení Lorenzovy křivky jsou zaznamenány v (Tab. 15).

**Druhy jednotlivých závad**

- 1) Bubliny – A
- 2) Porezita – B
- 3) Černá místa – C
- 4) Velká tloušťka vrstvy smaltu – D
- 5) Odřený smalt - E

*Tab. 14. Záznam závad na zařízení*

Datum	Závada	Datum	Závada	Datum	Závada
8.10.2010	B	25.11.2010	A	18.2.2011	C
11.10.2010	B	1.12.2010	A	21.2.2011	A
19.10.2010	A	1.12.2010	A	21.2.2011	A
19.10.2010	A	2.12.2010	B	28.2.2011	D
20.10.2010	E	3.12.2010	B	3.3.2011	A
20.10.2010	B	7.12.2010	D	24.3.2011	A
21.10.2010	B	17.12.2010	A	24.3.2011	A
21.10.2010	B	18.12.2010	B	24.3.2011	A
21.10.2010	B	10.1.2011	C	24.3.2011	A
26.10.2010	B	2.2.2011	D	24.3.2011	A
9.11.2010	A	18.2.2011	C	13.4.2011	D
22.11.2010	C	18.2.2011	C	13.4.2011	D
25.11.2010	A	18.2.2011	C	14.4.2011	D

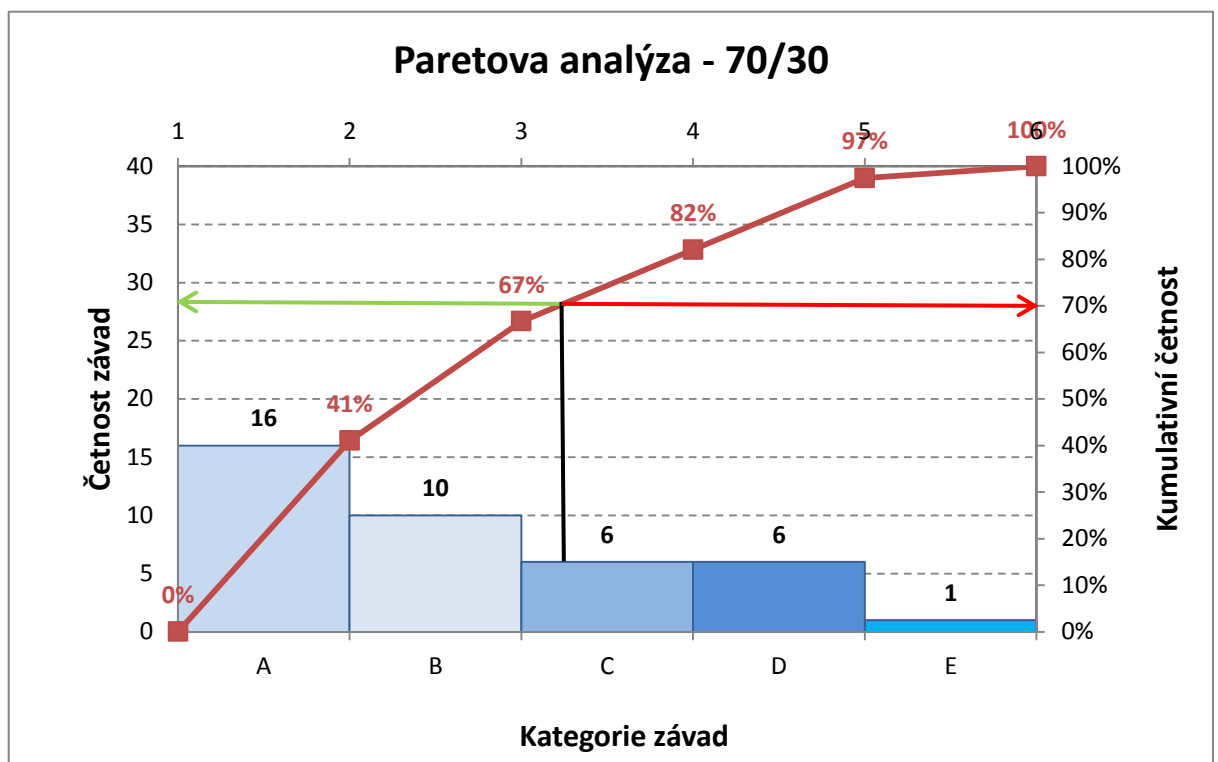
Všechny závady na daném zařízení jsou v následující tabulce.

Tab. 15. Četnosti jednotlivých závad

Závada	Četnost	Kumulativní četnost	Kumulativní četnost [%]
A	16	0,410256	41%
B	10	0,666667	67%
C	6	0,820513	82%
D	6	0,974359	100%
E	1	1	100%

Abychom mohli lépe závady analyzovat, je třeba je utřídit do tabulky.

Pomocí Paretova byl sestrojen diagram.



Obr. 48. Výsledná Paretova analýza

### 8.2.2 Popis a vyhodnocení tabulek 14., 15., diagramu a celkové Paretovy analýzy

V období od prosince 2010 do dubna 2011 byly chronologicky zaznamenávány vzniklé vady na smaltovaných a následně vypálených výrobcích (Tab. 14). Úkolem bylo tyto záva-

dy analyzovat a pomocí Paretova diagramu a Lorenzovy křivky navrhnout ty závady, jejichž odstraněním by se dosáhlo požadovaného snížení vad na povrchu smaltovaných výrobků.

Pro důkladnější analýzu byla vytvořena souhrnná tabulka, kde byly vyneseny celkové počty jednotlivých závad. Tato tabulka byla podkladem pro sestrojení diagramu.

V (Tab. 15) byly vypsány všechny druhy závad a odlišeny buňky jako to je v (Tab. 14). Do dalšího sloupce byly vypsány četnosti jednotlivých závad. Podle těchto skutečností byla tabulku seřazena sestupně. Dále byla spočítána kumulativní četnost sloužící k sestrojení Lorenzovy křivky. Kumulativní četnost byla spočítána tak, že nejvyšší skutečná závada byla vydělena součtem všech skutečných závad. Pro řádek se postupovalo tak, že výpočet byl stejný pouze s tím rozdílem, že se při sestupování dělila vždy nižší závažnost součtem všech skutečných závad a k výsledku byl přičten předcházející výsledek. Takto se postupovalo až k poslední hodnotě v tabulce.

Pro sestrojení Paretova diagramu byla z (Tab. 15) vybrána data ze sloupců Četnost a Kumulativní četnost a zpracován v sestupném pořadí sloupcový graf. Nejvyšší počet vykázala vada „Bubliny“ a v grafu se nám zobrazila jako první nejvyšší sloupec. Druhá nejvyšší četnost nám vyšla vada „Porezita“. Dále v grafu sestupovaly ostatní vady, které měly nejmenší četnost výskytu a v grafu byly znázorněny nejnižšími sloupci. Jelikož nemáme dostatek sloupečků, tak nám nemůže vyjít Paretovo pravidlo, že 20% příčin způsobuje 80% důsledků – Pravidlo 80/20. Bylo zvoleno pravidlo 70/30. Z grafu je patrné, že četnost je seřazena od nejčastěji se vyskytujících závad až po ty nejméně se vyskytující. Vynesením vodorovné čáry z hodnoty 70% následků nacházející se na vedlejší svislé ose nám protla Lorenzovu křivku a ze vzniklého průsečíku byla snesena čára svisle dolů, z níž se dostaly tři hlavní příčiny, které způsobovaly 70% všech vad. Mezi tři nejčastější vady podle grafu patří „Bubliny, Porezita a Černá místa“. Závěrem Paretovy analýzy byl návrh nápravných opatření, která byla schválena oddělením řízení jakosti.

### 8.2.3 Nápravná opatření

Z vyhodnocených výsledků navrhuji pro snížení počtu vadných kusů tato nápravná opatření:

- Častější mezioperační kontroly
- Motivovat pracovníky v rozvoji výkonnosti a efektivity
- Zlepšení komunikace mezi technologem, kontrolorem a dělníkem z odborného i praktického hlediska.
- Upřesnění technologických návodek např. definovat časy tryskání v závislosti na kvalitě tryskacího materiálu, poměry složek smaltové směsi (voda, prášek, močovina).
- Navrhuji důsledné dodržování technologických návodek a kontrolu dodržování postupů: doba schnutí nevypáleného smaltu.
- Návrh na větší čistotu na pracovišti, převážně úklid tryskacího materiálu na podlaze haly, který má špatný vliv na čistotu výrobku a následné nanášení smaltu.
- Návrh na přesné odměřování a dávkování smaltu při jeho přípravě.
- Prodloužení doby zrání surových výrobků před povrchovou úpravou
- Zlepšení systému kontroly a jeho důsledné dodržování
- Častější a systematictější kontrola při výstupu
- Důsledné zaznamenání zjištěných vad v celém procesu smaltování i s jejich přesným popisem, aby bylo možné tyto vady dále analyzovat a učinit nápravná opatření.
- Hledat a odstraňovat chyby v samotném procesu a také dokumentace týkající se procesu.

V budoucnu je nutné tyto nápravná opatření dodržet pro zlepšení kvality smaltovaných výrobků. Dále je rozvíjet a zdokonalovat.

Všechna měření v systému kontroly budou zcela zbytečné, pokud se jimi kontroloři kvality a vedoucí pracovníci nebudou systematicky zabývat.

## ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce byla popsána teorie tykající se grafitických litin, tepelného zpracování zaměřená konkrétně na žíhání. Dále se teoretická část zabývá teorií povrchových úprav a způsoby jejich hodnocení. Povrchové úpravy byly zaměřeny na tryskání a smaltování což je problematika diplomové práce.

Součástí praktické části bylo zvolení výrobků pro popis technologického postupu procesu smaltování litinových výrobků od tryskání až po vypálení smaltu, na nichž byla po vypálení provedena vizuální kontrola, kontrola porezity a změřena tloušťka smaltu. Byly popsány použité přístroje a zařízení, které jsou nezbytné pro celý technologický proces smaltování. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách a grafech pro období v jednotlivých měsících, a také srovnání všech měsíců od října po duben, v kterých probíhala kontrola výrobků. Pro zjištění nejčastěji se vyskytujících vad byl zaveden Ishikawův diagram a Paretova analýza. U Paretovy analýzy byl sestrojen Paretův diagram a sestrojena Lorenzova křivka. Při jeho tvorbě se dodržela zásada a zvolilo se pravidlo 70/30. Z toho byly zjištěny výsledky, z nichž byla navržena nápravná opatření.

Z celkového vyhodnocování kvality procesu smaltování litinových výrobků, byly zjištěny nedostatky, jak v dokumentaci podle které by se měl řídit proces smaltování, tak v nesystematické kontrole, která může mít za následek nepřehledné nebo nekvalitní zaznamenání výsledků, ze kterých nelze zhotovit důkladná vyhodnocení. Všechny zmíněné nedostatky můžou mít za následek těžko odhalitelné příčiny vad na smaltovaných výrobcích.

Podle zjištěných nedostatků byla zvolena určitá nápravná opatření, která vzešla ze zjištěných nedostatků a příčin při pozorování procesu smaltování a jeho kontrole, a také kontrole hotových výrobků.

Výsledný pokles počtu vadných kusů bude možné znát po dlouhodobějším sledování.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [9] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. 185 s. ISBN 8070806001
- [2] MORÁVEK, Otakar; BABOROVSKÝ, Vladislav. *Knižnice strojírenské výroby: Základy tepelného zpracování oceli*. 3. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1969. 242 s. 04-215-69.
- [3] JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli: metalografická příručka*. 4., přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. 391 s
- [4] NOVOTNÝ, Jiljí. *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 227 s. ISBN 80-01-02351-6.
- [5] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000. 216 s. ISBN 80-7082-668-1.
- [6] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. Brno: CERM, 2001. 505 s. ISBN 8072041932
- [7] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 8072042483.
- [8] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. 1. vyd. Brno: VUT, 1992. 273 s. ISBN 8021403993.
- [9] *Www.lime.fme.vutbr.cz* [online]. Brno: 16.11.2006 [cit. 2011-02-07]. Grafitické litiny. Dostupné z WWW: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=3>.
- [10] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 19.10.2010 [cit. 2011-02-07]. Otryskávání. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Otrysk%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD&oldid=5972407>.
- [11] BOUŠE, Václav. *Povrchová úprava: Mechanismus vzniku přídržnosti smaltů*. *PDF casopis: Nove pripravky-technologie-sluzby* [online]. Květen 2006, roč. 3, č. 3, [cit.

- 2011-02-07]. Dostupný z WWW:  
<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2006-05.pdf>. ISSN  
1801-707X.
- [12] BOUŠE, Václav. Průběh koroze smaltových povlaků. *Novinky a zajímavosti* [online]. 2004, roč. 48, č. 4, [cit. 2011-02-08]. Dostupný z WWW:  
[http://www.vscht.cz/met/aki/kom\\_48/48\\_85\\_87.pdf](http://www.vscht.cz/met/aki/kom_48/48_85_87.pdf).
- [13] *Andra training* [online]. 2010 [cit. 2011-05-09]. Brainstorming. Dostupné z WWW:  
<http://www.andra.cz/pro-vas/slovník-pojmu-vzdelavani-teambuilding/141-brainstorming>.
- [14] *Jihomoravská Armaturka* [online]. 2011 [cit. 2011-05-09]. Historie. Dostupné z  
WWW: <http://www.jmahod.cz/cs/podnik/historie.html>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

MPa Megapascal. Jednotka tlaku.

Cu Měď

Cr Chrom

Mo Molibden

Ni Nikl

Sn Cín

Ce Cer

Mg Hořčík

A<sub>1</sub> Teplota eutektoidní

Ac<sub>1</sub> Překrystalizační teplota

Ac<sub>3</sub> Překrystalizační teplota

Acm Segregační teplota

A<sub>3</sub> Eutektoidní teplota

C Uhlík

Si Křemík

Mn Mangan

P Fosfor

S Síra

PVP Provozně významná podmínka

PJ Parametr jakosti

KJ Kritérium jakosti

TJ Třída jakosti

ČSN Česká technická norma

ISO International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)

---

EKN	Excentrický Klapkový Normový program
μm	Mikrometr
P	Pórovitos
n	Čtverce obsahující póry
N	Počet všech čtverců měrné mřížky
g	Gram
ml	Mililitr
γ	Rentgenové prošlé záření.
Ra	Radium
MPa	Megapascal. Jednotka tlaku.
Cu	Měď
Cr	Chrom
Mo	Molibden
Ni	Nikl
Sn	Cín
Ce	Cer
Mg	Hořčík
A <sub>1</sub>	Teplota eutektoidní
QMS	Quality Management Systém (Systém řízení jakosti)
EMS	Environmental Management Systém (Systém environmentálního řízení s ohledem na ochranu životního prostředí).

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Metastabilní diagram systému Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	12
Obr. 2. Rovnovážný diagram Fe-C.....	13
Obr. 3. Morfologické typy grafitických částic v grafitických litinách .....	14
Obr. 4. Mechanické vlastnosti grafitických litin.....	14
Obr. 5. Teploty různých postupů žíhání nelegovaných ocelí .....	18
Obr. 6. Rozmezí žíhacích teplot uhlíkových ocelí.....	19
Obr. 7. Schéma funkce různých inhibitorů /a – s anodickou účinností, b – s katodickou účinností, c vytvářející povlak.....	26
Obr. 8. Poměry při dopadu částice na exponovaný povrch /a – šikmý dopad, b - rovnoběžně s povrchem, c – kolmo k povrchu/.....	29
Obr. 9. Schéma uzavřené tryskací komory se vzduchovým tryskačem /1 – výstražná lampa, 2 – jáma pro tryskací materiál, 3 – vozík, 4 – korečkový dopravník, 5 – tryskač, 6 – dělník, 7 – osvětlení, 8 – čistič tryskacího materiálu, 9 – zásobník, 10 řídicí pult, 11 – přívod vzduchu, 12 – odsávání, 13 – filtry, 14 vývod vzduchu, 15 – nouzový východ/.....	30
Obr. 10. Princip metody probrusu .....	42
Obr. 11. Princip vpichovací metody .....	43
Obr. 12. Princip elektromagnetické metody .....	45
Obr. 13. Princip elektrografické metody měření pórovitosti povlaku /1 – povlak, 2 – podklad, 3 – kryt, 4 – protielektroda, 5 – pomocná elektroda, 6 – zkušební roztok, 7,8 – těsnění, 9 – víko, 10 – potenciostat, 11,12 – polarizační napětí, 13,14 – okruh korozního proudu, 15 – kontrolní přístroj//.....	48
Obr. 14. Princip měření stupně utěsnění anodicky oxidované vrstvy /1 – elektroda, 2 - těsnění, 3 – měřič impedance/.....	50
Obr. 15. Těleso EKN uzavírací klapka DN600 po žíhání. ....	57
Obr. 16. Otryskané těleso BETA uzavírací šoupátko F5 DN 100 PN25.....	58
Obr. 17. Otryskaný disk DN 400 .....	59
Obr. 18. Otryskané těleso EKN uzavírací klapka DN 600.....	59
Obr. 19. Vyléváním tělesa smaltem.....	60
Obr. 20. Stříkáním tělesa smaltem.....	60
Obr. 21. Čištění ploch od smaltu .....	61
Obr. 22. Nástřík smaltu na disk DN 400.....	61

Obr. 23. Montáž podpěr na čerstvě smaltované těleso, aby se při pokládání tělesa zabránilo poškození nástřiku smaltu .....	62
Obr. 24. Nástřik smaltu na těleso EKN uzavírací klapky DN 600 .....	62
Obr. 25. Čištění nesmaltovaných ploch zasažených smaltem při stříkání .....	63
Obr. 26. Měření tloušťky smaltu před vypálením na funkčních plochách tělesa .....	63
Obr. 27. Příprava smaltu .....	64
Obr. 28. Žíhací a vypalovací pec .....	65
Obr. 29. Tryskací komora .....	66
Obr. 30. Stříkací pistole .....	67
Obr. 31. Přístroj na měření tloušťky MINITEST 1100 .....	67
Obr. 32. Zařízení na měření porezity .....	68
Obr. 33. Navlhčení smaltovaného povrchu tělesa po vypálení zkušební kapalinou.....	69
Obr. 34. Položení a navlhčení kuchyňského ubrousku na zkoušející plochu .....	69
Obr. 35. Připnutí elektrod na navlhčený ubrousek a těleso .....	70
Obr. 36. Vypálený smalt na tělese BETA 200 DN 100 .....	71
Obr. 37. Vypálený smalt na tělese EKN disk DN 400 .....	72
Obr. 38. Vypálený smalt na Tělese EKN DN 600 .....	73
Obr. 39. Grafické znázornění počtu vadných kusů za říjen 2010 .....	74
Obr. 40. Grafické znázornění počtu vadných kusů za listopad 2010 .....	75
Obr. 41. Grafické znázornění počtu vadných kusů za prosinec 2010.....	76
Obr. 42. Grafické znázornění počtu vadných kusů za leden 2011 .....	77
Obr. 43. Grafické znázornění počtu vadných kusů za únor 2011 .....	78
Obr. 44. Grafické znázornění počtu vadných kusů za březen 2011 .....	79
Obr. 45. Grafické znázornění počtu vadných kusů za duben 2011 .....	79
Obr. 46. Procentuální vyjádření počtu vadných kusů v posuzovaném období.....	80
Obr. 47. Rozbor – Ishikawův diagram.....	83
Obr. 48. Výsledná Paretova analýza .....	85

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Uplatnění měřicí, zkušební a řídicí techniky při zabezpečování optimální jakosti povrchové ochrany.....	38
Tab. 2. Volba zkušebních a indikačních roztoků elektrografické potenciostatické metody.....	49
Tab. 3. Složení pracovních roztoků elektrostatické potenciostatické metody.....	49
Tab. 4. Žíhací teploty a časy jednotlivých těles.....	57
Tab. 5. Vypalovací teploty a časy pro jednotlivá tělesa.....	64
Tab. 6. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc říjen v roce 2010.....	74
Tab. 7. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc listopad v roce 2010.....	75
Tab. 8. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc prosinec v roce 2010.....	76
Tab. 9. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc leden v roce 2011.....	76
Tab. 10. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc únor v roce 2010.....	77
Tab. 11. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc březen v roce 2011.....	78
Tab. 12. Kontrola kvality smaltovaných výrobků za měsíc duben v roce 2011.....	79
Tab. 6. Počty vyrobených kusů v posuzovaném období.....	80
Tab. 14. Záznam závad na zařízení.....	84
Tab. 15. Četnosti jednotlivých závad.....	85

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Vyhodnocování kvality v období jednotlivých měsíců procesu smaltování  
litinových výrobků (elektronická příloha)

Adresář na CD: /prilohy/

Soubor: Ishikawův diagram.doc	konstrukce Ishikawova diagramu v programu Word
Soubor: Paretova analýza.xls	zpracované tabulky a grafy v programu Excel
Soubor: Vyhodnocování vad.xls	zpracované tabulky a grafy programu Excel