

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R016 Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vlastnosti černěných povrchů strojních součástí

Autor: **David Bricín**

Vedoucí práce: **Doc. Dr. Ing. Antonín Kříž**

Akademický rok 2011/2012

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu, ze kterých jsem čerpal.

V Plzni dne 25. Května 2012

.....

Podpis

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David BRICÍN**
Osobní číslo: **S11B0004P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie**
Název tématu: **Vlastnosti černěných povrchů strojních součástí**
Zadávající katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod a analýza současného stavu technologie povrchových úprav, cíle BP
2. Rozbor vlivů parametrů procesu alkalického černění na výsledné vlastnosti
3. Variantní návrhy řešení problematiky alkalického černění a jejich zhodnocení
4. Ověřovací zkoušky a ekonomické zhodnocení vypracovaných variant
5. Zhodnocení výsledků ve vazbě na jednotlivé sledované faktory
6. Závěr

Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**

Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

- Kraus, V.: Povrchy a jejich úpravy. Plzeň, 2000
- Český obranný standart - Nekovové anorganické povlaky pro součásti vojenské techniky
- DIN 50938 - Černění předmětů vyráběných ze železných kovů
- ČSN EN ISO 16348: Kovové a jiné anorganické povlaky - Definice a dohody týkající se vzhledu
- MIL-HDBK-205A - Phosphatizing and black oxide coating of ferrous metals

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Dr. Ing. Antonín Kříž

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Petr Hrbáček

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Datum zadání bakalářské práce:


19. září 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Prof. Ing. Václav Mentl, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

Poděkování:

Bakalářská práce vznikla na základě řešení projektů, „Rozvoj oboru materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“ číslo projektu SGS-2010-021 a posílení spolupráce mezi vysokými školami, výzkumnými ústavy a průmyslovými partnery v Plzeňském kraji *POSPOL* ESF OPVK CZ.1.07/2.4.00, které byly realizovány na Katedře materiálů a strojírenské metalurgie ZČU v Plzni.

Rovněž děkuji firmě PILSEN TOOLS s.r.o. za možnost použít, ke zpracování této bakalářské práce její výrobní linku alkalického černění.

ABSTRAKT:

Tato bakalářská práce se zabývá různými technologiemi černění povrchu materiálu, zejména pak technologií alkalického černění. Po stručném úvodu práce, který se zabývá obecným pohledem na uvedenou problematiku, následuje kapitola zabývající se povrchem materiálu, jeho vlastnostmi a různými pohledy nato, jak lze povrch materiálu vnímat, poté následuje část rozebírající jednotlivé možnosti ochrany povrchu materiálu, jejich široké spektrum a možnosti uplatnění. Další kapitolou je kapitola zabývající se technologiemi černění. Tato kapitola stručně popisuje různé technologie černění povrchu materiálu jejich vlastnosti a možnosti použití. Na tuto část navazuje jedna z posledních kapitol a to kapitola o alkalickém černění. Kapitola pojednává o možnostech uplatnění, způsobech černění a o vlastnostech vzniklé povrchové vrstvy. Poslední část této práce je věnována experimentu, který zkoumá vliv teploty černicí alkalické lázně a doby černění na tloušťku vytvořené vrstvy, její korozivní odolnost a barevný odstín povrchu.

KLÍČOVÁ SLOVA: Povrch, Povrchové úpravy, technologie černění, technologie alkalického černění

ABSTRACT:

This thesis deals with various technologies of the material surface blackening, Particularly the technology of the alkaline blackening. After a brief introduction to the thesis, Which deals with the general view on this subject followed by a chapter dealing with the Material surface properties and the different views into how the material surface can be seen, there follows a section discussing the various possibilities of the surface protection materials and their wide range of application possibilities. The next chapter deals with technology blackening. This chapter briefly describes various technologies of blackening the material surface and their application possibilities. This part is followed by one of the last chapters on alkaline blackening. This chapter discusses the possibilities of application, methods and properties of the resulting surface layer. The last part of this thesis is devoted to an experiment that examines the effect of the temperature of the blackening alkaline bath and the blackening time on the thickness of the layer formed, its corrosive efficiency and the surface color.

KEY WORDS: surface, surface treatment, the blackening technology, the alkaline blackening technology

Obsah

1. Úvod:.....	1
2. Povrch a jeho vlastnosti:	2
2.1. Povrchy vznikající během hutního zpracování materiálu:	3
2.2. Povrchy vznikající během strojního zpracování materiálu:	4
2.3. Povrchy vzniklé tvářením materiálu:.....	5
3. Povrchové úpravy- základní rozdělení:.....	6
3.1. Organické povlaky:.....	6
3.1.1. Organické nátěry:	7
3.1.2. Povlaky z plastů:	8
3.2. Anorganické povlaky:.....	9
3.2.1. Anorganické povlaky kovové:	9
3.2.2. Anorganické povlaky nekovové:.....	15
4. Technologie černění povrchů strojních součástí:	19
4.1. Černění materiálů kovových- železných:	19
4.2. Černění neželezných materiálů:.....	20
4.2.1. Anodická oxidace hliníku kyselinou sírovou (H_2SO_4):.....	20
4.2.2. Chemické černění mědi a mosazi:.....	20
5. Alkalické černění:	22
5.1.1. Mechanické a chemické úpravy povrchu	25
5.1.2. Vlastní černicí proces:	28
5.1.3. Úpravy po vlastním černění povrchu:	29
5.1.4. Výhody a nevýhody alkalického černění:	29
5.1.5. Vzhled černěného povrchu:.....	29
5.1.6. Vlastnosti černěného povrchu:	30
5.1.8. Způsoby alkalického černění:.....	31
6. Experimentální program:.....	33
6.1. Zkoušené materiály:	33
6.2. Zkušební metody:	34
6.2.1. Zkouška korozivní odolnosti:.....	34
6.2.2. Určení tloušťky povlaku:.....	35
6.2.3. Barevný odstín povlaku (povrchu):.....	36
6.2.4. Dosažené výsledky:.....	37
6.2.5. Závěr z jednotlivých měření:.....	55
7. Závěr:	57

Seznam obrázků, grafů a tabulek:	58
Citace a použitá literatura:.....	60

1. Úvod:

Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvoření tabulek, pomocí kterých by bylo možno zvýšit efektivnost černicí linky ve firmě PILSEN TOOLS s.r.o.. Tyto tabulky budou sloužit operátorům černicí linky k určení optimální doby černění, která zajistí určitou korozní odolnost a barevný odstín povlaku. Korozní odolnost je důležitou vlastností každého materiálu kovového i nekovového, proto se jejímu studiu věnuje velká pozornost. „Ve světě díky ní dochází každý rok k úbytku 1-2% z celkově vyrobeného množství oceli.[2] “ Toto číslo se zdá na první pohled malé, avšak koroze, jak již bylo uvedeno výše, napadá kromě ocelových a dalších kovových materiálů i materiály nekovové, a tak uvedené číslo vzrůstá. Korozní napadení materiálu jsou nebezpečná, jejich vlivem často dochází ke změně (ztrátě) mechanických vlastností materiálu, popřípadě dochází k jeho úplné destrukci. Následná náhrada takto degradovaného popř. zcela zničeného dílu může být velmi nákladná, a proto se na površích materiálu provádí povrchové úpravy, které mají různými způsoby zlepšit korozní odolnost materiálu. Povrchové úpravy také umožňují zlepšit další vlastnosti materiálu, např. zvyšují tvrdost povrchové vrstvy, její otěruvzdornost, odrazivost apod. „Bylo zjištěno, že materiály, u kterých bylo použito povrchové úpravy, korodují po ztrátě ochranných vlastností nanesené povrchové vrstvy pomaleji, než materiály, u kterých nebylo použito žádné povrchové úpravy a rychlosti, kterou korodují neupravované materiály, dosahují až po určité době.[2]”

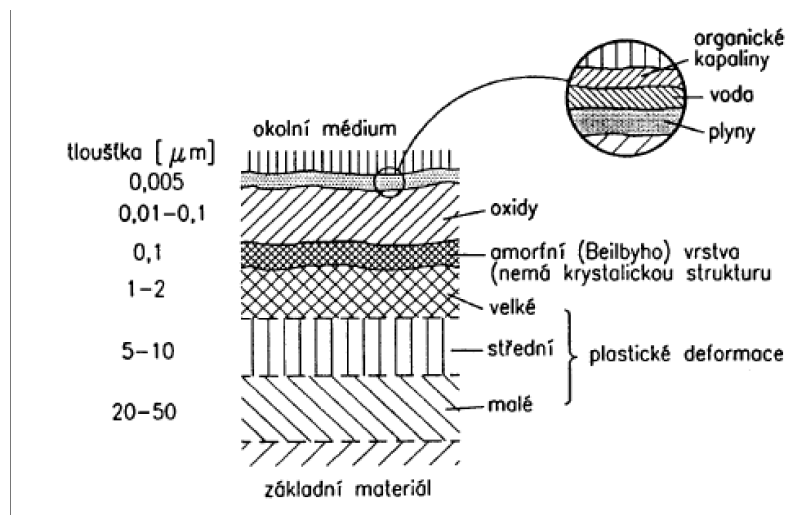
Druhým cílem této práce je seznámení s různými technologiemi povrchových úprav, převážně pak s technologiemi černění povrchu materiálu. Tento cíl lze splnit jedině, pokud dojde alespoň k základní definici povrchu materiálu. Povrch je součástí každého objektu, ať živého či neživého, má určité geometrické a fyzikální vlastnosti, které se v současné době shrnují do pojmu integrit povrchu.¹ Právě ze znalosti vlastností povrchu a znalosti prostředí, v kterém bude materiál umístěn (bude pracovat), plyne správná volba konkrétní povrchové úpravy. Zvýše uvedených důvodů se tato práce snaží ukázat rozmanitost povrchových úprav, jejich možnostmi aplikace např. v průmyslu a domácnostech, dále se tato práce snaží určitým způsobem povrchové úpravy rozdělit do skupin a tím mezi nimi zajistit lepší orientaci.

¹ Integrita povrchu: Souhrn geometrických a mechanických vlastností povrchu

2. Povrch a jeho vlastnosti:²

Volba vhodného materiálu zajišťuje správnou funkčnost a dlouhou životnost strojních součástí, proto se materiál volí podle prostředí a způsobu namáhání součástí. Různé druhy namáhání například působení tlakových, tahových anebo cyklických napětí mohou při špatné volbě materiálu vést ke vzniku trhlin a následně k úplné destrukci užívané součásti.

Okolní prostředí působí na povrch součástí a reaguje s ním. Na uvedeném



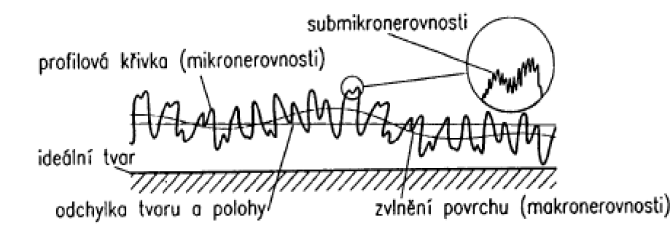
Obr. 2-1: Schéma řezu povrchovými vrstvami,[2]

obrázku (obr. 2-1) jsou vidět povrchové vrstvy materiálu strojní součásti po obrobení.

Po obrobení jsou vrchní vrstvy materiálu plasticky deformované vlivem obráběcího nástroje. Nad těmito vrstvami se nachází Beilbyho vrstva. Tato vrstva vzniká při broušení a leštění materiálu. Její tloušťka je úměrná působícímu tlaku, teplotě a rychlosti obrábění. Nad touto vrstvou se nachází vrstva oxidů, nad níž se vyskytuje vrstva složená z plynů, vody a organických kapalin.

Povrch materiálu má určité vlastnosti. Tyto vlastnosti se dají rozdělit na vlastnosti fyzikální, chemické a mechanické. Mezi fyzikální vlastnosti patří elektrické a magnetické vlastnosti povrchu. Struktura materiálu a jeho elektronegativita spadá do chemických vlastností materiálu.

Poslední jmenované mechanické vlastnosti se zabývají deformacemi, tvrdostí a geometrií povrchu materiálu. Na obrázku (obr. 2-2) je zobrazena geometrie povrchu po obrobení.



Obr. 2-2: Geometrie povrchu strojní součásti,[2]

² Zpracováno s pomocí [1,2], Ing. Václav Kraus- *Povrchy a jejich úpravy*, Ing. Viktor Kreibich, CSc., *Teorie a technologie povrchových úprav*,

Tato geometrie je složena z makronerovností, mikronerovností a submikronerovností. Makronerovnost (zvlnění povrchu) je ovlivněna tuhostí soustavy obráběcího stroje, nástroje a obrobku. Mikronerovnost vzniká působením obráběcího nástroje. Jsou to stopy zanechané jeho ostřím.

Při obrábění, vznikají kromě nerovností povrchu vnitřní pnutí. Tato pnutí vznikají také při tepelném zpracování a lití. Vnitřní pnutí vznikají díky přítomnosti plastických a elastických deformací v materiálu. Dále je mohou způsobovat vměstky, působící okolní prostředí a vnější síly.

Z hlediska zpracování materiálu se povrchy dělí, na povrchy vzniklé během hutního zpracování materiálu, povrchy vzniklé během strojního zpracování materiálu a povrchy vzniklé tvářením materiálu.

2.1. Povrchy vznikající během hutního zpracování materiálu:

Hutním zpracováním se rozumí povrchy vzniklé při odlévání, válcování a kování materiálu.

Litím do pískových forem vznikají povrchy drsné, s možným výskytem zapečenin, litím do kokil vznikají povrchy hladší. Nejhladší povrch mají odlitky vznikající pomocí vytavitelných modelů. Na povrchu odlitků se mohou kromě zapečenin (zapečeného písku u pískových forem) objevit následující vady např. zalité částice strusky, bubliny popřípadě trhliny způsobené smršťováním kovu.

Kováním a válcováním vznikají hladké povrchy pokryté vrstvou okují různé tloušťky. Tloušťka okují závisí na technologii zpracování materiálu. Geometrie výsledného povrchu závisí na stavu používaného zařízení. Při užití nadměru opotřeбенého zařízení (válců, kovacích zápustek), může vzniknout nerovná geometrie povrchu materiálu. Kováním a válcováním vznikají na povrchu materiálu následující vady- zamačkané okuje, vměstky popřípadě rýhy.



Obr. 2-3: Ukázka vzniku nového povrchu pomocí kování (kování zalomeného čepu klikové hřídele)[6]

2.2. Povrchy vznikající během strojního zpracování materiálu:

Pokud hutním zpracováním není dosaženo požadované jakosti povrchu materiálu, přichází na řadu strojní zpracování povrchu. Pod strojním zpracováním se rozumí povrchy vzniklé během řezného obrábění, broušení, tepelného zpracování a svařování materiálu.

Pod řezným obráběním se rozumí úprava povrchu soustružením, frézováním a vrtáním. Během těchto operací vzniká povrch působením jednobřítých nástrojů (soustružení-soustružnický nůž) popřípadě pomocí vícebřítých nástrojů (frézování, vrtání- fréza, vrták). Geometrie a stav výsledného povrchu závisí na stavu obráběcího nástroje a ostatních podmínkách obrábění (řezná rychlost, tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek, chlazení).

Broušením vznikají povrchy hladké s malou drsností. Brusný kotouč svým chvěním způsobuje zvlnění povrchu. Otupený brusný kotouč způsobuje vytrhávání materiálu z povrchu upravované součásti. Svařováním a pájením vznikají pevná nerozebíratelná spojení dvou a více materiálů. Svařovaný materiál je nutno po svaření dále tepelně zpracovat a to kvůli odstranění vnitřních pnutí, která způsobují porušení svarového spoje. Ve svarovém spoji mohou vzniknout následující vady a to póry, zbytky strusky a bubliny.

2.3. Povrchy vzniklé tvářením materiálu:

Tváření je technologický proces, během kterého dochází ke změně tvaru materiálu vlivem působící zatěžující vnější síly. Díky této zatěžující síle vznikají v materiálu deformace. Podle vzniklých deformací dělíme tvářením materiálu na tvářením objemové, kdy dochází ke vzniku deformace ve třech směrech a na tvářením plošné, kdy dochází ke vzniku deformace ve dvou směrech. Mezi technologie objemového tvářením patří technologie válcování, kování a protlačování. Mezi technologie plošného tvářením patří technologie tažení, ohýbání a stříhání.

Tvářením vznikají povrchy dvojího typu. Prvními jsou povrchy vznikající během tvářením za tepla. Tvářením za tepla je technologický proces probíhající nad rekrystalizační teplotou (přibližně nad 70% teploty tání daného materiálu). Během tvářením za tepla nedochází ke zpevňování materiálu, proto nejsou zapotřebí vysoké tvářecí síly, jako u technologie tvářením kovů za studena. Tvářením kovů za tepla vznikají povrchy méně jakostní výskytem okují.

Druhými jsou povrchy vznikající během tvářením za studena. Tvářením za studena je technologický proces probíhající pod teplotou rekrystalizace (přibližně pod 30% teploty tání daného materiálu). Během tvářením za studena dochází ke zpevňování materiálu, zrna se deformují ve směru tvářením, čímž dochází k vytvoření textury. Vytvořením povrch je hladký s vysokou jakostí bez okujení.



Obr. 2-4: Ukázka vzniku povrchu pomocí tvářením za studena (přeměna kruhové tyčoviny v závit)[13]

3. Povrchové úpravy- základní rozdělení:

Povrchy vzniklé během hutního, strojního a tvářecího zpracování materiálu nemusí vždy vyhovovat prostředí, v němž bude vyrobená strojní součást pracovat, povrchy mohou rychle oxidovat, nemusí mít dostatečnou povrchovou tvrdost a odolnost nebo nemusí vyhovovat jinými svými vlastnostmi. Proto se povrchy dále upravují tak, aby danému pracovnímu prostředí vyhověly a měly dostatečnou životnost.

Základní rozdělení povrchových úprav pochází z doby pravěku, kdy člověk začal používat jednoduché nástroje, pomocí nichž nejen lovil, ale i zdobil své obydlí- jeskyně. V jeskyních po sobě tento člověk zanechal jeskynní malby, první úpravy povrchu. I v současné době se používají takovéto úpravy povrchu jen s jiným významem. Tenkrát člověk neandertálský zachytával výjevy ze svého každodenního života, v současné době se užívají podobné úpravy povrchu k upozornění např. na snížený podhled popřípadě vystouplý roh místnosti³. V pravěku používal člověk neandrtálský k vytváření maleb látky, které mu byly nejbližší, ty které našel ve svém okolí v přírodě (organické látky). V současné době se využívají kromě látek organických látky uměle připravené (anorganické látky). Z toho vychází základní dělení povrchových úprav a to na úpravy pomocí organických látek a na úpravy pomocí anorganických látek.

3.1. Organické povlaky:⁴

Organické povlaky vytváří bariéru mezi okolním prostředím a chráněným materiálem. Tím, že vytvoří překážku mezi okolním prostředím a povrchem zajistí organické povlaky povrchu požadovanou ochranu a zaručí mu požadovanou životnost. Mezi organické povlaky patří organické nátěry a povlaky z plastů. Následující tabulka (tabulka 3-1) porovnává některé vlastnosti povlaků vyrobených z plastů a povlaků z nátěrových hmot.

Tabulka 3-1 Porovnání vlastností organických povlaků[2]

	Barva povlaku:	Způsob nanesení:	Odolnost proti chemikáliím:	Odolnost proti vysokým teplotám:	Tloušťka povlaku:
Nátěrové hmoty:	Jakákoliv (dle chemického složení)	Ručně, stříkáním, máčením ...	Syntetické chlór kaučukové nátěrové hmoty	Syntetické silikonové nátěrové hmoty	Podle počtu nanesených vrstev nátěrové hmoty
Plasty:	Jakákoliv (dle chemického složení)	Plátování m, stříkáním, naprašová ním...	Polyetylen (PE), polyvinylchlori d (PVC), polystyren (PS)	Teflon (PTFE) [-170÷250 ⁰ C]	Podle technologie nanášení plastických hmot

³ K zviditelnění snížených podhledů, vystouplých rohů popřípadě k zvýraznění důležitých značek a upozornění se používají např. reflexní organické nátěry viz. Kapitola 3.1.1 Organické nátěry

⁴ Zpracováno s pomocí [1,2], Ing. Václav Kraus- *Povrchy a jejich úpravy*, Ing. Viktor Kreibich, CSc., *Teorie a technologie povrchových úprav*

3.1.1. Organické nátěry:

Organickými nátěry se dají upravovat všechny druhy součástí bez ohledu na jejich tvar a velikost. Jejich hlavním cílem je chránit podkladový materiál proti povětrnostním podmínkám, vodě, ohni, oleji, a dalším napadením, která by ohrozila povrch podkladového materiálu. Cílem organických nátěrů je kromě zajištění ochrany podkladového materiálu zachování bezpečnosti v okolí upravené součásti. To zajišťují signální, svítící nebo maskovací nátěry. Dále se nátěry používají jako dekorativní, matovací a elektrovedivé.

Nátěrové hmoty se nanáší v těstovitém nebo tekutém stavu na povrch materiálu, kde utvoří souvislý film. Nátěrové hmoty se skládají z pojidla, které nátěrovým hmotám dává určité fyzikální vlastnosti, pigmentů, které určují barevnost a průhlednost vzniklého filmu a plnidel a aditiv. Plnidla a aditiva jsou přísady, které upravují technologické a fyzikální vlastnosti nátěru.

Pojidla se skládají z rozpouštědel a filmotvorných látek. Rozpouštědla jsou látky, které upravují konzistenci nátěrové hmoty a rozpouští filmotvorné látky. Filmotvorné látky vytvářejí na povrchu materiálu souvislý film. Tyto látky mají zásadní vliv na vlastnosti a životnost výsledné povrchové úpravy.

Pokud dojde k neopravitelnému poškození nátěru popřípadě je nátěr nežádoucí, odstraňuje se z povrchu a to mechanicky pomocí kartáčů popřípadě opalem, kdy díky působícímu tlaku zapálených plynů a různé roztažnosti základního materiálu a nátěru dojde k jeho odstranění.

3.1.2. Povlaky z plastů:

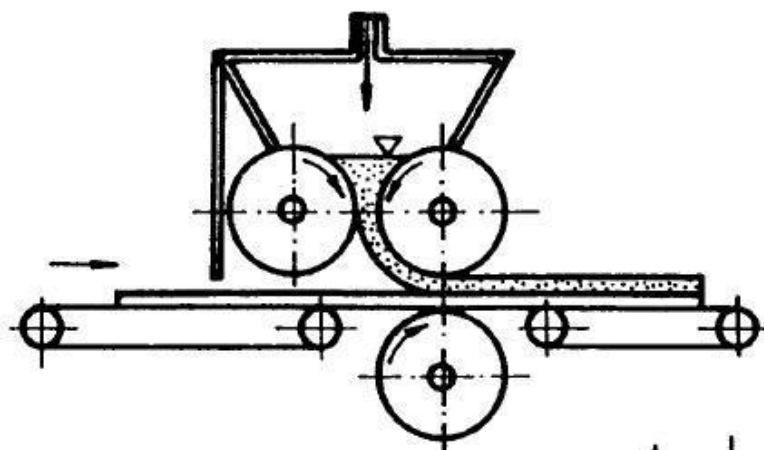
Povlaky z plastů se užívají jako ochrana proti opotřebení, lepivosti a také jako ochrana proti korozi podkladového materiálu. Povlaky z platů se na podkladový materiál nanáší stříkáním, plátováním nebo naprašováním v elektrostatickém poli.

Povlaky nanášené naprašováním v elektrostatickém poli:

Tato technologie se užívá při povrchové úpravě členitých a rozměrných součástí, slouží k vytvoření dekorativních, elektroizolačních a korozivzdorných povlaků. Naprašování se provádí buď za tepla, kdy má výsledný povlak tloušťku několik milimetrů anebo za studena, kdy vznikají povlaky o tloušťce 0,02-0,15 milimetru.

Povlaky stříkané:

Na povrch materiálu se dá pomocí této technologie nanést požadovaný povlak dvěma způsoby. Prvním způsobem je nanesení prášku plastu za pomoci stříkací pistole. Při tomto způsobu nanášení povlaku dochází k natavení plastického prášku plamenem ještě před vlastním dopadem prášku na upravovaný materiál. Druhým způsobem je takzvané bezplamenné stříkání plastů, při kterém se plastový prášek nejprve nanese na upravovaný povrch, poté se povrch zahřeje, což má za následek rozpuštění naneseného prášku a vytvoření ochranné vrstvy.



Obr. 3-1: Vytvoření plátu plastu na podkladovém materiálu pomocí technologie válcování[2]

Povlaky plátované:

Touto technologií se upravují převážně kovové plechy, pásy, trubky a slitiny lehkých kovů. Plátování se provádí mechanickým připevněním anebo přilepením plastu k podkladovému materiálu. Mezi způsoby připevnění plastu k podkladovému materiálu patří laminační válcování, které se dále dělí na suché kaširování a kaširování za tepla. Při suchém kaširování se nejprve na podkladový materiál nanáší vrstva lepidla a následně se přiválcuje vrchní vrstva vyrobená z plastické hmoty. Při kaširování za tepla se k připevnění plastické hmoty nepoužívají lepidla, ale natavuje se naválcovaný plastický materiál.

3.2. Anorganické povlaky:⁵

Anorganické povlaky se dělí na povlaky kovové a povlaky nekovové.

3.2.1. Anorganické povlaky kovové:

Anorganické povlaky kovové chrání podkladový materiál tak, že utvoří na jeho povrchu nepropustnou bariéru, která zabrání průniku okolního prostředí k základnímu materiálu. Životnost a poskytovaná ochrana povlaku závisí na jeho tloušťce a poréznosti. Anorganické kovové povlaky se spojují s podkladovým materiálem mechanicky anebo na základě fyzikálních, chemických a elektrochemických vlastností.

Mechanický způsob nanesení povlaku:

Tímto způsobem se dají na povrch materiálu nanést povlaky velkých tloušťek, a to až do řádu několika milimetrů. Povlak je k povrchu materiálu připevněn pomocí tlaku, nejčastěji naválcováním. Po naválcování povlaku na podkladový materiál se v některých případech, kdy je to nezbytné pro správnou funkčnost součásti, provede tepelné zpracování, které zajistí difúzní spojení mezi povlakem a podkladovým materiálem.

Fyzikální způsob nanesení povlaku:

Při tomto způsobu nanášení povlaku se přivádí na podkladový materiál nanášený kov ve stavu plynném. Do plynného stavu je kov přiveden odpařováním, popřípadě katodickým rozprašováním. Vzniklý plyn následně z kondenzuje a vytvoří na podkladovém materiálu požadovaný povlak.

Chemický a elektrochemický způsob nanesení povlaku:

Tento způsob nanášení povlaků souvisí s chemickými a elektrochemickými reakcemi, které vznikají mezi povlakem a podkladovým materiálem. Při tomto způsobu nanášení povlaku se rozlišuje nanášení povlaku za vysokých teplot a nanášení povlaku za nízkých teplot. Při vysokoteplotním způsobu nanášení povlaku je povlak na podkladový materiál nanášen ve formě plynů, par anebo taveniny. Přičemž dochází k difúznímu spojení mezi podkladovým materiálem a povlakem. U nízkoteplotního nanášení povlaku nevzniká mezi ním a podkladovým materiálem k difúznímu spojení, povlak je vytvořen chemicky za pomoci redukčně působícího činidla.

Na základě výše uvedených způsobů nanesení povlaku na podkladový materiál, se dají anorganické povlaky kovové rozdělit na povlaky vzniklé plátováním, žárově nanášené povlaky, žárově stříkané povlaky, chemické a elektrochemické pokovování a fyzikálně-chemické pokovování.

Povlaky vzniklé plátováním:

Při tomto způsobu ochrany materiálu dochází, k takzvanému obkládání povrchu materiálu dalšími kovy, jež mu zajistí požadovanou odolnost po celou dobu jeho životnosti. Tloušťka vytvořeného povlaku se pohybuje od 0,1 mm do několika milimetrů. Touto povrchovou úpravou lze například zvýšit korozivní odolnost konstrukčních ocelí, které se kvůli tomu tzv. obkládají ocelmi korozivzdornými. Způsob nanesení povlaku se volí na základě fyzikálních vlastností obkládavého a obkládaného materiálu.⁶ Plátované povlaky se na podkladový materiál např. naválcují, navaří, připájí, popřípadě odlijí.

⁵ Zpracováno s pomocí [1,4], Ing. Václav Kraus- *Povrchy a jejich úpravy*, Ing. Vladimír Benedikt, CSc., *Povrchové úpravy kovových materiálů*

⁶ Způsob nanesení se volí například na základě teploty tavení používaných materiálů.

Žárově nanášené povlaky:

Tento způsob povrchové úpravy je především používán pro úpravy drátů a pásů. Metoda spočívá v ponoření pokovovaného předmětu do roztavené kovové lázně. V kovové lázni dojde k uchycení určitého množství roztaveného kovu na povrchu upravovaného materiálu, tím dojde k vytvoření požadovaného povlaku. Vzniklý povlak je spojen difúzně s podkladovým materiálem. Touto technologií se na povrch chráněného materiálu nanášejí pouze materiály o nízké teplotě tání jako je zinek, olovo a hliník.

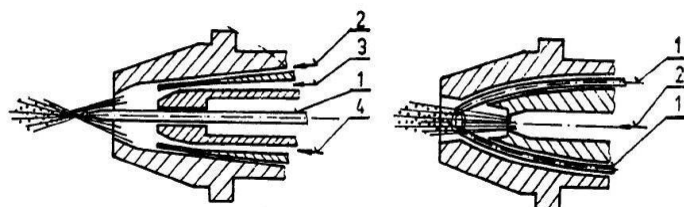
Žárově zinkování:

Žárově zinkování se provádí několika způsoby. První způsob je tzv. suchý, při kterém se pokovované předměty nejprve namočí do tavidla, následně usuší a poté se ponoří do zinkovací lázně. Druhým způsobem je mokrá metoda, při kterém se na polovinu hladiny zinkovací lázně nanese tavidlo. Výrobek vstupuje do zinkovací lázně přes tavidlo a vystupuje přes volnou hladinu této lázně. Tento proces probíhá při teplotách 440-470 °C. Během žárového zinkování vzniká řada odpadů, mezi které patří např. salmiaková sůl, tvrdý zinek a zinkový popel.

Výše zmíněná salmiaková sůl vzniká v důsledku reakcí, které probíhají mezi tavidlem a zinkovací lázní během mokrého způsobu zinkování. Tvrdý zinek se objevuje na stěnách ocelových zinkovacích van a taktéž na povrchu zinkovaného materiálu, vlivem působících železnatých solí, které se nepovedlo odstranit při předchozím moření materiálu. Zinkový popel se vyskytuje na hladině zinkovací lázně. Tento popel vzniká díky oxidačním činidlům obsaženým v okolním prostředí.

Žárově stříkané povlaky:

Žárově stříkané povlaky se používají k renovaci (opravě) poškozených povlaků, jako protikorozní ochrana, ochrana proti vysokým teplotám a taktéž se užívají při upravování povrchu nekovových materiálů (dřevo, plastické hmoty a tkaniny). K nanášení těchto povlaků se užívají metalizační pistole viz.Obr.3-2 .



Obr. 3-2: Metalizační pistole plynová, elektrická (1- drát, 2- přívod vzduchu, 3- přívod kyslíku, 4- přívod plynu)[2]

V metalizační pistolí dojde působením kyslíko-acetylenového plamene nebo působením elektrického oblouku k natavení přiváděného kovového drátu, který po roztavení vytvoří na podkladovém materiálu požadovaný kovový povlak. Vzniklý povlak má jiné mechanické vlastnosti i chemické složení než jaké měl použitý kovový drát.

Tento rozdíl je způsoben působícím okolním prostředím a to převážně teplotou, množstvím přiváděného vzduchu, ale také úhlem a vzdáleností mezi metalizační pistolí a pokovovaným materiálem. Žárovým stříkáním se upravují převážně velké konstrukce, u kterých se jiná technologie povrchové úpravy nedá použít.

Elektrochemické pokovování:

Touto technologií se na povrchu součásti vytvářejí povlaky o malých tloušťkách, které zaručí součásti korozivní odolnost. Elektrochemickým pokovováním se dají upravovat povrchy i značně složitých součástí. Proces pokovování probíhá na základě elektrochemických dějů, které probíhají mezi elektrodami a elektrolytem. Mezi tyto děje patří například elektrolýza⁷.

Kvalita povlaku, který vznikne elektrochemickým pokovováním, závisí na složení lázně, pracovní teplotě a na zvolených elektrických veličinách mezi které patří mezní stavy napětí a proudová hustota. Mezi technologie elektrochemického pokovování patří technologie mosazení, technologie cínování a technologie chromování.

Technologie mosazení:

Touto technologií se na povrchu materiálu vylučují slabé povlaky (do 5 μm), které dokonale kopírují podkladový materiál. Barva vzniklého povlaku závisí na složení mosazící lázně a to především na poměru mědi a zinku. Podle tohoto poměru rozlišujeme povlaky žluté, kde je poměr v mosazící lázni mezi Cu a Zn 3:1-1:3, povlaky bílé, které obsahují okolo 20-30 procent mědi a 70-80 procenty zinku a na povlaky tombakové které obsahují více jak 80 procent mědi. Na poměru mezi zinkem a mědí taktéž závisí mechanické vlastnosti povlaku a to především jeho křehkost, odolnost proti otěru a tvrdost.

Technologie chromování:

Touto technologií se na povrchu materiálu vytvářejí povlaky, které mají vysokou odolnost proti korozi, jsou odolné proti povětrnostním vlivům a proti většině chemikálií. Tyto povlaky odpuzují vodu a mastnoty. Z hlediska funkce se tyto povlaky dělí na povlaky dekorativní, povlaky, které chrání podkladový materiál proti korozi a povlaky, které chrání podkladový materiál proti mechanickému poškození. Mezi dekorativní způsoby chromování patří technologie černého chromování. Touto technologií, která se používá v optice, se na povrchu součásti vytvoří povlak s hlubokým černým odstínem. Mezi chromování, které chrání podkladový materiál proti mechanickému poškození, patří technologie tvrdého chromování.

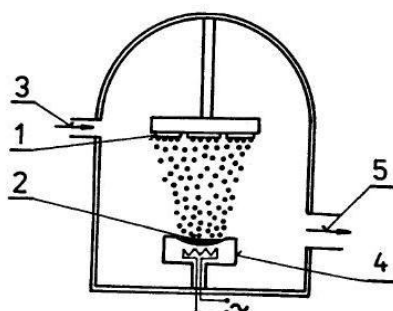
Tato technologie se používá k chromování nástrojů a měřidel, u nichž zajišťuje zvýšení životnosti a odolnosti proti opotřebení. Vzniklý chromový povlak má vysokou tvrdost (800-1200HV) a jeho tloušťka je několik milimetrů. Mezi metody, které zajistí podkladovému materiálu dostatečnou odolnost proti korozi, patří metoda mikrotrhlinkového chromování, kdy se na niklový podklad nanese dvě vrstvy chromu, první vrstva je tvořena beztrhlinkovým chromovým povlakem, na nějž se nanese normální chromový povlak.

Před nanesením chromového povlaku se podkladový materiál upravuje. K úpravám povrchu se používají technologie broušení a leštění viz. níže. Pomocí těchto dvou technologií vznikne na povrchu materiálu vrstva s nízkou drsností a zrcadlovým leskem. Toho se využívá před nanesením dekorativního povlaku chromu. Pokud se výše zmíněnými technologiemi nedosáhne požadované drsnosti a lesku upravované plochy, použije se technologie chemického popřípadě elektrochemického leštění. První dvě technologie spadají do mechanických úprav povrchu, poslední dvě technologie spadají do chemických úprav povrchu.

⁷ Elektrolýza je elektrochemický děj, při kterém dochází na katodě, která je zapojena jako mínus pól k redukci a na anodě, která je zapojena jako plus pól k oxidaci. Elektrolýza se používá například k elektrolytickému čištění mědi, kde se jako anoda připojuje znečištěná měď a jako elektrolyt se užívá vodný roztok síranu měďnatého. Pomocí proudu dojde k rozpouštění mědi na anodě a vyloučení elektrolyticky čisté mědi na katodě.

Fyzikálně a fyzikálně chemicky vzniklé vrstvy:

Tyto vrstvy se na povrchu materiálu vytvářejí působením kovových par. Kovové páry se na podkladový materiál napařují nebo napašují. Napařování se provádí nejčastěji ve vakuu. Napařování probíhá tak, že se na jedné straně vakuové komory vlivem vysoké teploty mění povlakový materiál na plyn, který následně z kondenzuje na povrchu upravovaného materiálu viz. Obr. 3-3. Vrstvy vytvořené metodou vakuového napařování mají vysoký lesk, malou tloušťku a dokonale pokrývají podkladový materiál. Pomocí tohoto způsobu se dají upravovat jak materiály vodivé tak nevodivé. Tato technologie se užívá například ve výrobě zrcadel, antireflexních vrstev a v elektrotechnickém průmyslu.



Obr. 3-3 Napařování ve vakuu: 1- napařované předměty, 2- vypařovaný kov, 3- přívod neutrálního plynu, 4- výparník, 5- napojení vakuového čerpadla[2]

Do této kategorie fyzikálně a fyzikálně chemických vrstev patří vrstvy, které se označují jako CVD a PVD vrstvy.

CVD vrstvy jinak známé jako Chemical Vapour Deposition vznikají napařováním kovu v plynné fázi na podkladový materiál při působení vysokých teplot (nad 1000 °C). Vzniklé vrstvy mají tloušťku okolo 10 μ m a velmi dobrou přilnavost k podkladovému materiálu. Nevýhodou těchto vrstev je teplotní ovlivnění podkladového materiálu a nemožnost nanesení vrstev na ostré hrany výrobku. CVD vrstvy se užívají k povlakování slinutých karbidů.

Oproti výše zmíněným CVD vrstvám PVD vrstvy, kterým se jinak říká Physical Vapour Deposition vznikají napařováním kovu na podkladový materiál při nízkých teplotách (pod 600 °C). Vrstvy vzniklé touto metodou mají tloušťku kolem 5 μ m a dají se nanášet na ostré hrany výrobku. Mechanické vlastnosti a barevnost vrstev závisí na použitých materiálech. Například zlatá barva, mikrotvrdoost okolo 20-25GPa a dobré elastické a adhezni vlastnosti patří vrstvě, kterou tvoří nitrid titanu (TiN). Technologií PVD se vytvářejí vrstvy na obráběcích nástrojích, které jsou vyrobeny z rychlořezné oceli nebo slinutých karbidů.

Před nanesením PVD a CVD vrstev musí být povrch materiálu dokonale očištěn. K odstranění mastných nečistot se používá technologie odmašťování. Odmašťování patří do chemických úprav povrchu.

Následující tabulka (tabulka 3-2) uzavírá tuto kapitolu, jejím úkolem je zobrazit rozmanitost anorganických povlaků kovových, přičemž srovnává jejich základní vlastnosti.

Tabulka 3-2: Porovnání vlastností kovových povlaků[2]

	Kovové povlaky a vrstvy:		
	Plátování kovy:	Žárové pokovování v roztavených kovech:	Elektrochemické pokovování:
		Žárové zinkování:	Chromování:
Materiál výrobku:	Ocel, dural, olovo...	Ocel, litina	Ocel, mosaz, litina
Materiál povlaku:	Měď, hliník, cín...	Zinek	chrom
Metoda nanesení:	Válcováním, navařováním, litím...	Ponorem	ponorem
Teplota procesu:	Dle technologie nanesení povlaku	440-470 ⁰ C	55 ⁰ C při proudu 7÷20A/dm ² (dekorativní povlak)
Tloušťka povlaku:	0,1- několik milimetrů	10-30μm	0,2-0,8 μm (dekorativní chromový povlak)
Odolnost vůči vysokým teplotám:	Dle použitého materiálu povlaku	200-225 ⁰ C závisí na způsobu nanášení povlaku (vysokoteplotní- nízkoteplotní)	Zachovává si své vlastnosti do 500 ⁰ C
Odolnost vůči korozi:	Dle použitého materiálu povlaku	Velmi dobrá odolnost vůči korozi v neutrálních prostředích, slabě alkalických prostředí a na vzduchu	Velmi vysoká
Barva povlaku:	Dle použitého materiálu povlaku	Stříbrná až matně šedá	Leskle (zrcadlově)stříbrná až černá
Použití:	Letecký průmysl	Plechý, pletivo, trubky	Měřidla, hřídele, renovace součástí

Tabulka 3-2: Porovnání vlastností kovových povlaků (pokračování) [2]

Fyzikální a fyzikálně chemické povlakování:			
PVD a CVD vrstvy:			
Materiál výrobku:	Rychlořezné oceli, hliník, plasty	Odolnost vůči vysokým teplotám:	PVD- odolnost do cca 800 ⁰ C
Materiál povlaku:	Titan, chrom, hliník...	Odolnost vůči chemikáliím:	Dle chemického složení vrstvy
Metoda nanesení:	Napařováním, naprašováním	Odolnost vůči korozi:	Dle chemického složení vrstvy
Teplota procesu:	CVD-(1000-1100 ⁰ C) PVD-(pod 600 ⁰ C)	Barva povlaku:	Zlatá, růžovofialová, černá (dle chemického složení vrstvy)
Tloušťka povlaku:	CVD-Okolo 10μm, PVD- 1-4μm		
Použití:	Obráběcí nástroje pracující za vysokých řezných rychlostí		

3.2.2. Anorganické povlaky nekovové:

Anorganické povlaky nekovové chrání podkladový materiál tím, že vytvoří mezi podkladovým materiálem a okolním prostředím bariéru, která brání průchodu okolního prostředí k podkladovému materiálu. Dále chrání podkladový materiál změnou korozivní odolnosti podkladového materiálu vůči danému prostředí, popřípadě, jedná-li se o elektricky vodivé materiály, zajistí jim ochranu katodickou popřípadě anodickou.

Anorganické povlaky nekovové se vytvářejí mechanicky, chemicky anebo na základě fyzikálních vlastností. Tyto povlaky se dají dělit na anorganické nátěry, keramické smalty, žárově stříkané povlaky a konverzní vrstvy.

Anorganické nátěry:

Anorganické nátěry brání průniku okolního prostředí k podkladovému materiálu tím, že vytvoří mezi povrchem materiálu a okolím bariéru. Na povrch materiálu se nanáší nátěry nebo pasty, které obsahují látky, jež brání průniku okolního prostředí k danému materiálu. Tyto nátěry a pasty se užívají například při chemicko-tepelném zpracování. U cementování se na místa, která nemají být cementována, nanese pasta s obsahem mědi, u nitrídování se užívají pasty s obsahem cínu a například při oxidaci se používají pasty s obsahem oxidu boritého.

Anorganické nátěry dokáží kromě výše zmíněného způsobu ochrany chránit podkladový materiál tzv. katodicky. K tomuto způsobu ochrany se používají nátěry, které obsahují velké procento zinku. Tyto nátěry se na podkladový materiál nanáší stříkáním nebo natíráním.

Keramické smalty:

Keramické smalty chrání podkladový materiál tak, že vytvoří na podkladovém materiálu nerozpustnou celistvou vrstvu. Tato vrstva je vlastně k podkladovému kovu přitavena. Smalty se skládají z tetraedrů $(\text{SiO}_4)^{4-}$, které jsou složeny z kyselých (křemen apod.) anebo zásaditých (kaolin, živec apod.) sklotvorných oxidů a z pomocných surovin například z přidružených oxidů (oxid nikelnatý), kalidel (oxid titaničitý), barvítek (oxid chromitý, manganičitý a železný) a dalších oxidačních látek (dusitan draselný).

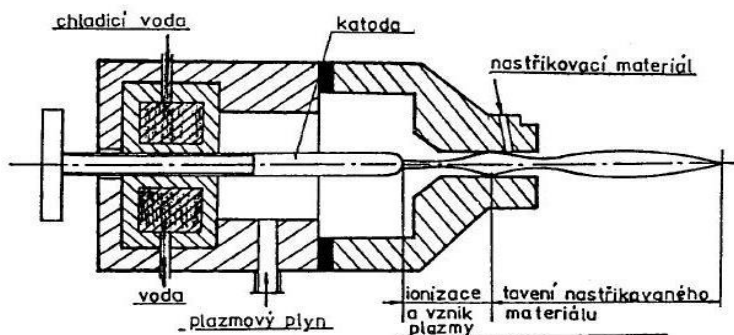
Smalty se nanáší buď jako jednovrstvé anebo dvouvrstvé, kde se nejprve vytvoří smalt základní a na něm smalt krycí. Základní smalt tvoří mezivrstvu mezi podkladovým kovem a krycím smaltem. Tento smalt nemá vlastnosti zaručující dostatečnou odolnost podkladovému materiálu. Jeho funkcí je vytvoření přídržné vrstvy krycímu smaltu.

Krycí smalt se nanáší na vypálený základní smalt. Krycí smalt má již takové složení, které chrání podkladový materiál proti negativním účinkům okolního prostředí. Smalty se na povrch materiálu nanáší stříkáním, máčením anebo ve formě břečky (suspenze) poléváním. Po nanesení na povrch se smalty vysuší a vypálí při teplotě 800-950 °C.

Žárově stříkané povlaky:

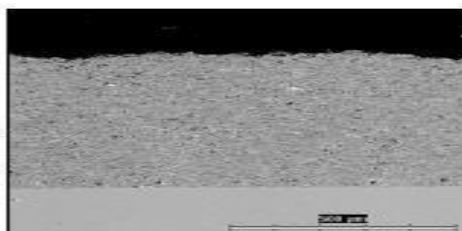
Při této technologii povrchové úpravy se na podkladový materiál nanášejí materiály, které mají vysoký bod tání. Tyto materiály se dělí na materiály metalické (nitridy a boridy přechodových kovů), materiály kovalentní (nitridy, karbidy a boridy titanu, hliníku a bóru)

a materiály keramické (iontové), mezi které patří oxidy hliníku, titanu a beryllia. K nanášení těchto materiálů se používají plazmové hořáky (viz. Obr.3-4), které dokáží vytvořit plazmu o teplotě až 20 000 °C.



Obr. 3-4: Schéma plazmového hořáku[2]

Žárově stříkané povlaky se nanášejí ve formě prášku, který je vrhán velkou rychlostí na povrch upravovaného materiálu, kde je natavován plazmou. Při tomto způsobu povrchové úpravy dochází k tepelnému ovlivnění podkladového materiálu a to do hloubky několika mikrometrů. Výsledná povlaková vrstva (viz. obr.3-5) má kvůli požadovaným mechanickým, chemickým a fyzikálním vlastnostem jiné složení než podkladový materiál, to má za následek velké rozdíly v roztažnosti povlaku a podkladového materiálu, obtížnou difuzi a rozdílnost v krystalografické struktuře. Výše zmíněné rozdíly mezi povlakem a podkladovým materiálem se odstraňují vytvořením skládaných povlaků, vytvořením vhodných mezivrstev anebo pomocí gradientních povlaků. Žárově stříkaných povlaků se užívá například při renovaci použitých součástí, které pak mohou mít lepší vlastnosti než s předešlou povrchovou úpravou.



Obr. 3-5: Plazmový nástřik karbidu[1]

Konverzní vrstvy:

Na vzniku těchto vrstev se podílí jak podkladový materiál, tak okolní prostředí. Mezi podkladovým materiálem a okolním prostředím dochází k chemickým a elektrochemickým reakcím, při kterých vzniká požadovaná konverzní vrstva. Konverzní vrstva vzniká od povrchu materiálu k jeho středu. Konverzní vrstvy se používají jednak jako protikorozní ochrana, jednak jako zvláštní druh mazadla, který se užívá při zabíhání a tváření součástí. Mezi konverzní vrstvy patří např. fosfátování nebo oxidycké vrstvy viz.- níže.

Fosfátování:

Při fosfátování dochází k přeměně rozpustného dihydrogenfosforečnanu na nerozpustný hydrogenfosforečnan. Během této povrchové úpravy se na povrchu ošetřovaného materiálu vytvářejí krystalické nerozpustné terciální fosforečnany železa, vápníku, manganu a dalších prvků. Fosfátováním vznikají vrstvy odolné proti mořské vodě a korozi. Vzniklá vrstva má šedou až černou barvu a váže některé organické látky, pomocí nichž získá pro podkladový materiál požadovanou ochranu. Fosfátování se provádí ponorem do vyhřívaných ocelových van. Tato technologie se používá pro zlepšení zábehových vlastností pohyblivých strojních částí, pro vytvoření izolačních vrstev anebo jako podkladová vrstva pod organické nátěry.

Před nanesením fosfátového povlaku se povrch materiálu zbavuje mastnot a korozivních napadení. K odstranění korozivního napadení se používá např. technologie moření. Tato technologie spadá do kategorie chemických úprav povrchu.

Oxidace kovů:

Při tomto způsobu povrchové úpravy se na povrchu materiálu vytváří vrstvy oxidů. Tyto vrstvy mají malou tloušťku a to okolo 500-800 nm. Oxidycké vrstvy tvoří na povrchu materiálu především dekorativní povlak, který chrání podkladový materiál proti zadírání a povětrnostním vlivům okolní atmosféry. Jejich nevýhodou je nízká korozivní odolnost. Oxidací kovů se upravuje hliník (eloxování hliníku), neželezné kovy (barvení) a oceli (černění ocelí).

Následující tabulka (tabulka 3-3) uzavírá tuto kapitolu, srovnává některé vlastnosti dvou výše uvedených anorganických povlaků nekovových a to keramických smaltů a zároveň stříkaných povlaků.

Tabulka 3-3: Porovnání vlastností anorganických nekovových povlaků[2]

	Anorganické povlaky nekovové:	
	Keramické smalty:	Žárově stříkané povlaky:
Materiál výrobku:	Ocel (nad 0,1%C obtížné nanesení smaltu), litina, hliník	oceli
Materiál povlaku:	Silotvorné oxidy a další pomocné látky	Boridy, karbidy, nitridy, keramika
Metoda nanesení:	Poléváním, stříkáním, namáčením	stříkáním
Teplota procesu:	Vypálení při (800-900 ⁰ C)	Až 20000 ⁰ C (teplota plazmatu- průměrná teplota podkladového materiálu je 200 ⁰ C)
Tloušťka povlaku:	Dle požadované životnosti součásti	0,2-2 mm
Odolnost vůči vysokým teplotám:	700-1100 ⁰ C	Vysoká odolnost (dle chemického složení)
Odolnost vůči chemikáliím:	Dle chemického složení smaltu	Vysoká odolnost (dle chemického složení)
Odolnost vůči korozi:	Dle chemického složení smaltu	Dle chemického složení povlaku
Barva povlaku:	Dle chemického složení smaltu	Dle chemického složení povlaku
Použití:	Pístní hlavy motorů	Sklářské formy, lopatky proudových motorů

4. Technologie černění povrchů strojních součástí⁸:

Tato kapitola je stěžejní částí této práce, vychází z předchozí kapitoly o povrchových úpravách a postupně přejde v jednu z posledních v této práci, která se zabývá alkalickým černěním oceli. Důvodem pro její uvedení je nutnost uvědomit si, že černit se dají i jiné materiály než oceli např. měď a hliník. Tato kapitola rozebírá různé způsoby černění u jednotlivých materiálů.

4.1. Černění materiálů kovových- železných:

V dobách minulých se používala řada způsobů černění. Mezi nejběžnější způsob černění ve středověku neboli “v dobách rytířů a králů“ patřilo takzvané kovářské černění. Tímto způsobem se černili nejen zbraně, ale například i šupinová zbroj. Postup byl jednoduchý. Na meč očištěný od okují a dalších nečistot se nanasla vrstva oleje (v dnešní době používají skupiny historického šermu například řepkový olej). Poté se meč natřený olejem zahříval nad plamenem tak, aby se olej nevžňal. Působením tepla od plamene došlo k rozložení oleje a k reakci s materiálem černěného povrchu. Výsledný povrch měl černou barvu. Pokud se nepovedlo načernit celý povrch anebo byl černý povlak stíratelný, nanasla se další vrstva oleje a proces se opakoval doté doby, než došlo k vytvoření nestíratelného černého povlaku.

Dalším postupem bylo a stále je ponoření černěné součásti do roztoku, uhličitanu draselného (K_2CO_3) a vody (H_2O) v poměru 10:1. Po vyjmutí z roztoku se černěná součást osuší nad plamenem a natře lakem s přídavkem nerosové černi.

V dnešní době se používá kromě alkalického černění tzv. kyselého černění. Tento způsob úpravy povrchu je jedním z nejstarších způsobů černění součástí. Technologie kyselého černění se používá hlavně u součástí, u kterých se nedá použít alkalické černění a u součástí, které jsou pájeny cínem. Touto technologií se na povrchu součásti vytvoří povlak složený z oxidu železitého (Fe_2O_3) a oxidu železnato-železitého (Fe_3O_4). Vzniklý povlak má černou barvu s nádechem do modra. Technologie kyselého černění se od technologie alkalického černění liší způsobem nanesení povlaku. U alkalického černění vzniká povlak ponořením součásti do černicí alkalické lázně, u kyselého černění se povlak nanáší ručně za pomoci oxidačního roztoku. Složení nanášeného roztoku je různé, obsahuje například chlorid železitý spolu s kyselinou solnou. Technologie kyselého černění se používá v optice na černění pouzder dalekohledů, v hodinářství a taktéž ve výrobě zbraní. Tato technologie se dále používá na opravy poškozeného povlaku.

Dalším způsobem černění strojních součástí je tzv. oxidofosfátování. Oxidofosfátování spočívá v ponoření upravované součásti do roztoku dusičnanu vápenatého, oxidu manganičitého a kyseliny fosforečné. Povlak vzniklý touto metodou má spojovat vlastnosti povlaků oxidických a fosfátových. Vzniklý povlak má vyšší odolnost proti korozi než povlak oxidický a dále větší odolnost vůči otěru než povlak fosfátový. Barevný odstín povlaku závisí na druhu upravovaného materiálu a na jeho předešlých úpravách. Povlaky na legovaných ocelích mají šedý, častěji nazelenalý odstín[5], zatímco součásti z uhlíkové oceli nekalené mají povlak barvy černé. Tloušťka vytvořeného povlaku je několik mikronů.

⁸ Zpracováno s pomocí[3,5,10], Ing. Dr. Josef Šíma, *Alkalické oxidování (černění) železných kovů*, Ing. Dr. Josef Šíma, *kyselého černění železných kovů* Normativní dokument MIL-DTL-13924D

Již delší dobu se k získání černého povlaku používá také technologie tzv. manganofosfátování. Upravovaná součást se ponoří do roztoku kyseliny fosforečné zahřáté na 95-98⁰C. Po vytvoření povlaku se součást z lázně vyjme, opláchne, usuší a konzervuje.

Vzniklý povlak má tloušťku 2-30 μm, přičemž vytvořená vrstva odolává teplotám do 300⁰C, je elektricky nevodivá a vykazuje vysokou odolnost proti opotřebením. Její korozivní odolnost závisí z velké míry na druhu použitého konzervačního prostředku. Výsledná barva může přecházet od šedé po černou. Barevný odstín závisí na použitých technologických podmínkách (doba manganofosfátování, teplota lázně, stav lázně apod.).

4.2. Černění neželezných materiálů:

4.2.1. Anodická oxidace hliníku kyselinou sírovou (H₂SO₄):

Touto technologií se na povrchu upravované součásti vytvoří vrstva oxidů o tloušťce

5-25 μm. Upravované součásti se ponoří do lázně o teplotě 16-20⁰C, s udržovaným pracovním napětím mezi 17-22V a proudovou hustotou 1-1,5A/dm². Množství kyseliny sírové v lázni se pohybuje okolo 160-185g/l. Výsledný vzhled (barva) povlaku závisí na chemickém složení podkladového materiálu. U slitin s vyšším obsahem hořčíku (Mg) a křemíku (Si) je barva povlaku šedá až černá, u většiny ostatních slitin vzniká povlak bezbarvý.

Pokud barevný odstín nevyhovuje požadavkům na povlak, je možno jej obarvit. K obarvení hliníku se používají čtyři způsoby a to: barvení hliníku ponorem, interferenční barvení hliníku, anodické barvení hliníku a elektrolytické barvení hliníku. Níže bude pojednáno o barvení hliníku ponorem a o elektrolytickém barvení hliníku.

1. Barvení hliníku ponorem:

Pro vytvoření barevného povlaku se součásti ponoří do vodného roztoku organického popřípadě anorganického barviva. Výsledný barevný odstín závisí na době ponoření součásti ve vodném roztoku barviva. Po vyjmutí součásti z roztoku je nutno povrch tzv. uzavřít. Uzavření povrchu je operace, během které se zvýší stálost povrchové vrstvy, zlepší se její vzhled a mechanické vlastnosti. Při této operaci dojde k uzavření pórů v oxidycké vrstvě. Uzavření povrchu se provádí např. ve vodných roztocích s destilovanou vodou zahřátých

na 90⁰C. V těchto roztocích zůstávají obarvené součásti až 60 minut, poté jsou vyndány a osušeny.

2. Elektrolytické barvení hliníku:

Při tomto způsobu barvení povlaku se součást ponoří do kyselého roztoku, obsahujícího různé sloučeniny kovů (nikl, měď apod.). Do roztoku je dále zaveden střídavý elektrický proud. Po zavedení střídavého elektrického proudu se v pórech povlaku složeného z oxidu hlinitého vyloučí oxidy kovů obsažených v kyselém roztoku. Výsledná barva povlaku závisí na použité sloučenině kovu v kyselém roztoku.

4.2.2. Chemické černění mědi a mosazi:

Černění mědi se provádí v roztocích hydroxidu sodného (NaOH) a chloridu sodného (NaCl). Tyto dvě látky vytvoří sloučeninu, která se skládá, ze 75% hydroxidu sodného (NaOH) a 25% chloridu sodného (NaCl). Černicí lázeň obsahuje 120g/l této směsi. Během černění se teplota černicího roztoku pohybuje v rozmezí 93-100⁰C.

Mosaz se černí buď ve stejných roztocích jako měď, popřípadě se povrch upravované součásti nejprve aktivuje v roztoku, které obsahuje směs hydroxidu sodného a chloridu sodného. Aktivační lázeň má teplotu 93-100⁰C.

Upravované předměty v této lázni zůstávají po dobu 5-10 minut. Po vyjmutí z aktivační lázně se předměty umísťují do výše uvedené lázně určené k černění mědi, kde získají své konečné vlastnosti. Barva výsledného povlaku nezávisí jen na době černění a koncentraci lázně, ale také velmi závisí na obsahu zinku a na předchozích metalurgických operacích.

Následující tabulka (tabulka 4-1) srovnává závěrem této kapitoly vybrané vlastnosti alkalického černění, kyselého černění a oxidofosfátování.

Tabulka 4-1: Srovnání technologie alkalického černění s technologií kyselého černění a s technologií oxidofosfátování[2,3]

	Alkalické černění:	Kyselé černění:	Oxidofosfátování:
metoda nanesení povlaku:	Ponorem	Ručně	ponorem
teplota procesu:	135-145[⁰ C]	teplota okolí	100[⁰ C]
Doba tvorby povlaku:	10-120[⁰ min]	podle velikosti povlakované plochy	40-45[⁰ min]
Struktura povlaku:	Amorfní	Amorfní	amorfní
tloušťka povlaku:	0,6-2,5[⁰ μm]	cca do 2,5[⁰ μm]	několik mikrometrů
barva povlaku:	hnědočerná, modročerná, Černá	modročerná, černá	černá, černozeleňá, černomodrá
Použití:	zbraně, drobné ocelové zboží	zbraně, hodinářství, oprava poškozeného povlaku	drobné ocelové zboží

5. Alkalické černění⁹:

Technologií alkalického černění se na povrchu upravované součásti vytváří souvislý povlak černé barvy. Níže uvedená tabulka (tabulka 5-1) srovnává vybrané vlastnosti povlaku vytvořeného metodou alkalického černění s dalšími výše uvedenými technologiemi povrchových úprav. Tloušťka vrstvy, která vznikne metodou alkalického černění, se pohybuje v rozmezí několika mikrometrů, proto vytvořený povlak nemění výrazně rozměry upravované součásti. Před nanesením povlaku je nutné povrch součásti upravit a to mechanicky a chemicky o čemž pojednává následující podkapitola-0

Tabulka 5-1: Srovnání alkalického černění s různými druhy povrchových úprav[2,3]

	Anorganické povlaky:				Organické povlaky:
	Nekovové povlaky:			Kovové povlaky:	
	Alkalické černění:	Fosfátové:	Žárově stříkané povlaky:	Žárově stříkané povlaky:	Plasty
Materiál výrobku:	Běžné konstrukční oceli (za speciálních podmínek litina a oceli legované)	Oceli, zinek a další barevné kovy	Oceli	Oceli, dřevo, papír, sklo, keramiku, tkaninu, plasty	Oceli, litiny, dřevo
Materiál povlaku:	Oxidycké vrstvy	Fosfátové vrstvy	Boridy, karbidy, nitridy, keramika	kov	plast
Metoda nanesení:	Ponorem	Ponorem, postřikem	Stříkáním	stříkáním	Plátováním, stříkáním, naprašováním

⁹ Zpracováno s pomoci[1,3], Ing. Václav Kraus, *Povrchy a jejich úpravy*, Ing. Dr. Josef Šíma, *Alkalické oxidování (černění) železných kovů*

Tabulka 5-1: Srovnání alkalického černění s různými druhy povrchových úprav (pokračování)[2,3]

	Anorganické povlaky:				Organické povlaky:
	Nekovové povlaky:			Kovové povlaky:	
	Alkalické černění:	Fosfátování:	Žárově stříkané povlaky:	Žárově stříkané povlaky:	Plasty
Délka trvání procesu:	Podle chemického složení (10-120[min])	Podle chemického složení (5-60[min])	dle velikosti upravované plochy a požadované tloušťky povlaku	dle velikosti upravované plochy a požadované tloušťky povlaku	podle technologie nanášení (naprašování v elektrostatickém poli- 2-30[min])
Teplota procesu:	135-145[°C]	50-98[°C]	Až 20000[°C] (teplota plazmatu- teplota podkladového materiálu je 200[°C])	Cca 2850[°C] (plynová metalizace- teplota plamene)	Podle technologie nanášení (vířivé nanášení- PVC [280-340°C])
Odolnost vůči vysokým teplotám:	tepelná stálost do cca 300[°C]	tepelná stálost do cca 300°C	odolnost dle chemického složení	Podle stříkaného kovu	Teflon (PTFE) [-170÷250°C]
Odolnost proti otěru:	Dobrá otěruvzdornost	Snižuje tření (pohyblivé strojní součásti)	Zvyšují otěruvzdornost	nezjištěno	měkčený PVC

Tabulka 5-1: Srovnání alkalického černění s různými druhy povrchových úprav (pokračování)[2,3]

	Anorganické povlaky:				Organické povlaky:
	Nekovové povlaky:			Kovové povlaky:	
	Alkalické černění:	Fosfátová ní:	Žárově stříkané povlaky:	Žárově stříkané povlaky:	Plasty
Odolnost vůči chemikáliím (odolnost vůči korozi):	Nízká (možno zvýšit dodatečnými úpravami) rozpuštný v silně agresivních kyselinách, stálý v organických rozpouštědlech	ano	Vysoká odolnost (dle chemického složení)	Podle stříkaného kovu	vysoká Polyetylen (PE), polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS)
Magnetická vodivost a elektrická vodivost:	Magneticky a elektricky vodivý	Elektricky nevodivé	magneticky a elektricky vodivé	podle stříkaného kovu	magneticky a elektricky nevodivé
struktura:	amorfní struktura	Krystalická struktura	krystalová struktura	krystalová struktura	krystalická (PE, PP, PPE) amorfní (PS,PVC,PTFE)
Barva povlaku:	hnědočerná, modročerná, Černá	Šedá až černá	Dle chemického složení povlaku	Podle stříkaného kovu	jakákoliv

Tabulka 5-1: Srovnání alkalického černění s různými druhy povrchových úprav (pokračování)[2,3]

	Anorganické povlaky:				Organické povlaky:
	Nekovové povlaky:			Kovové povlaky:	
	Alkalické černění:	Fosfátová ní:	Žárově stříkané povlaky:	Žárově stříkané povlaky:	Plasty
Použití:	Zbraně, drobné ocelové zboží	Podkladová vrstva pod organické nátěry, izolace- trafoplechy	Sklářské formy, lopatky proudových motorů	Renovace strojních součástí	Automobilový průmysl, domácnosti

5.1.1. Mechanické a chemické úpravy povrchu

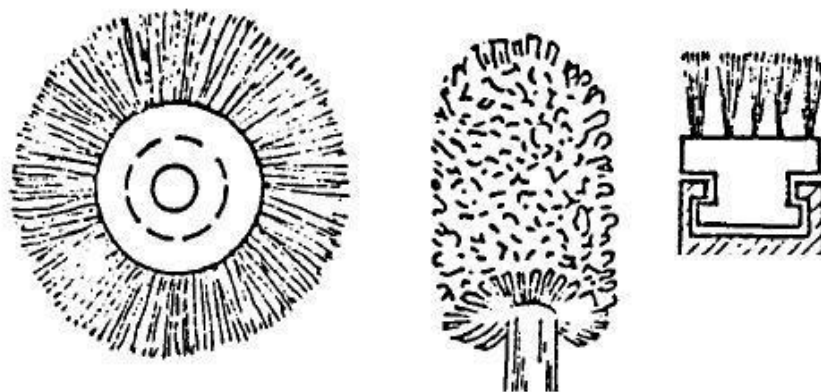
Před vlastním černicím procesem se z povrchu materiálu musí odstranit nečistoty, mastnota popřípadě zbytky korozivních napadení, protože brání vytvoření ochranného povlaku. K odstranění těchto nečistot se užívají metody mechanické a chemické. Mezi mechanické metody patří technologie kartáčování, broušení a leštění, mezi chemické metody patří technologie odmašťování a moření. K leštění a broušení se velmi často užívají hedvábné brousící kotouče, pomocí nichž získá nanášený povlak vysoký lesk a jakost. Oproti tomu matný vzhled získá upravovaný povrch pomocí pemzy anebo otryskáním jemnou ocelovou drtí.

Po mechanické úpravě následuje úprava chemická, pomocí které se z povrchu materiálu odstraňují zbytky okují a dalších látek jako jsou oleje, tuky anebo leštící pasty, protože, jak bylo uvedeno výše, snižují účinnost černicí lázně a brání vzniku požadované ochranné vrstvy.

Mechanické úpravy povrchu:

Kartáčování:

Kartáčování se užívá k odstranění rzi, původních nátěrů anebo jako mezioperace mezi broušením a leštěním povrchu součástí. Ke kartáčování se používají kartáče vyrobené z vlnitého nebo rovného ocelového popřípadě mosazného drátu. Pomocí kartáčů, které jsou vyrobeny z ocelového drátu, se odstraňují z povrchu materiálu hrubší nečistoty. Pokud se kartáčování používá jako mezioperace mezi broušením a leštěním, používají se měkké kotouče vyrobené z přírodních a umělých vláken.

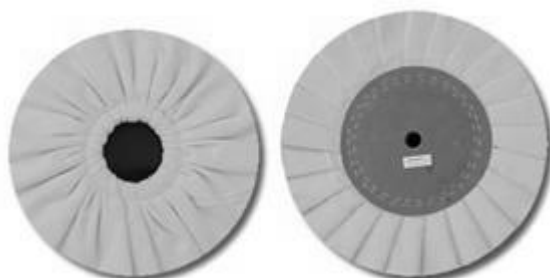


Obr. 5-1: Nástroje používané ke kartáčování povrchu (první zleva- fibrový), druhý zleva- drátěná štětka, třetí zleva kartáč s vyměnitelnými svazky[2]

Broušení a leštění:

Tyto dvě technologie slouží ve velké části případů k odstranění nerovností povrchové vrstvy. Při broušení a leštění dochází k postupnému ubírání vrchních vrstev materiálu. Broušení se používá k odstranění velkých nerovností na povrchu materiálu a lze ho dělit na broušení hrubé a jemné. K broušení se používají brusné pásy, popřípadě brusné kotouče s volnou nebo pevnou vazbou abraziva.

K leštění se používají látkové, plstěné nebo kožené kotouče (viz. Obr. 5-2), na které se nanáší leštící pasty. Tyto pasty obsahují různé abrazivní prvky jako například oxid chromitý (leštící zeleň), oxid hlinitý (umělý korund) nebo jemnou křemelinu. Při leštění dochází spolu s odběrem materiálu k plastické deformaci povrchové vrstvy. Povrch po této operaci má velmi vysoký (zrcadlový) lesk a velmi nízkou drsnost.



Obr. 5-2: Leštící kotouče- první zleva řasený, druhý skládaný, tyto kotouče jsou určeny k leštění umělých hmot a pryskyřičných laků[12]

Chemické úpravy povrchu:

Odmaštění:

K odmaštění součásti se velmi často používá technologie horkého alkalického odmašťování. Odmašťovací prostředek se skládá z látek, které odstraňují z povrchu materiálu zbytky olejů a leštících past a následně zabraňují jejich zpětnému ulpění na povrchu upravovaného povrchu. Dále odmašťovací prostředek obsahuje různé tenzidy a inhibitory koroze, které zvyšují korozivní odolnost povrchu. Při tomto způsobu odmašťování se upravovaná součást ponořuje do lázně, která má okolo 70-90⁰C. Tato teplota se volí kvůli lepšímu působení odmašťovacího prostředku na povrch upravované součásti.

Po odmaštění povrchu součásti následuje oplach vodou. Oplachem se z povrchu materiálu odstraní zbytky usazenin, které by mohli znehodnotit lázeň následující. Touto lázní je lázeň mořicí. Mořicí lázeň slouží k odstranění rzi a dalších napadení, která se nedají odstranit pomocí odmašťování.

Moření:

Moření je proces, během kterého se z povrchu materiálu odstraňuje korozivní napadení. Moření se provádí buď chemicky, nebo elektrochemicky. K moření strojních součástí se užívají kyseliny, kyselé soli anebo alkalická činidla. Mezi kyseliny, které se k moření užívají, patří kyselina sírová, která slouží k odstranění korozivních napadení a okují z žíhaných nebo válcovaných součástí. Kromě kyseliny sírové se k moření užívá kyselina chlorovodíková. Moření materiálu v kyselině chlorovodíkové se provádí před smaltováním a cínováním. Během moření v této kyselině dochází k dokonalému rozpuštění rzi a okují na upravovaném materiálu, zatímco při použití kyseliny sírové k tomu nedochází a zbylé nečistoty vytvoří na hladině mořicí lázně kal.

Po moření stejně jako po odmaštění upravované součásti následuje oplach vodou, po kterém následuje vlastní proces alkalického černění.

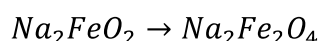
5.1.2. Vlastní černicí proces:

V černicí lázni dochází k procesu oxidace povrchu součásti. Lázeň je složena z koncentrovaného hydroxidu sodného a oxidovadla například dusičnanu sodného anebo dusičnanu draselného. Po ponoření součásti do lázně dojde mezi ní a upravovanou součástí k reakci a k vytvoření souvislého černého matného nebo lesklého povlaku. Tento povlak je složen z oxidu železitého (Fe_2O_3), popřípadě ze směsi oxidu železitého a oxidu železnato-železitého (Fe_3O_4). Níže uvedené chemické rovnice popisují vznik povlaku v pěti krocích.

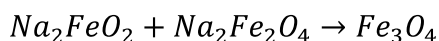
1. Krok.: železo se v alkalické lázni rozpouští za vzniku soli železnaté[5]



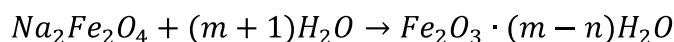
2. Krok: oxidovadlo z lázně oxiduje sůl železnatou na železitou[5]



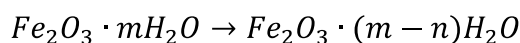
3. Krok: sůl železnatá reaguje se solí železitou za vzniku kysličníku železnato-železitého[5]



4. Krok: hydrolyza soli železité na hydrát kysličníku železitého[5]



5. Částečná dehydratace hydrátu kysličníku železitého[5]



Vzniklý povlak je tvořen spojením různých krystalizačních středisek, tj. míst, ve kterých se vytvořily zárodky budoucího povlaku. Tyto zárodky tvoří jehličkovité krystalky, jejichž vznik závisí na množství oxidovadel v černicí lázni.

Tloušťka vzniklého povlaku závisí na koncentraci louhu, na němž taktéž závisí bod varu černicí lázně. Bod varu se pohybuje okolo 145 stupňů celsia a neměl by být vyšší než 172 stupňů celsia. Pokud černicí lázeň dosáhne této teploty anebo ji překročí, přestane se tvořit na povrchu součásti povlak. Toto zastavení tvorby oxidického povlaku je způsobeno zpomalením reakce mezi solemi obsaženými v alkalické černicí lázni (sůl železnatá $\{Na_2FeO_2\}$ a sůl železitá $\{Na_2Fe_2O_4\}$) a taktéž tím, že se oxid železnato-železitý v silně koncentrovaných alkalických lázních rozpouští.

Tloušťka vzniklého povlaku závisí, jak již bylo výše uvedeno na koncentraci louhu (sodného) a poté také na době ponoru upravované součásti v černicí lázni. Poté co je součást ponořena v alkalické černicí lázni více jak 30 minut, dochází k téměř úplnému zastavení vzrůstu tloušťky oxidického povlaku a k ukončení procesu černění.

5.1.3. Úpravy po vlastním černění povrchu:

Po načernění povrchu strojní součásti následují jeho další úpravy. Nejprve je důkladně omyt, aby se z povrchu odstranily zbytky černicí soli, a poté usušen. Po osušení se na povrch upravované součásti nanese konzervační olej, vosk nebo vazelína, která zvýší korozivní odolnost oxidyckého povlaku. Pro lepší přilnutí konzervačních látek se nejprve upravovaná součást ponoří do slabého roztoku kyseliny chromové anebo vodného roztoku mýdla popřípadě do roztoku kyseliny fosforečné a chromové.

5.1.4. Výhody a nevýhody alkalického černění:

Při alkalickém černění vzniká na povrchu upravované součásti tenký oxidový povlak, jehož nanesením se nemění rozměry upravované součásti, ale díky jeho malé tloušťce neposkytuje upravované součásti velkou korozivní odolnost. Tato odolnost je zajištěna dodatečnými úpravami černěného povrchu. Výhodou alkalického černění je, že se během procesu černění nemění mechanické vlastnosti a tvrdost povrchu upravované součásti.

Nevýhodou alkalického černění je nemožnost upravovat povrchy materiálů, které jsou pájeny cínem anebo cínovou pájkou a to z důvodu rozpouštění cínu v silně alkalickém prostředí černicí lázně. Velké díly je nutno před procesem černění přehřát, aby nedošlo k ochlazení lázně vlivem jejich ponoření. Černicí lázně mají dlouhou životnost, kterou znehodnocuje oxid uhličitý obsažený ve vzduchu. Znehodnocování černicí lázně se dá zabránit například přidáním hašeného vápna.

5.1.5. Vzhled černěného povrchu:

Vzhled výsledného oxidyckého povlaku závisí na úpravách, které předchází vlastnímu černění tj. broušení a leštění (matnost a lesklost) a poté na stavu a pracovních podmínkách černicí lázně. Pokud je černicí lázeň v pořádku a pracuje za správné teploty, je výsledný povlak syté tmavě černé barvy. Pokud není černicí lázeň v pořádku, vznikají na upravovaném povrchu součásti nedokonalosti, mezi něž patří:

Vytvoření stíratelného černého povlaku- Tento povlak vzniká, pokud je koncentrace černicí lázně příliš nízká. Zvýšení její koncentrace se provádí přidávkem hydroxidu sodného.

Vytvoření povlaku se světle hnědým až fialovým zabarvením- Tento defekt je způsoben nedostatečnou dobou černění, jeho náprava spočívá v opakovaném černění součásti při prodloužené době oxidování.

Vytvoření stíratelného korozi podobného povlaku- Tento nános vzniká především na litinových a cementovaných výrobcích. Vzniku tohoto povlaku se zamezí delší dobou odmašťování a moření upravované součásti, popřípadě zvýšením teploty černicí lázně.

Světlé skvrny na povrchu materiálu- Tyto skvrny vznikají z důvodu nedostatečného odmaštění nebo moření upravované součásti nebo tím, že se upravovaná součást během procesu černění dotýkala boku vany popřípadě dalšího výrobku v černicí lázni. Vzniku skvrn se brání dostatečnou dobou odmašťování a moření anebo vhodnějším rozmístěním součástí v černicí lázni.

Zabarvení upravované součásti do zelené až rezavě hnědé barvy- Toto zabarvení povlaku vzniká, pokud je teplota anebo koncentrace černicí lázně příliš vysoká, popřípadě se může jednat o znamení, že černicí lázeň obsahuje velké množství kalů. Vzniklé kaly je poté nutné z černicí lázně před dalším černěním odstranit. Pokud je příčinou příliš vysoká koncentrace (teplota) černicí lázně, je ji možné snížit přidáním určitého množství vody.

5.1.6. Vlastnosti černěného povrchu:

Některé vlastnosti černěného povrchu již byly v této práci zmíněny, pro přehlednost budou zopakovány. Vytvořená oxidická vrstva je velmi tenká, nemění rozměry upravovaného materiálu. Barevný odstín vytvořené vrstvy je závislý na úpravách, které proběhly před černicím procesem a na vlastním černicím procesu. Vrstva je amorfní složená z oxidů a to oxidu železitého (Fe_2O_3) a oxidu železatoželezitého (Fe_3O_4). Významnou vlastností vrstvy je její chemická stálost proti slabým i silným hydroxidům, dále pak chemická odolnost vůči většině organických rozpouštědel mezi které patří např. trichloretylen. Tepelná stálost této vrstvy je do 300°C^{10} . Vytvořená oxidická vrstva je dále odolná vůči ohybu a otěru. Povlak vytvořený metodou alkalického černění nemění elektrické a magnetické vlastnosti povrchu chráněného materiálu. Dále nedochází díky nízké teplotě černicího procesu ke změně struktury a tvrdosti upravovaného materiálu. Nevýhodou takto vytvořené vrstvy je nestálost vůči silným kyselinám.



Obr. 5-3: Vzhled černěného povrchu (upínací trn černěný technologií alkalického černění- černění se provádí za účelem zlepšení estetického vzhledu, zvýšení korozivní odolnosti a zlepšení kluzných vlastností.)[14]

¹⁰ Do teploty 300°C se nemění barevný odstín vytvořené oxidické vrstvy.

5.1.8. Způsoby alkalického černění:

Způsob „Z“:

Celková délka černění podle způsobu Z trvá 75-120 minut.

Povlakované součásti se nejprve mechanicky a chemicky očistí. Poté jsou ponořeny do oxidační lázně. Tato lázeň se skládá z hydroxidu sodného, měkké vody a dusitanu sodného. Jejich poměr se nastaví tak, aby lázeň vřela při 135⁰C.

Vlastní černicí proces se skládá ze tří stupňů. V prvním stupni jsou černěné součásti ponořeny do lázně o teplotě 135⁰C. Následně se lázeň provaří tak, aby její teplota stoupla na 139-140⁰C. Součásti se vyjmou a opláchnou studenou vodou. Poté se opět vrátí do černicí lázně a černí se do doby než teplota lázně dosáhne 143-145⁰C. Poté se teplota lázně sníží na 138⁰C a součástky se z lázně vyjmou.

Ve druhém a třetím stupni se součásti černí pozvolna z teploty 136⁰C na teplotu 142-147⁰C. Poté se z lázně vyjmou a opláchnou horkou a studenou vodou. Délka tohoto oplachování je různá dle tvarů a složitosti upravované součásti od 5-60 minut. Vzniklý povlak má sytě černou barvu o vysokém lesku. Pro zvýšení korozivní odolnosti se povlak konzervuje. Ke konzervaci se používá buď konzervační olej anebo směs petroleje a konzervačního oleje.

Způsob citoxitový:

„Černění se provádí v jedné alkalické lázni s bodem varu 125-150⁰C[5].“ Součásti se černí po dobu 5-20 minut. Výsledný povlak tvoří oxid železnato-železitý (Fe₃O₄) barvy sytě černé. Výhodou citoxového způsobu černění je, že není nutné povlakované součásti před nanesením povlaku odmašťovat.

Způsob černění za pomoci tzv. ferrosulfidování:

Tento způsob černění není přímo oxidační. Do černicí lázně se kromě louhu sodného přidává tzv. sirný květ¹¹. Bod varu této lázně se pohybuje okolo 125-150⁰C. Součásti se v lázni černí po dobu 30-50 minut. Po vyjmutí z lázně se součásti opláchnou horkou vodou předeřátou na 90-95⁰C, usuší horkým vzduchem a nakonzervují horkým olejem zahřátým na teplotu 105⁰C. Vzniklý povlak je tvořen sírníkem železnatým.

Způsob elektrolytického černění oceli:

Černicí lázeň se skládá z hydroxidu sodného s možným přídavkem dalších oxidovadel (chlórečnany) a látek pufrujících¹² (fosforečnany, hlinitany, octany apod.). Bod varu černicí lázně se pohybuje okolo 60-90⁰C, přičemž doba oxidování se pohybuje okolo 30-60 minut. Černěná součást se do obvodu připojuje jako anoda, katodu tvoří železná vana lázně. Do obvodu se pouští buď střídavý anebo stejnosměrný proud. Tloušťka vytvořeného povlaku se pohybuje okolo 2μm. Nevýhodou tohoto způsobu černění je, že k ponoření povlakované součásti do lázně se mohou použít pouze závěsy nikoliv koše. Mezi výhody patří nižší doba oxidování a nižší koncentrace používané alkalické lázně než při klasickém způsobu černění bez použití elektrického proudu.

¹¹ - Sirný květ: Síra v práškovém stavu, vzniká ochlazením sirných par

¹² Pufrující látky: Látky schopné udržovat konstantní hodnotu pH.

Způsob černění pro ocel s různým obsahem uhlíku:

Povlakované součásti se nejprve mechanicky a chemicky očistí. Poté jsou ponořeny do alkalické lázně. Teplota alkalické lázně se pohybuje podle chemického složení oceli

okolo 135-145⁰C. Níže uvedená tabulka (tabulka 5-2) udává, v jakém rozmezí teplot by se měla pohybovat počáteční a konečná teplota alkalické lázně. Doba černicího procesu se pohybuje okolo 90-95 minut s tím, že se součásti během oxidačního procesu z lázně několikrát vyjmou a opláchnou studenou vodou (tato operace se provádí kvůli získání kvalitnějšího povlaku). Po dokončení oxidačního procesu se součásti opláchnou studenou vodou a po oschnutí se ponoří do 1-2% vodního roztoku mýdla přehřátého na 70-80⁰C.

Po aplikaci mýdelného roztoku se součásti osuší a naimpregnují konzervačním olejem přehřátým na teplotu 105-110⁰C.

Tabulka 5-2: Srovnání počátečních a konečných teplot alkalické lázně pro ocel s různým obsahem uhlíku[5]

	Počáteční teplota lázně:	Konečná teplota lázně:
Ocel s obsahem uhlíku (C) do 0,4%:	142-145 ⁰ C]	153-155 ⁰ C]
Ocel s obsahem uhlíku (C) do 0,7%	138-140 ⁰ C]	150 ⁰ C]
Ocel s obsahem uhlíku nad 0,7%:	136-137 ⁰ C]	143 ⁰ C]

Způsob černění použitý v experimentální části práce:

Pro experimentální část práce byl použit jednostupňový způsob černění, který spočívá v ponoření experimentálního materiálu do alkalické černicí lázně zahřáté pro potřeby experimentu od teploty 133⁰C do teploty 143⁰C. V této lázni je experimentální materiál ponechán po dobu 5-45 minut. Poté je opláchnut vodou a usušen. Před vlastním černicím procesem je experimentální materiál zbaven nečistot pomocí odmašťovací a mořicí lázně, po nichž vždy následuje oplach vodou.

6. Experimentální program:

Experimentální program se zabývá řešením praktické části bakalářské práce a vychází z problematiky technologie alkalického černění oceli, o kterém bylo pojednáno v předchozí kapitole č.5 Alkalické černění. Hlavním cílem této části je vytvoření dokumentu, který by sloužil jako kontrola tloušťky, korozních a vzhledových vlastností vytvořeného povlaku metodou alkalického černění ve firmě PILSEN TOOLS s.r.o.. První podkapitola se zabývá zkušebním materiálem a jeho základními vlastnostmi, druhá podkapitola se zabývá použitými zkušebními metodami a poslední podkapitola obsahuje výsledky jednotlivých měření.

6.1. Zkoušené materiály:

Jako zkušební materiály byly zvoleny konstrukční a nástrojové oceli. Tyto oceli byly vybrány firmou PILSEN TOOLS s.r.o., důvodem pro volbu těchto materiálů bylo to, že se tyto materiály používají k této povrchové úpravě v omezené míře anebo se vůbec nepoužívají. Důvodem proč se tyto materiály téměř nepoužívají, je jejich chemické složení a obsah legujících prvků, který značně omezuje nebo zastavuje tvorbu ochranné vrstvy. Dalším důvodem je příliš dlouhá tvorba povlaku a nevyhovující barevný odstín povlaku.

Prvním zkoušeným materiálem je ocel třídy ČSN 14 220. Její chemické složení je uvedeno v následující tabulce (tabulka 6-1). Tato ocel je vhodná k cementování a objemovému tváření za tepla. Jedná se o ocel, která je dobře svařitelná a obrobitelná. Ocel třídy ČSN 14 220 se používá na ozubená kola, vřetena obráběcích strojů, na zubové spojky apod.

Tabulka 6-1: Chemické složení oceli třídy ČSN 14 220[8]

materiál:	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni
14 220	0,14-0,19	1,1-1,4	0,17-0,37	max. 0,035	max. 0,035	0,8-1,1	max. 0,3

Konstrukční ocel třídy ČSN 12 050 je ocel určená k povrchovému kalení a zušlechťování. Její chemické složení je uvedeno v následující tabulce (tabulka 6-2). Ocel ČSN 12 050 se používá při výrobě ozubených kol, klikových hřídelů, čepů apod.

Tabulka 6-2: Chemické složení oceli třídy ČSN 12 050[8]

materiál:	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu
12 050	0,42-0,5	0,5-0,80	0,17- 0,37	max. 0,040	max. 0,040	max. 0,30	max. 0,030	max. 0,025

Ocel třídy ČSN 16 420 je ocel určená k cementování. Její chemické složení udává následující tabulka (tabulka 6-3).

Tabulka 6-3: Chemické složení oceli třídy ČSN 16 420[8]

materiál:	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni
16 420	0,1-0,17	0,3-0,6	0,17-0,37	max. 0,035	max. 0,035	0,6-0,9	3,2-3,7

Nástrojová ocel třídy ČSN 19 436 je chromovou ocelí. Její chemické složení udává následující tabulka (tabulka 6-4). Tato ocel je určena pro výrobu fréz, hoblovacích nožů a strojních pilek.

Tabulka 6-4: Chemické složení oceli třídy ČSN 19 436[8]

materiál:	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr
19 436	1,8-2,10	max. 0,5	max. 0,5	max. 0,035	max. 0,035	11-13

6.2. Zkušební metody:

6.2.1. Zkouška korozivní odolnosti:

Ke stanovení korozivní odolnosti povlaku se používá pěti procentní vodný roztok kyseliny šťavelové. $(\text{COOH})_2$, $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ (narušuje sklo)

Na připravený povlak se nanese pomocí kapátka (pipety) tři kapky zkušební roztoku. Nanesený roztok se po osmi minutách expozice opláchne studenou vodou a usuší horkým vzduchem. Poté se provede vyhodnocení jednotlivých vzorků a to podle níže uvedené tabulky (tabulka 6-5).

Níže uvedená tabulka (tabulka 6-5) udává, jak se zkouška hodnotí dle normy DIN 50938.

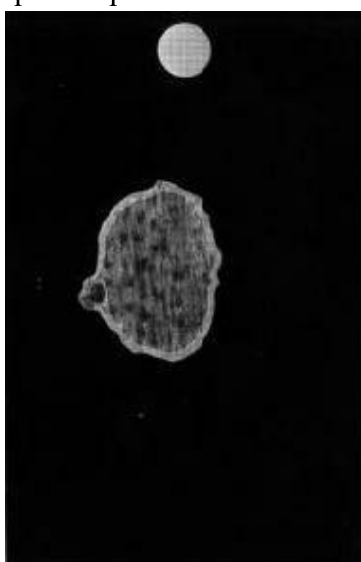
Tabulka 6-5: Určení stupně protikorozivní ochrany povlaku[9]

Vzhled exponované plochy:	kvalita povlaku:
šedá se světle šedými skvrnami	nedostačující
černá až hnědočerná s neizolovanými skvrnami	dobrá

Níže uvedené obrázky, zobrazují povlak po zkoušce korozivní odolnosti



Obr. 6-3: Povlak špatné kvality (nevyhovuje)[10]



Obr. 6-2: Povlak s hraničními vlastnostmi (nevyhovuje)[10]



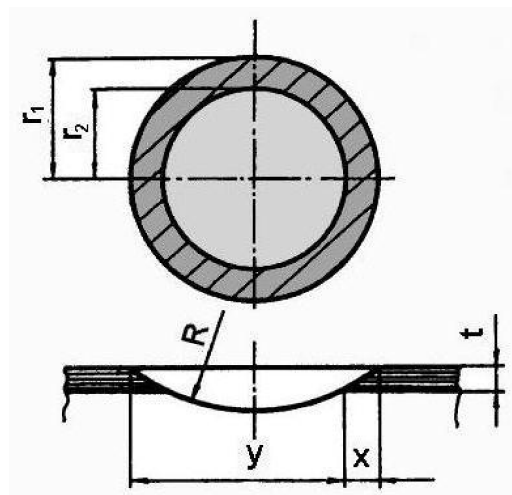
Obr. 6-1: Povlak s dobrými vlastnostmi (vyhovuje)[10]

6.2.2. Určení tloušťky povlaku:

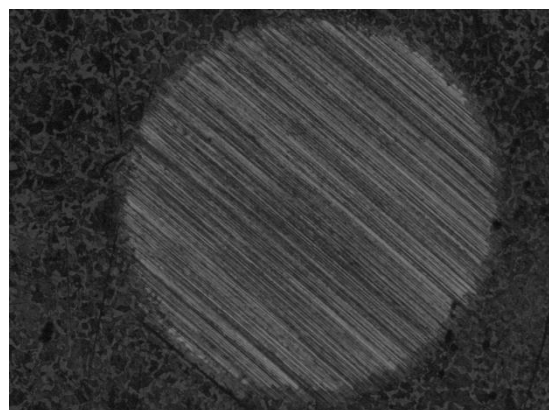
Tloušťka vytvořené oxidycké vrstvy je velmi malá, pohybuje se v řádech desetin mikrometru, a proto bylo rozhodováno mezi několika způsoby měření. Prvním způsobem bylo nedestruktivní měření pomocí metody vířivých proudů, kdy se měří vzdálenost od elektricky vodivého podkladu k sondě. Touto metodou se měří povlaky, které mají tloušťku 0-500 μm , což bylo pro experiment ideální. Druhou zvažovanou variantou byla destruktivní metoda výbrusu. „Tato metoda je univerzální metodou určení tloušťky povlaku přičemž se jedná o metodu relativně nejpřesnější (maximální chyba cca $\pm 1\%$)“ [3]. Z těchto metod byla nakonec vybrána metoda výbrusu, o které je pojednáno níže. Tato metoda byla zvolena díky své jednoduchosti provedení a dostupnosti v laboratořích KMM na ZČU v Plzni. Metoda vířivých proudů byla zavržena, protože se do začátku experimentu nepodařilo dané zařízení sehnat.

Metoda výbrusu je metoda destruktivní, kdy se provede na povrchu vzorku výbrus pomocí brusného kotouče nebo ocelové kuličky s brusnou pastou. Po výbrusu se povrch vzorku naleptá. Leptání se provádí kvůli zvýraznění rozhraní mezi povlakem a základním (podkladovým) materiálem. Poté se vzorek umístí pod mikroskop, kde se provede vlastní měření tloušťky povlaku. Měření tloušťky povlaku se provede, při použití ocelové kuličky s brusnou pastou tak, že se změří rozměry mezikruží, které vznikne po vtisku kuličky do vzorku viz.(Obr.6-4). Změřené rozměry se následně dosadí do níže uvedené rovnice [2]. Použité symboly, jsou vysvětleny pod uvedeným obrázkem (Obr. 6-4).

$$t = (R^2 - r_2^2)^{0,5} - (R^2 - r_1^2)^{0,5} \cong \frac{x \cdot y}{2 \cdot R}$$



6-4: Určení tloušťky povlaku metodou výbrusu [2] (R- poloměr kuličky, r_1 - poloměr vnější, r_2 - poloměr vnitřní), t- tloušťka povlaku, x- přechodová oblast (základní mat.-povlak), y- vzdálenost od přechodové oblasti k okraji vtisku kuličky



6-5: Vzorek po provedení kalotestu

6.2.3. Barevný odstín povlaku (povrchu):

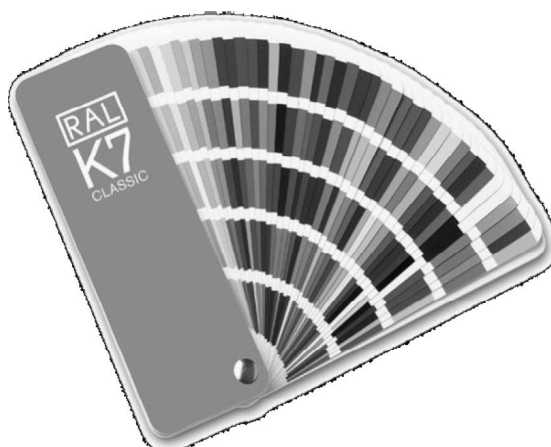
Barevný odstín povlaku je určen pomocí normalizovaného systému barev RAL. Systém barev RAL byl vytvořen v Německu počátkem dvacátého století. V té době tento systém definoval 40 barevných odstínů. V současné době tento systém definuje více než 1600 barevných odstínů. Pro tuto práci byl vybrán vzorník barev RAL CLASSIC, který definuje 213 „základních“ odstínů barev. Barevné odstíny jsou v tomto vzorníku řazeny pomocí čtyřčíselného kódu, kde první číslice značí barevnou skupinu odstínů (1. Žluté odstíny, 2. Oranžové atd.. Pro tuto práci mají hlavní význam odstíny ve skupině č.7, odstíny šedi a ve skupině č.9, odstíny bílé a černé). Zbývající číslice udávají pořadí barevného odstínu v dané skupině. Jednotlivé barevné odstíny ve vzorníku RAL KLASSIC jsou snímány pomocí foto spektrometru za specifických podmínek, které definuje německá norma DIN 5033. „Barevné odstíny jsou snímány při geometrii d/8 stupňů a při normovaném světle d65.[11]“. Štítky s barevnými odstíny se používají tak, že se přiloží k povrchu, jehož barevný odstín je potřeba určit.

Systém barev RAL byl vybrán z mnoha dalších systémů barev, mezi které patří systém barev NCS, RGB popř. CMY (CMYK).

Systém barev RAL KLASSIC byl vybrán k určení barevného odstínu vytvořeného povlaku z několika důvodů.

Prvním důvodem pro vybrání porovnávacího vzorníku je jeho cenová dostupnost. Porovná-li se cena, za kterou se prodávají kalorimetry popřípadě spektrometry¹³ s cenou, za kterou se prodává porovnávací vzorník barev, vyjde rozdíl až několik desítek tisíc korun.

Druhým důvodem pro volbu porovnávacího vzorníku je jeho pohotovost a jednoduchost použití. Při kontrole vytvořeného povlaku stačí přikládat jednotlivé štítky s barevnými odstíny ke kontrolovanému povlaku, dokud nebude nalezen ten správný barevný odstín. Nevýhodou tohoto způsobu stanovení barevného odstínu je jeho přesnost, která je nižší než, při stanovení barevného odstínu pomocí foto spektrometru. Tato přesnost závisí na stavu uživatele, který bude provádět porovnání barevných odstínů. Stavem uživatele je myšlen jeho zdravotní stav, únava popř. zrakové indispozice. Avšak přesnost určení barevného odstínu uživatelem je pro účel této práce dostatečná.



Obr. 6-6: Použitý vzorník barev RAL KLASSIC[11]

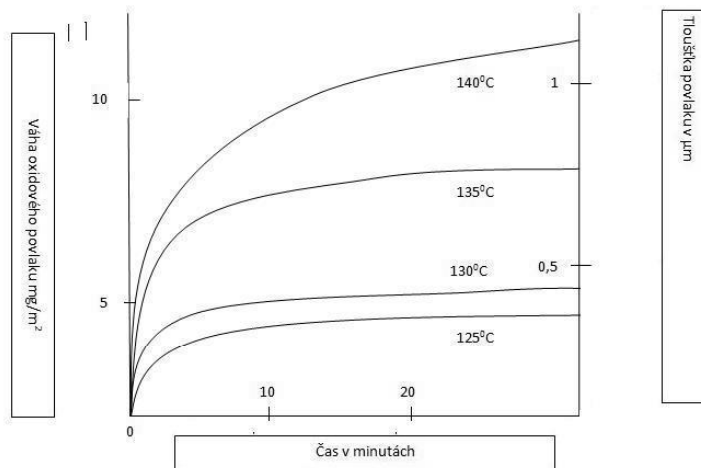
¹³ Kalorimetry a spektrometry: Zařízení používaná k určení barevného odstínu barvy

6.2.4. Dosažené výsledky:

Vzorky byly nejprve předběžně upraveny broušením a leštěním, z důvodu lepšího vyhodnocení zkoušky tloušťky povlaku. Kvůli zajištění stejných podmínek byly všechny vzorky před vlastním černicím procesem ponořeny do odmašťovací a mořicí lázně. V těchto lázních byly vzorky zanechány po dobu 5 minut. Poté následoval vlastní černicí proces. Vzorky byly černěny v časovém kroku 5 -ti minut a to od času pěti minut do času čtyřiceti pěti minut. Teplota černicí lázně byla při každé sérii pokusů stejná a to při prvním testování 139-140⁰C, při druhém 136-137⁰C a nakonec při teplotě 142-143⁰C. Po černicím procesu byly vzorky opláchnuty vodou a osušeny proudícím teplým vzduchem. Nakonec byly vzorky přemístěny do laboratoře, kde byly provedeny výše uvedené zkoušky.

Při zkouškách bylo zjišťováno, při jaké teplotě a době černění se na povrchu materiálu vytvoří oxidycký povlak o požadovaném odstínu černé barvy. Přípustné jsou odstíny černé s náběhem do modra, nepřijatelné jsou světlé odstíny šedé barvy a odstíny rzi.

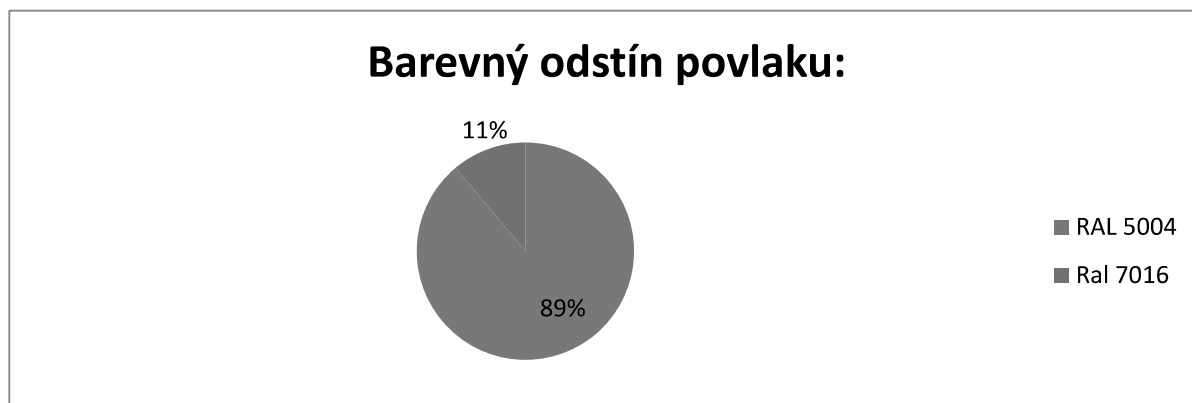
Od povlaku se požaduje dostatečná korozní odolnost, stou úzce souvisí jeho tloušťka, proto by se tloušťka povlaku měla pohybovat v rozmezí hodnot, jež zobrazuje graf 6-1.



graf 6-1: Závislost tloušťky a hmotnosti povlaku v závislosti na teplotě a době černění[5]

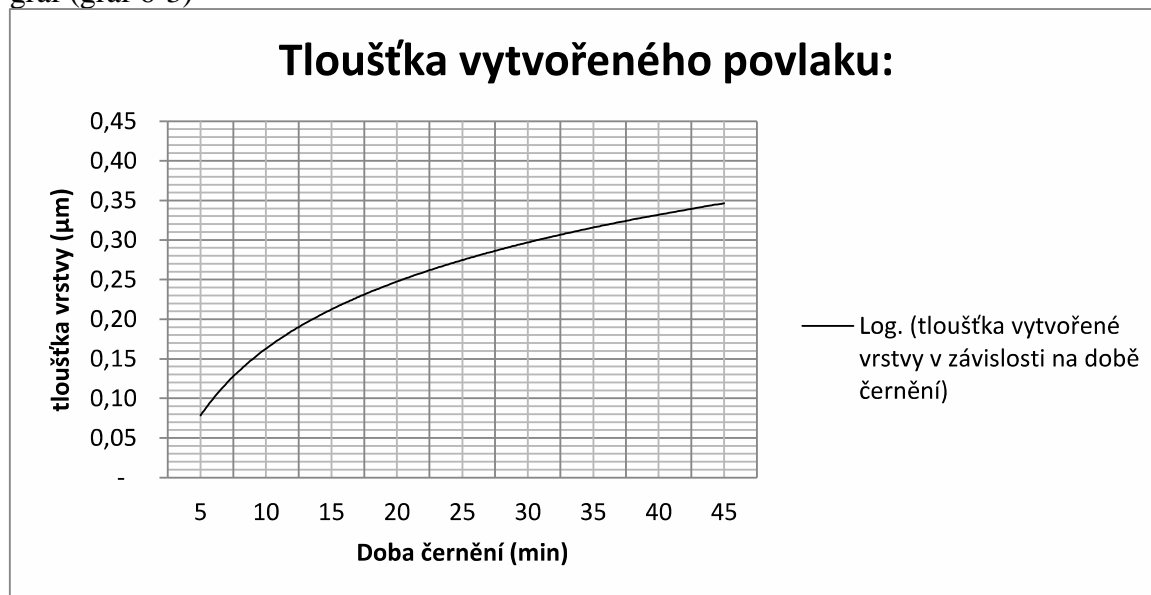
Materiál ČSN 14 220, černění při teplotě 139-140°C:

Při této teplotě černicí lázně se začal vytvářet na materiálu povlak, který měl už po prvních pěti minutách černění barevný odstín modročerné barvy dle stupnice RAL odstín RAL 5004. Povlak si udržel tento barevný odstín během celého pokusu a to v rozmezí černicích časů 5-40 minut. Jakmile bylo dosaženo doby černění 45 minut, vytvořil se na povlaku bílo šedivý nálet dle stupnice RAL barevný odstín RAL 7016. Tento nálet byl pravděpodobně způsoben nedostatečným oplachem černicí alkalické lázně. Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů povlaku zobrazuje následující graf (graf 6-2).



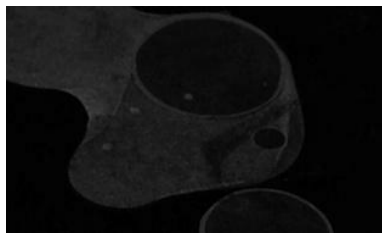
graf 6-2: Vytvořené barevné odstíny- procentuální zastoupení [vlastní výpočty excel]

Kalotestem (test používaný pro určení tloušťky povlaku) bylo zjištěno, že tloušťka vytvořeného povlaku zpočátku (během prvních 10 minut) rychle narůstá, přičemž se proces nárůstu tloušťky zpomalil po 20 minutě černění. Nárůst tloušťky povlaku pokračoval i poté avšak již ne tak rychlým tempem. Rychlost nárůstu tloušťky povlaku zobrazuje následující graf (graf 6-3)

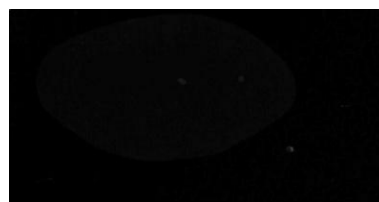


graf 6-3: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

Zkouškou na korozní odolnost povlaku pomocí kyseliny šťavelové, bylo zjištěno, že povlaky, vytvořené během prvních 5-15 minut jsou nevyhovující. Během zkoušky u nich došlo k úplnému anebo částečnému porušení povlaku s tím, že byl vidět podkladový materiál. Povlaky, vznikající od 20-45 minut vykazovali dobrou až velmi dobrou odolnost proti korozi. U těchto povlaků nedošlo k jejich destrukci, pouze došlo v místě aplikace vodného roztoku kyseliny šťavelové ke změně barevného odstínu povlaku. Záznam této zkoušky je na fotografiích v příloze dokumentu. Níže jsou pro srovnání uvedeny dvě fotografie a to vzorku č.1 (obr. 6-7), černěného pět minut a vzorku č.4 (obr.6-8) černěného dvacet minut.



Obr. 6-8: Vzorek č.1- Nevyhovující korozivní odolnost

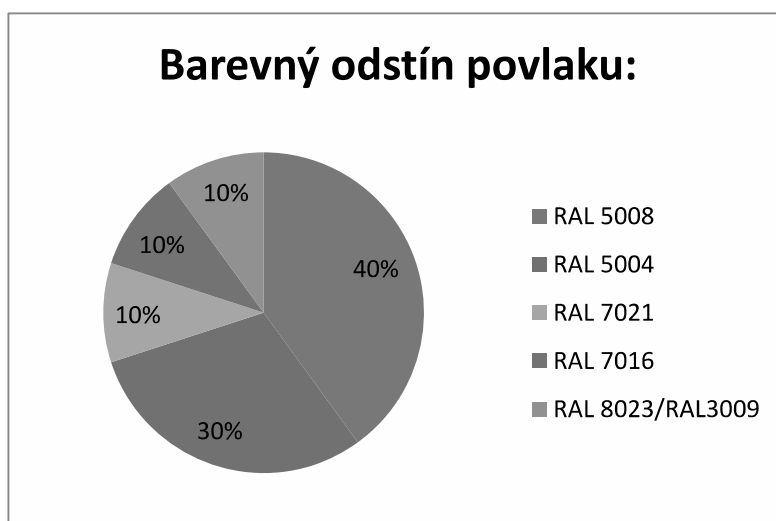


Obr. 6-7: Vzorek č.4- Vyhovující korozivní odolnost

Materiál ČSN 14220, černění při teplotě 136-137⁰C:

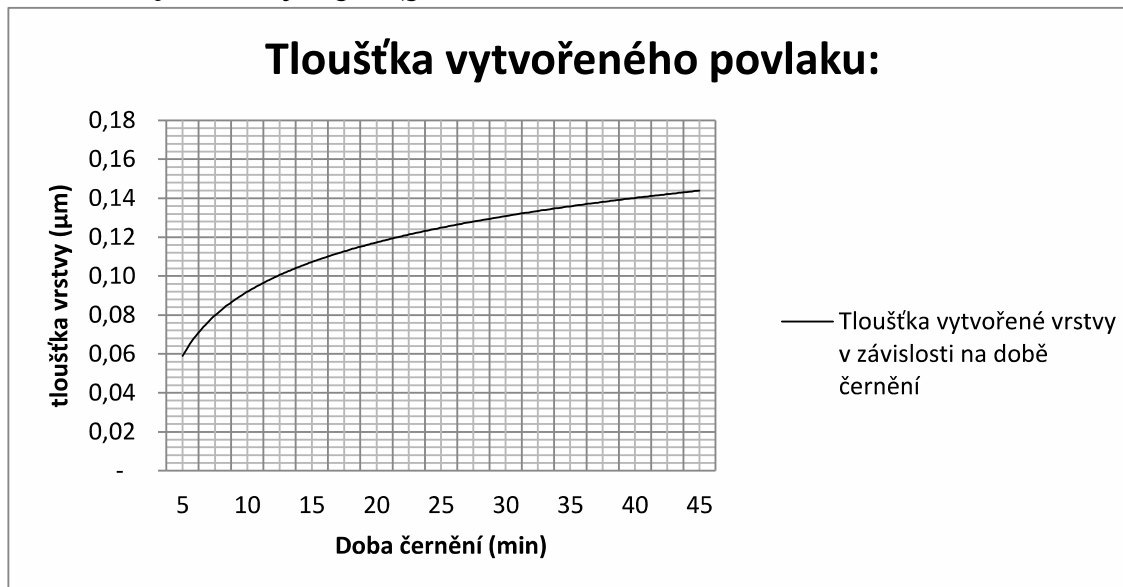
Při této teplotě černicí lázně došlo k vytvoření povlaku, jehož vzhled se v průběhu času skokově měnil. Během pokusu se vytvořil povlak, který vykazoval barevný odstín

od antracitově černé RAL 7016, přes šedomodrý odstín RAL 5008 a modročerný odstín RAL 5004 po černošedý odstín RAL 7021. Na vzorcích, které byly černěny déle, než 40 minut se objevil rzi podobný lehce stíratelný nálet o barevném odstínu dle stupnice RAL odstín RAL 8023 hnědo oranžový a odstín RAL 3009 oxidově červený odstín. Vznik tohoto stíratelného povlaku byl nejspíše zapříčiněn nízkou teplotou černění popřípadě nízkou dobou moření před vlastním černicím procesem. Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů vyskytujících se na jednotlivých površích vzorků zobrazuje následující graf (graf 6-4). Z grafu je zřejmé, že během černění došlo k vytvoření více barevných odstínů, nežli při černění na teplotu 140⁰C. Tím pádem vykazuje černění na teplotu 136⁰C daleko menší stálost barevného odstínu oproti černění na 140⁰C.



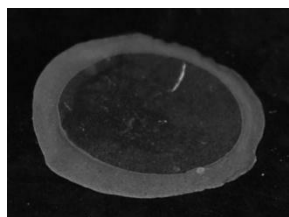
graf 6-4: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstín povlaku
[vlastní výpočty Excel]

Kalotestem bylo zjištěno, že tloušťka vytvořeného povlaku nevzrůstá v počátku stejně strmě jako při teplotě černicí lázně 139-140⁰C. Během prvních deseti až patnácti minut se proces zvětšování tloušťky téměř linearizuje, s tím, že po dosažení konečného experimentálního času (45 min.) dosahuje tloušťka vytvořeného povlaku přibližně tloušťce povlaku, který vznikl při černění na 139-140⁰C během prvních 10 minut. Růst tloušťky povlaku zobrazuje následující graf (graf 6-5).

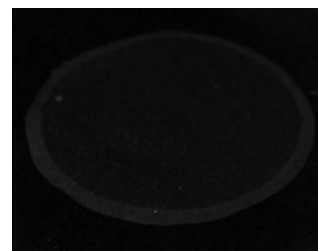


graf 6-5: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

Zkouškou na korozivní odolnost povlaku bylo zjištěno, že vytvořený povlak nevyhovuje v rozmezí všech měřených časů (5-45 min.). Pro zajištění korozivní odolnosti by bylo nutno vzorky černit delší dobu (řádově o desítky minut delší dobu), popřípadě by bylo vhodné využít některou z forem více stupňového černění (černění dvoustupňové apod.¹⁴). Záznam této zkoušky je na fotografiích v příloze tohoto dokumentu. Pro demonstraci zkoušky jsou níže uvedeny dvě fotografie a to vzorku černěného 5 minut a vzorku černěného 45 minut.



Obr. 6-10: Nevyhovující korozivní odolnost (vzorek vykazoval velmi nízkou korozivní odolnost, došlo k velmi rychlému odstranění vytvořeného povlaku)



Obr. 6-9: Nevyhovující korozivní odolnost (Vzorek vykazoval vyšší korozivní odolnost než vzorky předchozí, avšak stále nedostačující)

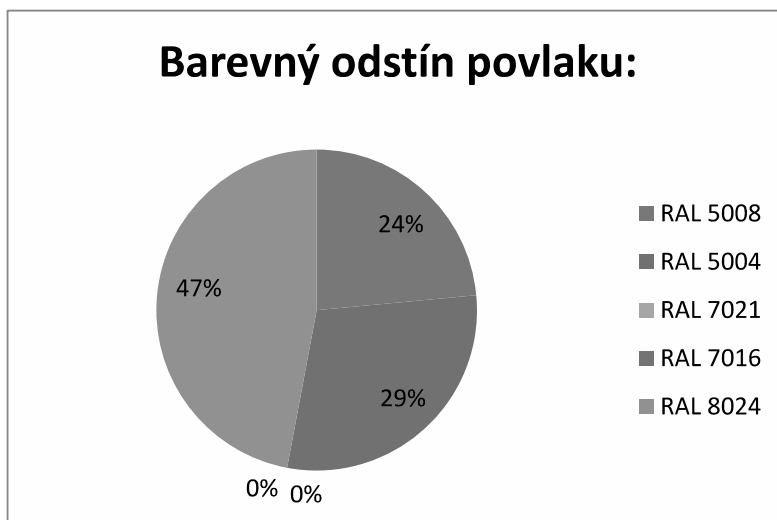
¹⁴ Více o těchto technologiích pojednává kapitola 5.1.8 Způsoby alkalického černění, popřípadě publikace od pana Dr. Ing. Josefa Šímy- Alkalické oxidování (černění železných kovů) [NTK]

Materiál ČSN 14220, černění při teplotě 142-143⁰C:

Při této teplotě černicí lázně došlo k vytvoření povlaku, který přecházel od odstínu šedomodrého RAL 5008 k odstínu modročernému RAL 5004. U vzorků, které byly černěny déle, jak pět minut, došlo k vytvoření rzi podobnému stíratelnému povlaku o odstínu RAL 8024 (hnědo béžová). Stíratelnost tohoto povlaku se snižovala se vzrůstající dobou černění. Vznik tohoto povlaku byl zapříčiněn vysokou teplotou černicí lázně. Vysoká teplota černicí lázně byla zapříčiněna vysokou koncentrací černicí soli v lázni. Vzniku tohoto povlaku by se zabránilo přidáním určitého množství vodu, čímž dojde ke snížení bodu varu lázně.

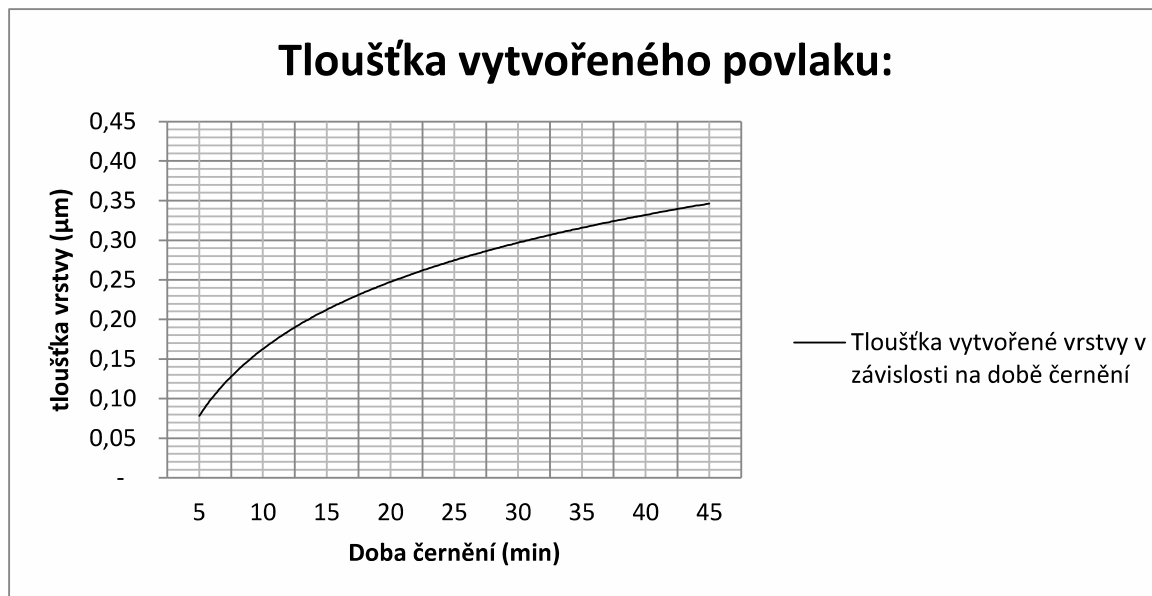
Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů zobrazuje následující graf (graf 6-6), z grafu je patrné, že vytvořené povlaky byly více rozmanité, než při černění

na teplotu 139-140⁰C. Navíc došlo při této teplotě černění k vytvoření rzi podobnému povlaku, který je na černěných součástech nepřípustný.



**graf 6-6: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstín povlaku
[vlastní výpočty Excel]**

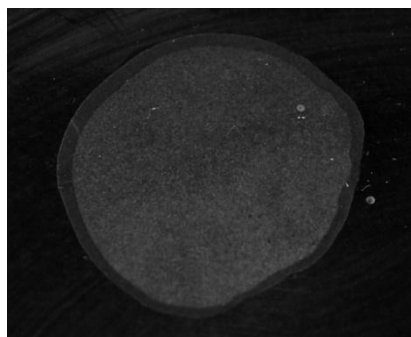
Kalotestem, bylo zjištěno, že tloušťka vytvořeného povlaku vzrůstá obdobnou rychlostí, jako při černění na 139-140⁰C. Tloušťka vytvořeného povlaku zpočátku (během prvních 10 minut) rychle narůstá, přičemž se proces nárůstu tloušťky zpomalil po 20 minutě černění. Nárůst tloušťky povlaku pokračoval i poté avšak již ne tak rychlým tempem. Rychlost nárůstu tloušťky povlaku zobrazuje následující graf (graf 6-7).



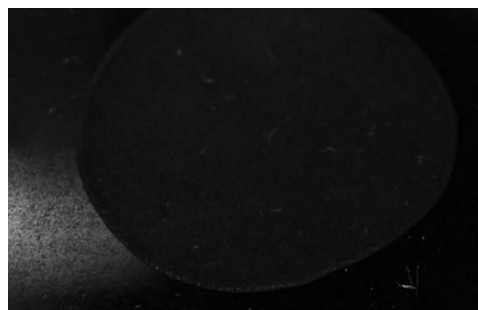
graf 6-7: : Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

Zkouškou na korozní odolnost povlaku pomocí kyseliny šťavelové, bylo zjištěno, že povlaky, vytvořené během prvních 5-15 minut jsou nevyhovující. Během zkoušky u nich došlo k úplnému anebo částečnému porušení povlaku, s tím že byl vidět podkladový materiál. Povlaky, vznikající od 20-45 minut vykazovali dobrou odolnost proti korozi. U těchto povlaků nedošlo k jejich destrukci, pouze došlo v místě aplikace vodného roztoku kyseliny šťavelové ke změně barevného odstínu povlaku. Záznam této zkoušky je na fotografiích v příloze dokumentu. Níže jsou pro srovnání uvedeny dvě fotografie a to

vzorku č.1.1 (obr.6-11), černěného pět minut a vzorku č. 5.2 (obr.6-12), černěného dvacet pět minut.



Obr. 6-11: Nevyhovující korozivní odolnost (vzorek vykazoval velmi nízkou korozivní odolnost, došlo k velmi rychlému odstranění vytvořeného povlaku)



Obr. 6-12: Vzorek vykazuje vyhovující korozivní odolnost, nedošlo k rozpuštění povlaku, pouze k jeho naleptání

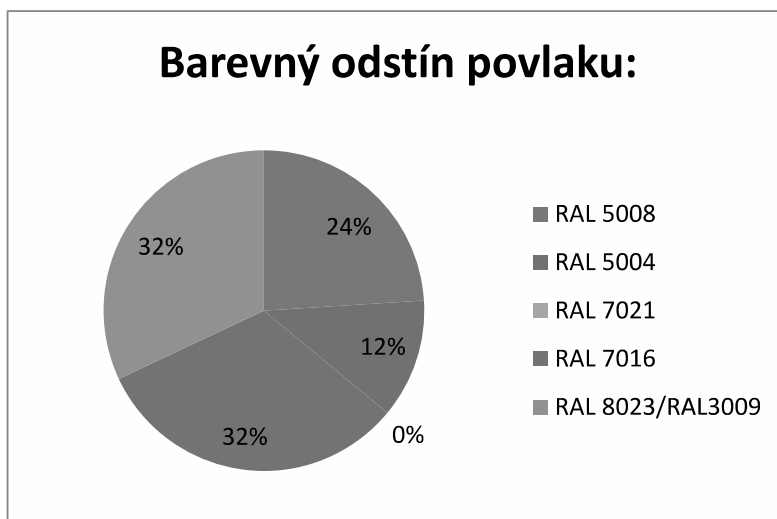
Materiál ČSN 14220, černění při teplotě 133-134⁰C:

Při této teplotě černicí lázně došlo k vytvoření povlaku, který přecházel od odstínu šedomodrého RAL 5008 k odstínu modročernému RAL 5004. U vzorků, které byly černěny déle, jak pět minut, došlo k vytvoření rzi podobnému lehce stíratelnému povlaku o odstínu RAL 8024 (hnědo béžová) a antracitově šedého povlaku, který šel odstranit pomocí lihu o odstínu dle značení RAL 7016. Vznik rzi podobného povlaku byl zapříčiněn nízkou teplotou černicí lázně, antracitově šedý povlak vznikl nejspíše díky nedostatečnému odstranění černicí lázně následujícím oplachem.

Vzniku rzi podobného povlaku by se zabránilo přidáním určitého množství černicí soli, popřípadě změnou nastavení elektronického vytápění černicí vany.

Vzniku povlaku antracitově šedé barvy dle RAL odstín RAL 7016, by se zabránilo důkladnějším oplachem vzorků, například cirkulací vody ve vaně s oplachovou vodou.

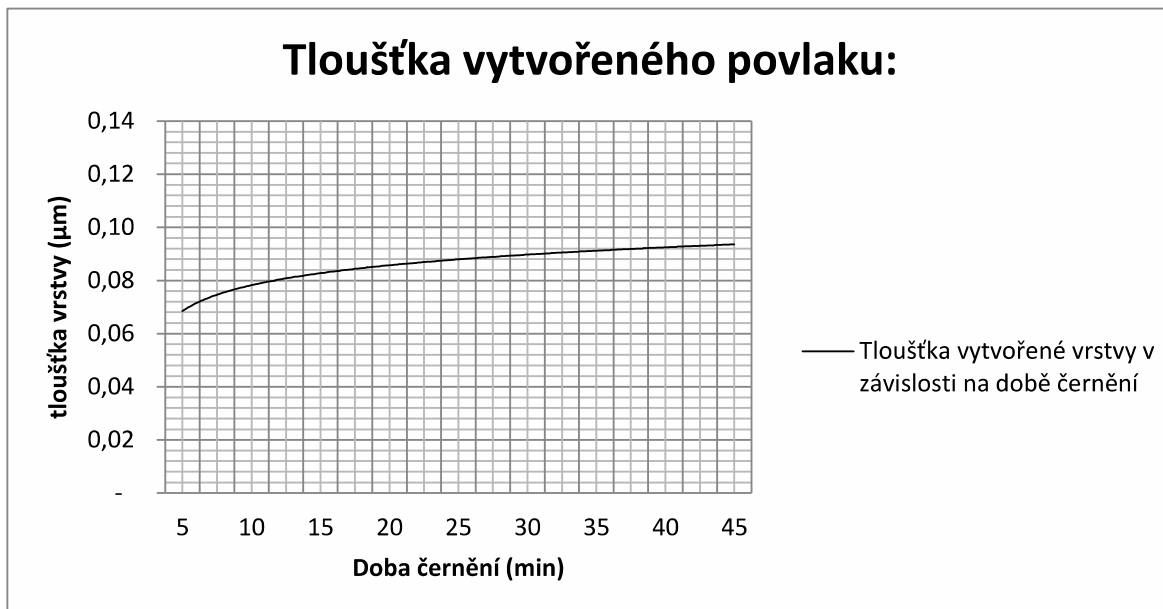
Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů zobrazuje následující graf (graf 6-8), z grafu je patrné, že nejčastěji se vyskytujícím barevným odstínem je odstín dle RAL odstín RAL 5008 šedomodré barvy, za nimi následují odstíny dle stupnice RAL odstín RAL 5004 modročerné barvy. Dále se vyskytující povlaky o barevném odstínu RAL 8024 hnědo béžové barvy jsou na černěných součástech nepřijatelné, stejně tak jako povlaky odstranitelné pomocí lihu o odstínu dle stupnice RAL odstín RAL 7016 antracitově šedé barvy.



6-8: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstín povlaku [vlastní výpočty Excel]

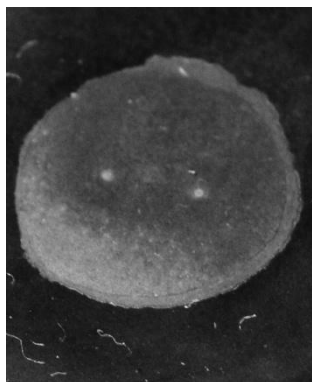
Kalotestem, bylo zjištěno, že růst tloušťky vytvořeného povlaku je velmi pomalý a v průběhu času se téměř zastavuje.

Rychlost růstu tloušťky povlaku zobrazuje následující graf (graf 6-9).

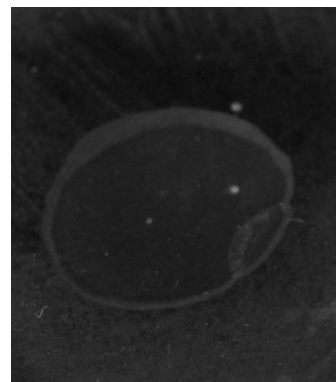


graf 6-9: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

Zkouškou na korozivní odolnost povlaku bylo zjištěno, že vytvořený povlak nevyhovuje v rozmezí všech měřených časů (5-45 min.). Pro zajištění korozivní odolnosti by bylo nutno vzorky černit delší dobu (řádově o desítky minut delší dobu), popřípadě by bylo vhodné využít některou z forem více stupňového černění. Záznam této zkoušky je na fotografiích v příloze tohoto dokumentu. Pro demonstraci zkoušky jsou níže uvedeny dvě fotografie a to vzorku černěného 5 minut a vzorku černěného 45 minut.



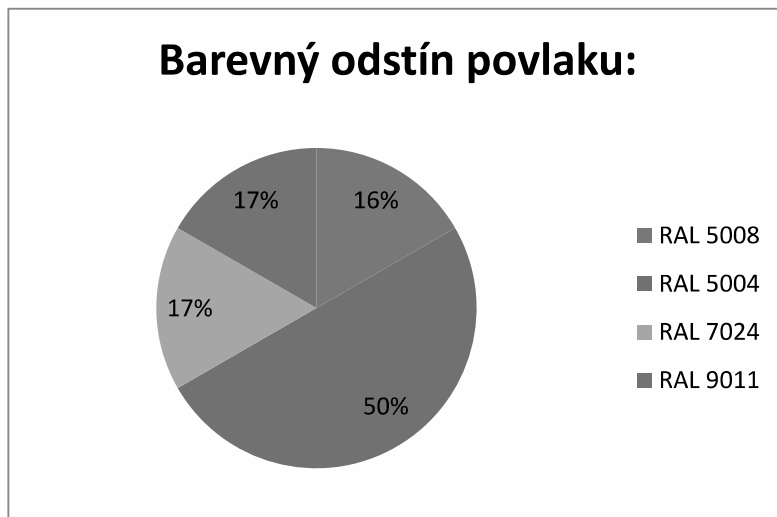
Obr. 6-13: Nevyhovující korozivní odolnost (vzorek vykazoval velmi nízkou korozivní odolnost, došlo k velmi rychlému odstranění vytvořeného povlaku)



Obr. 6-14: Nevyhovující korozivní odolnost (vzorek vykazoval velmi nízkou korozivní odolnost, došlo k velmi rychlému odstranění vytvořeného povlaku)

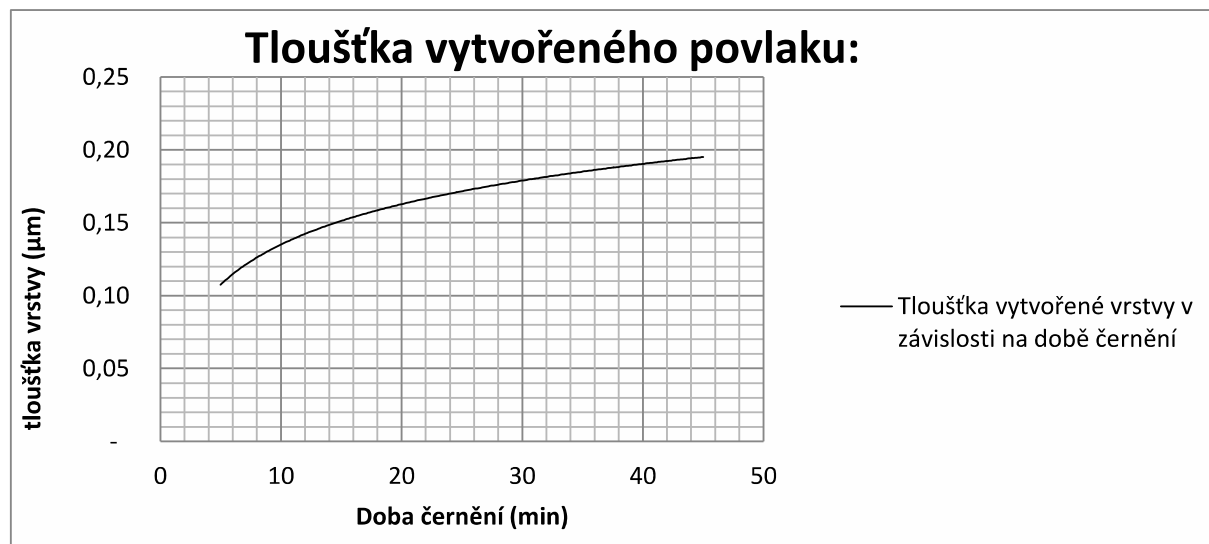
Materiál ČSN 12050, černění při teplotě 136-137°C:

Při této teplotě černicí lázně došlo k vytvoření povlaku, který přecházel od odstínu šedomodrého RAL 5008 k odstínu grafitově černému RAL 9011. Procentuální zastoupení všech barevných odstínů ukazuje následující graf (graf 6-10), z grafu je vidět, že nejvíce se při této teplotě černění vyskytoval odstín modro-černý dle stupnice RAL odstín RAL 5004 za ním následují odstíny RAL 5008 modro-šedé barvy, odstín RAL 7024 grafitově-šedé barvy a odstín RAL 9011 grafitově-černé barvy.



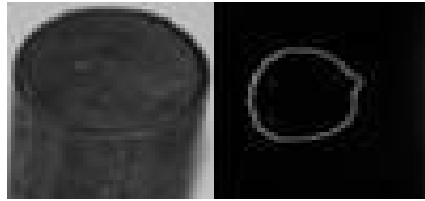
graf 6-10: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů povlaku
[vlastní výpočty Excel]:

Kalotestem, zkouškou tloušťky povlaku, bylo zjištěno, že tloušťka vytvořeného povlaku pozvolně narůstá viz. Graf (6-11), Tloušťka vytvořeného povlaku zpočátku (během prvních 15 minut) rychle narůstá, přičemž se proces nárůstu tloušťky povlaku stal po těchto 15 minutách téměř lineárním.



graf 6-11: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

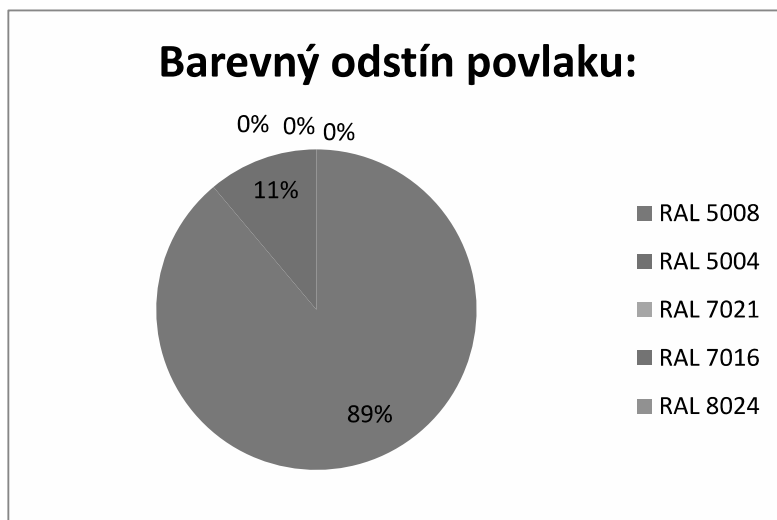
Zkouškou na korozivní odolnost povlaku pomocí kyseliny šťavelové, bylo zjištěno, že vytvořený povlak vyhovuje korozní odolnosti v rozmezí všech měřených časů. Záznam této zkoušky je na fotografiích v příloze tohoto dokumentu. Pro demonstraci zkoušky je níže uvedena jedna fotografie a to vzorku černěného 45 minut.



Obr. 6-15: Vzorek vykazuje vyhovující korozivní odolnost, nedošlo k rozpuštění povlaku, pouze k jeho naleptání

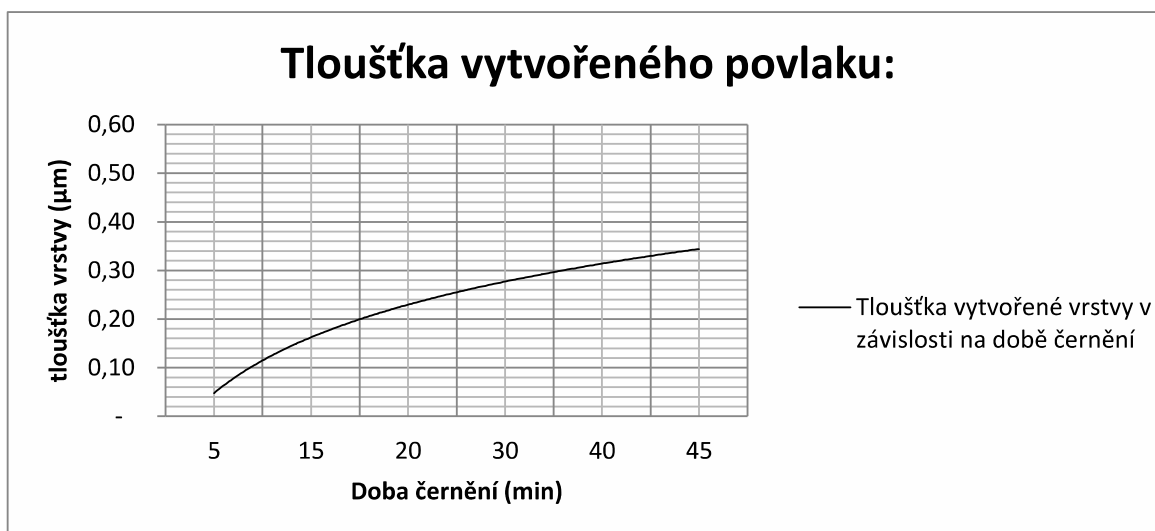
Materiál ČSN 12050, černění při teplotě 139-140°C:

Při této teplotě černicí lázně došlo k vytvoření povlaku, který měl téměř v celém rozsahu měřených časů barevný odstín dle stupnice RAL odstín RAL 5008 odstín šedomodré barvy. U posledního vzorku, který byl černěn po dobu 45 min., došlo k vytvoření odstínu dle stupnice RAL barevný odstín RAL 5004 odstín modročerné barvy. Procentuální zastoupení všech barevných odstínů ukazuje následující graf (graf 6-12), z grafu je vidět, že nejvíce se při této teplotě černění vyskytoval odstín modro-šedý dle stupnice RAL odstín RAL 5008 zánímž následuje druhý odstín a to odstín RAL 5004 odstín černo-modré barvy.



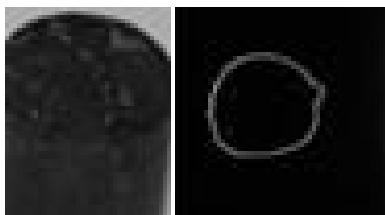
graf 6-8 Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů povlaku
[vlastní výpočty Excel]:

Kalotestem, zkouškou tloušťky povlaku, bylo zjištěno, že tloušťka vytvořeného povlaku pozvolně narůstá viz. Graf (6-13), Tloušťka vytvořeného povlaku zpočátku (během prvních 15 minut) rychle narůstá, přičemž se proces nárůstu tloušťky povlaku stal po těchto 15 minutách téměř lineárním.



graf 6-9: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

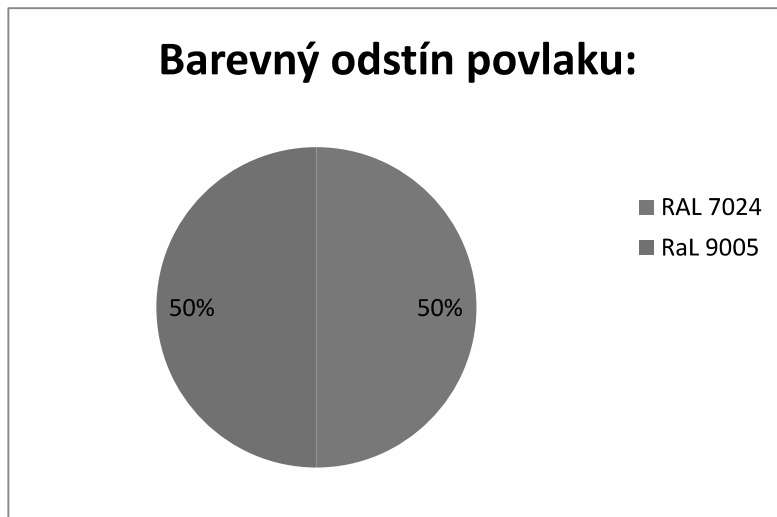
Zkouškou na korozivní odolnost povlaku pomocí kyseliny šťavelové, bylo zjištěno, že vytvořený povlak vyhovuje korozní odolnosti v rozmezí všech měřených časů. Záznam této zkoušky je na fotografiích v příloze tohoto dokumentu. Pro demonstraci zkoušky je níže uvedena jedna fotografie a to vzorku černěného 45 minut.



Obr. 6-16: Vzorek vykazuje vyhovující korozivní odolnost, nedošlo k rozpuštění povlaku, pouze k jeho naleptání

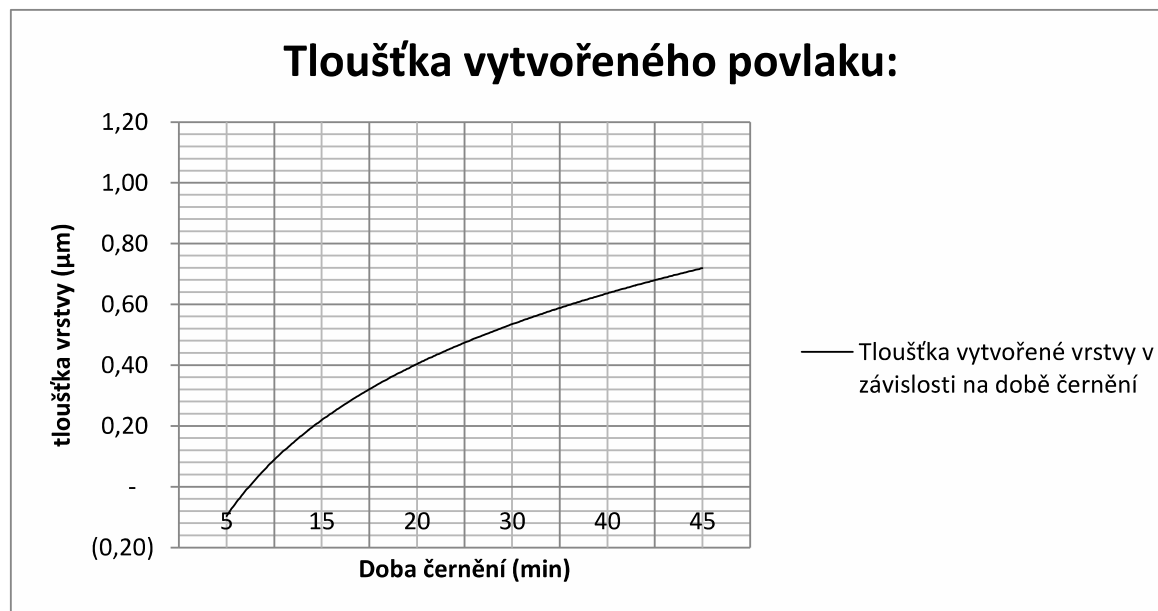
Materiál ČSN 12050, černění při teplotě 142-143⁰C:

Při této teplotě černicí lázně došlo k vytvoření povlaku, který přecházel od odstínu grafitově-šedého dle stupnice RAL odstín RAL 7024 k odstínu černé barvy, dle stupnice RAL, odstín RAL 9005. Procentuální zastoupení barevných odstínů ukazuje následující graf (graf 6-14).



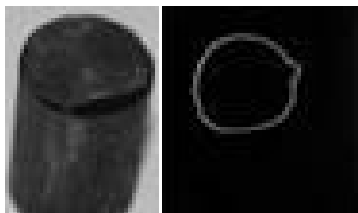
graf 6-10: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstín povlaku [vlastní výpočty Excel]:

Kalotestem, zkouškou tloušťky povlaku, bylo zjištěno, že tloušťka vytvořeného povlaku pozvolně narůstá viz. Graf (6-15), Tloušťka vytvořeného povlaku zpočátku (během prvních 20 minut) rychle narůstá, přičemž se proces nárůstu tloušťky povlaku stal po těchto 20 minutách téměř lineárním.



graf 6-15: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

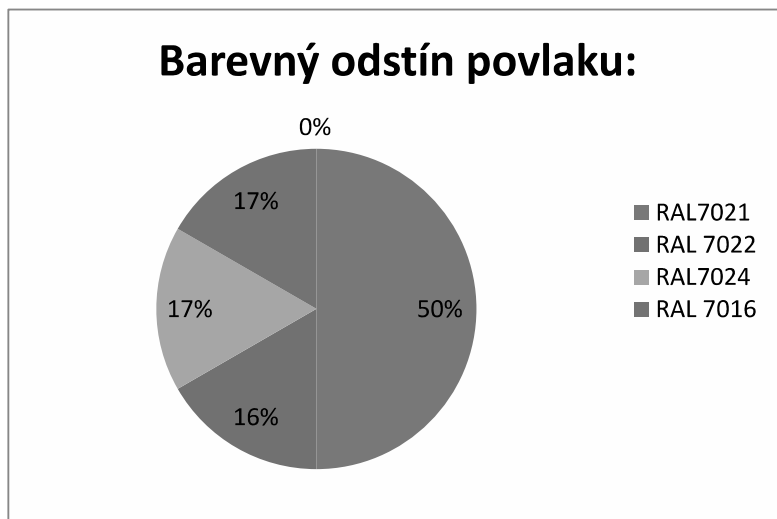
Zkouškou na korozivní odolnost povlaku pomocí kyseliny šťavelové, bylo zjištěno, že vytvořený povlak vyhovuje korozní odolnosti v rozmezí všech měřených časů. Záznam této zkoušky je na fotografiích v příloze tohoto dokumentu. Pro demonstraci zkoušky je níže uvedena jedna fotografie a to vzorku černěného 45 minut.



Obr. 6-17: Vzorek vykazuje vyhovující korozivní odolnost, nedošlo k rozpuštění povlaku, pouze k jeho naleptání

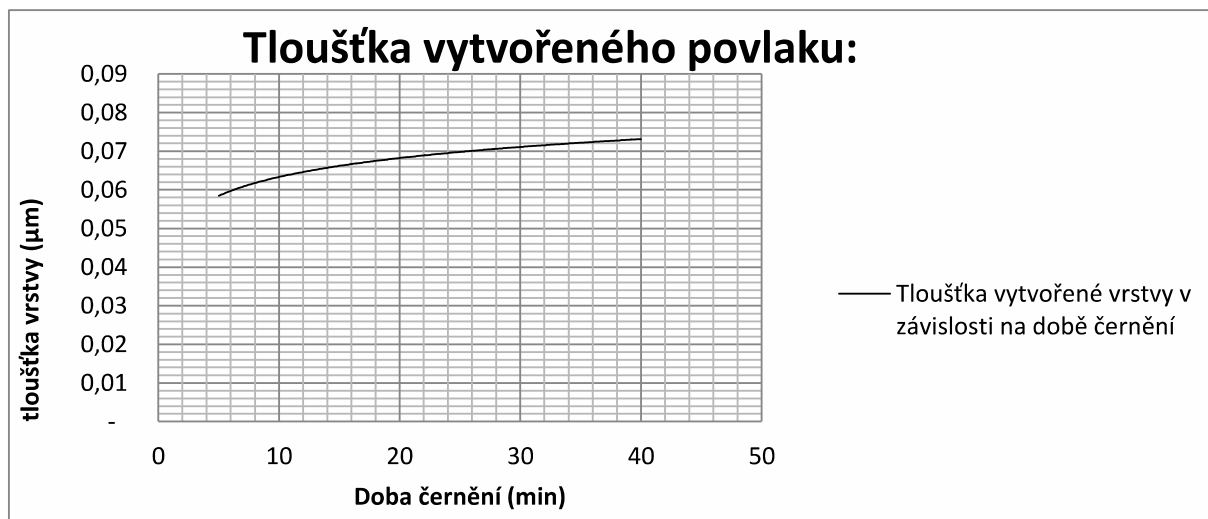
Materiál ČSN 19436, černění při teplotě 136-137⁰C:

Při této teplotě černicí lázně došlo k vytvoření povlaku, který přecházel od odstínu stínově šedé barvy dle stupnice RAL odstín RAL 7022 k odstínu šedočernému, který nese dle stupnice RAL označení RAL 7021. Procentuální zastoupení barevných odstínů ukazuje následující graf (graf 6-16).



graf 6-11: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstín povlaku [vlastní výpočty Excel]:

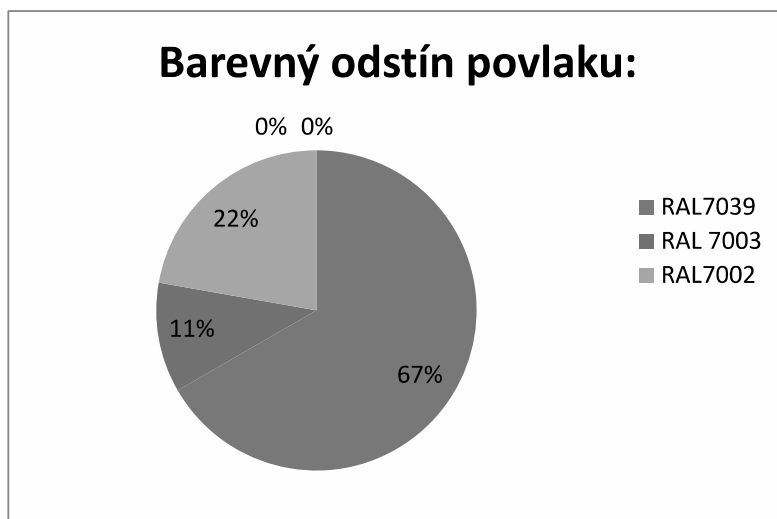
Kalotestem, zkouškou tloušťky povlaku, bylo zjištěno, že tloušťka vytvořeného povlaku pozvolně narůstá viz. Graf (6-17), přičemž tloušťka vytvořeného povlaku nepřesáhla hodnotu 0,1 μ m, díky takto malé tloušťce vytvořený povlak nezaručil experimentálnímu materiálu dostatečnou korozivní odolnost, což potvrdil test korozivní odolnosti pomocí kyseliny šťavelové. Výsledky zkoušky korozivní odolnosti obsahuje příloha tohoto dokumentu.



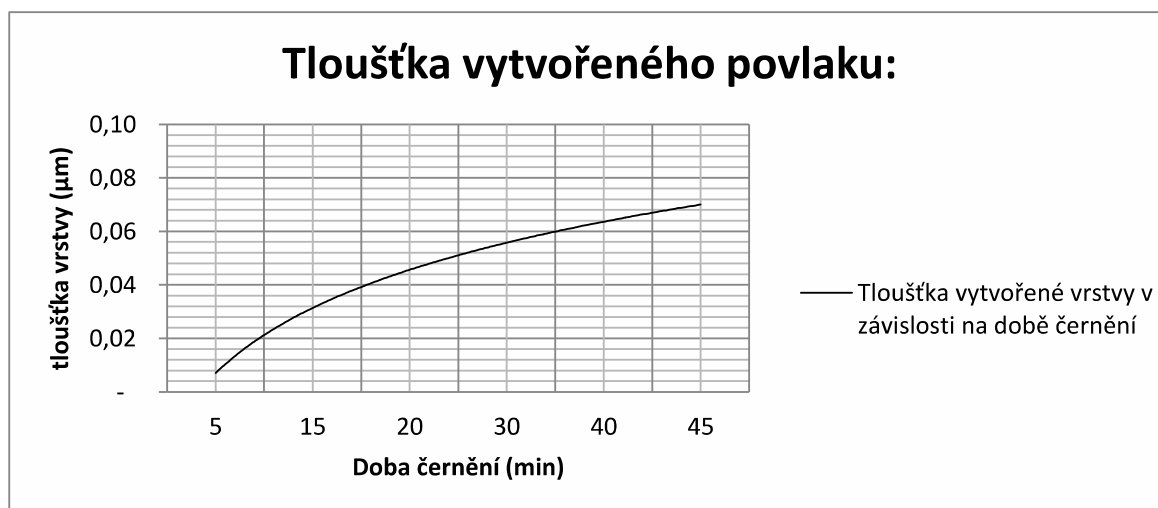
graf 6-12: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

Materiál ČSN 19436, černění při teplotě 139-140°C:

Při této teplotě černicí lázně došlo k vytvoření povlaku, který přecházel od odstínu křemenně šedé barvy dle stupnice RAL odstín RAL 7039 k odstínu lišejníkově šedé dle RAL odstín RAL 7003 a olivově šedé, dle stupnice RAL odstín RAL 7022. Procentuální zastoupení barevných odstínů ukazuje následující graf (graf 6-18).



graf 6-18: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstín povlaku [vlastní výpočty Excel]:



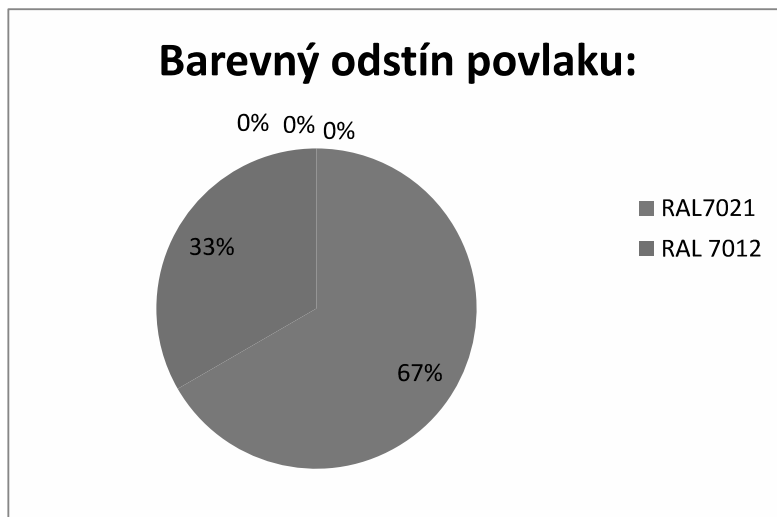
graf 6-19: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

Kalotestem, zkouškou tloušťky povlaku, bylo zjištěno, že tloušťka vytvořeného povlaku pozvolně narůstá viz. Graf (6-19), přičemž tloušťka vytvořeného povlaku nepřesáhla hodnotu 0,1 μm , díky takto malé tloušťce vytvořený povlak nezaručil experimentálnímu materiálu dostatečnou korozivní odolnost, což potvrdil test korozivní odolnosti pomocí kyseliny šťavelové. Výsledky zkoušky korozivní odolnosti obsahuje příloha tohoto dokumentu.

Materiál ČSN 19436, černění při teplotě 142-143⁰C:

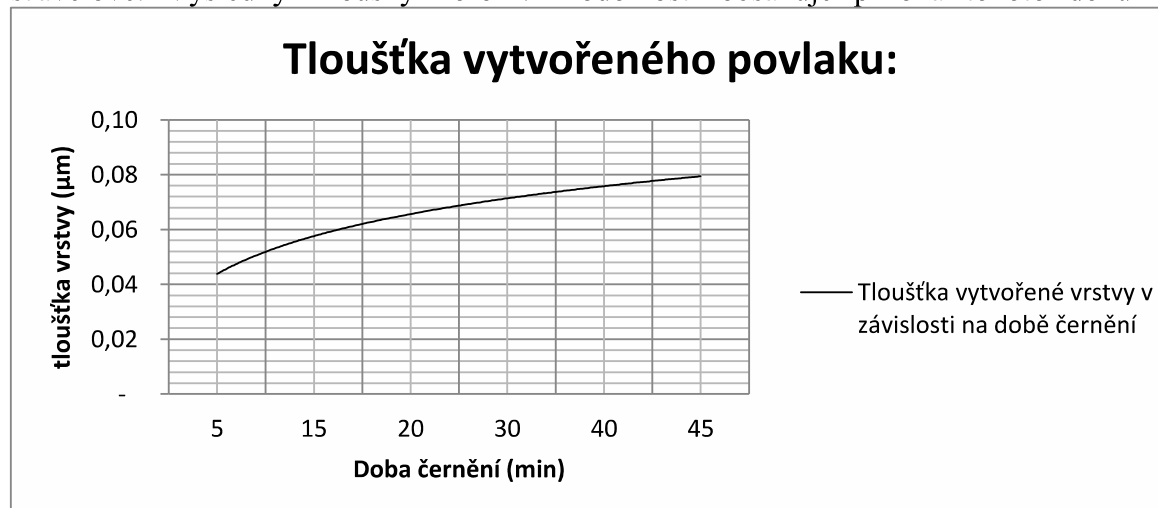
Při této teplotě černicí lázně došlo k vytvoření povlaku, který přecházel od odstínu čedičově šedé barvy dle RAL odstín RAL 7012 k odstínu černošedé barvy dle stupnice RAL odstín RAL 7021.

Procentuální zastoupení barevných odstínů ukazuje následující graf (graf 6-20).



graf 6-20: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstín povlaku
[vlastní výpočty Excel]:

Kalotestem, zkouškou tloušťky povlaku, bylo zjištěno, že tloušťka vytvořeného povlaku pozvolně narůstá viz. Graf (6-21), přičemž tloušťka vytvořeného povlaku nepřesáhla hodnotu 0,1 μ m, díky takto malé tloušťce vytvořený povlak nezaručil experimentálnímu materiálu dostatečnou korozivní odolnost, což potvrdil test korozivní odolnosti pomocí kyseliny šťavelové. Výsledky zkoušky korozivní odolnosti obsahuje příloha tohoto dokumentu.



graf 6-21: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]

Materiál ČSN 16420, černění při teplotě 136-137⁰C, 139-140⁰C a teplotě 142-143⁰C:

U tohoto materiálu nedošlo k vytvoření povlaku během celého experimentu a tudíž byl označen jako nevhodný pro technologii alkalického černění používanou ve firmě PILSEN TOOLS s.r.o..

6.2.5. Závěr z jednotlivých měření:

Materiál ČSN 14220:

Zvolenými analýzami bylo dokázáno, že pro materiál ČSN 14220 je optimální černicí teplotou teplota 139-140°C. Během této teploty vykazoval povlak nejvyšší stálost barevného odstínu, přičemž nedocházelo k vytvoření rzi podobnému povlaku dle stupnice RAL odstín RAL 8024 hnědo béžové barvy. Dále se prokázalo, že při této teplotě získá vytvořený povlak dostatečnou korozivní odolnost již po dvaceti minutách černění.

U povlaků, které vznikaly při nižších teplotách, nedošlo během celé expozice k vytvoření dostatečně odolného povlaku. Nárůst jeho tloušťky se v průběhu času téměř zastavuje, proto nepřekročí tloušťka oxidycké vrstvy minimální požadovanou hodnotu pro zajištění korozní odolnosti. K tomu by bylo nutné černit materiály na vyšší teplotu a to ideálně na výše uvedených 139-140°C, kdy dojde k vytvoření dostatečně odolné vrstvy během prvních 20 minut černění. Přičemž se tloušťka této vrstvy po dvacáté minutě černění pohybuje okolo 0,25µm. Dále tyto povlaky vykazovaly větší rozmanitost v barevných odstínech než při černění na 139-140°C. Povlaky postupně přecházely z odstínů světlejších, od odstínů šedé barvy dle stupnice RAL odstín RAL 7016 antracitově šedá, k odstínům tmavším dle stupnice RAL odstínů RAL 5008 šedomodré barvy.

Upovlaků, které vznikaly za vyšších teplot, došlo k vytvoření dostatečně odolného povlaku proti korozi po dvaceti minutách černění. Na povlaku se vytvořil stíratelný korozní povlak o barevném odstínu dle stupnice RAL odstín RAL 8024 hnědo béžové barvy. Tento povlak je na černěných součástech nepřijatelný, jeho následné odstraňování by prodloužilo výrobní časy a tím by zvýšilo výrobní náklady. Dále během černění při vyšší teplotě dochází k vyššímu vypařování černicí lázně. To není zdravotního hlediska pro obsluhu černicí linky vhodné, protože výpary z lázně poškozují dýchací soustavu.

Materiál ČSN 12050:

Jednotlivými měřeními bylo dokázáno, že materiál ČSN 12050 vyhovuje černění při teplotách 139-140°C, 142-143°C a 136-137°C. Během těchto tří teplot došlo k vytvoření povlaku, který vykazoval vysokou stálost barevného odstínu. Dle stupnice RAL odstín RAL 9011 odstín grafitově černé barvy a odstín RAL 5004 odstín modročerné barvy.

Dále se prokázalo, že vytvořený povlak vykazuje dostatečnou korozivní odolnost po dvacáté minutě černění.

Materiál ČSN 19436:

Jednotlivými měřeními bylo dokázáno, že materiál ČSN 19436 vykazuje nejvyšší stálost barevného odstínu během černění na vyšší teplotu a to teplotu 142-143°C. Při této teplotě měl povlak barevný odstín šedočerné barvy dle stupnice RAL odstín RAL 7021. Tento povlak však nevykazoval dostatečnou korozivní odolnost a to v průběhu všech měřených časů. Tloušťka vytvořeného povlaku nepřesáhla 0,1µm. Při černění na nižší teploty došlo k vytvoření povlaku, který vykazoval nižší stálost barevného odstínu, začali se vyskytovat odstíny světle šedé barvy dle stupnice RAL odstíny RAL 7003 lišejníkově šedé a RAL 7022 odstín olivově šedé barvy. Povlaky vznikající během nižších teplot nedosahovaly dostatečné korozivní odolnosti během všech měřených časů.

K tomu aby bylo docíleno vytvoření povlaku o dostatečné korozní odolnosti, by bylo nutno zvolit jiný způsob černění, například manganofosfátování.

Materiál ČSN 16420:

U tohoto materiálu nedošlo k vytvoření požadovaného povlaku během celého experimentu, a tudíž byl označen jako nevhodný pro technologii alkalického černění používanou ve firmě PILSEN TOOLS s.r.o.

Ekonomické zhodnocení:

Materiály ČSN 14 220 a ČSN 12050 se dají černit při teplotě 139-140⁰C, která je nastavena u černicí linky ve firmě PILSEN TOOLS s.r.o.. Pro materiál ČSN 14 220 je to ideální teplota pro materiál ČSN 12050 je to jedna z možných teplot. Protože se na černicí lince černí denně desítky materiálů je neefektivní v průběhu černění měnit teplotu černicí lázně. Každá změna teploty, by vedla ke snížení produkce. Možností jak zvýšit produkci černicí linky je zkrácení výrobních časů. U těchto dvou materiálů byla experimentálně stanovena nejkratší doba černění pro zachování optimální korozní odolnosti a požadovaných vzhledových vlastností 20 minut. Na černicí lince se průměrně černí součásti 25-30 minut. Pokud by tedy došlo ke zkrácení doby černění na 20 minut, zkrátí se výrobní cyklus a zvýšila by se produkce schopnost černicí linky.

U materiálu ČSN 19 436 došlo k vytvoření ochranného povlaku, ten však svými parametry nevyhovoval, u materiálu ČSN 16420 k jeho vytvoření vůbec nedošlo. Tyto materiály nejsou vhodné pro způsob černění oceli používaný ve firmě PILSEN TOOLS s.r.o.

Pokud by bylo potřeba načernit tyto nástrojové a konstrukční materiály, bylo by potřeba zvolit buď jinou technologii povrchových úprav např. manganofosátování, které je v energetických nárocích a v nárocích na spotřebu vody levnější avšak oproti alkalickému černění klade vyšší nároky na spotřebu chemických látek. Popřípadě zvolit jiný černicí přípravek (černicí sůl), který(á) by byl(a) vhodnější pro tyto materiály. V současné době tyto přípravky nabízí několik firem¹⁵.

¹⁵Tyto přípravky nabízí například firma CHEMO-PHOS s.r.o.- dostupné z: <http://www.chemophos.cz/chemicke-smesi/>

7. Závěr:

V první části této práce bylo pojednáno o teorii povrchu a povrchových úprav. Z podkapitoly povrchových úprav byly vybrány technologie černění, z nichž nejvíce bylo pojednáno o technologii alkalického černění, které se týká druhé experimentální část práce. V této části byly zpracovány tabulky pro firmu PILSEN TOOLS s.r.o. Tabulky obsahují informace o optimální době a teplotě černění, dále informaci o tom, jaký barevný odstín povlaku je vyhovující. U nevyhovujících barevných odstínů je uvedena informace o tom, jak tyto povlaky vznikají a informace, jak je odstranit. Tyto tabulky jsou uvedeny v příloze č.1 tohoto dokumentu. Vytvořením těchto tabulek byl splněn hlavní cíl této práce.

Seznam obrázků, grafů a tabulek:

Obr. 2-1: Schéma řezu povrchovými vrstvami,[2].....	2
Obr. 2-2: Geometrie povrchu strojní součásti,[2]	2
Obr. 2-3: Ukázka vzniku nového povrchu pomocí kování (kování zalomeného čepu klikové hřídele)[6].....	3
Obr. 2-4: Ukázka vzniku povrchu pomocí tváření za studena (přeměna kruhové tyčoviny v závit)[13].....	5
Obr. 3-1: Vytvoření plátu plastu na podkladovém materiálu pomocí technologie válcování[2]8	
Obr. 3-2: Metalizační pistole plynová, elektrická (1- drát, 2- přívod vzduchu, 3- přívod kyslíku, 4- přívod plynu)[2]	10
Obr. 3-3 Napařování ve vakuu: 1- napařované předměty, 2- vypařovaný kov, 3- přívod neutrálního plynu, 4- výparník, 5- napojení vakuového čerpadla[2]	12
Obr. 3-4: Schéma plazmového hořáku[2]	16
Obr. 3-5: Plazmový nástřik karbidu[1]	16
Obr. 5-1: Nástroje používané ke kartáčování povrchu (první zleva- fibrový), druhý zleva- drátěná štětka, třetí zleva kartáč s vyměnitelnými svazečky[2]	26
Obr. 5-2: Lešticí kotouče- první zleva řasený, druhý skládaný, tyto kotouče jsou určeny k leštění umělých hmot a pryskyřičných laků)[12]	26
Obr. 5-3: Vzhled černěného povrchu (upínací trn černěný technologií alkalického černění- černění se provádí za účelem zlepšení estetického vzhledu, zvýšení korozivní odolnosti a zlepšení kluzných vlastností.))[14].....	30
Obr. 6-2: Povlak s dobrými vlastnostmi (vyhovuje)[10]	34
Obr. 6-3: Povlak s hraničními vlastnostmi (nevyhovuje)[10].....	34
Obr. 6-1: Povlak špatné kvality (nevyhovuje)[10].....	34
6-4: Určení tloušťky povlaku metodou výbrusu[2] (R- poloměr kuličky, r_1 - poloměr vnější, r_2 - poloměr vnitřní), t- tloušťka povlaku, x- přechodová oblast (základní mat.-povlak), y- vzdálenost od přechodové oblasti k okraji vtisku kuličky	35
6-5: Vzorek po provedení kalotestu	35
Obr. 6-6: Použitý vzorník barev RAL KLASSIC[11].....	36
Obr. 6-8: Vzorek č.4- Vyhovující korozivní odolnost	39
Obr. 6-7: Vzorek č.1- Nevyhovující korozivní odolnost	39
Obr. 6-9: Nevyhovující korozivní odolnost (Vzorek vykazoval vyšší korozivní odolnost než vzorky předchozí, avšak stále nedostačující)	40
Obr. 6-10: Nevyhovující korozivní odolnost (vzorek vykazoval velmi nízkou korozivní odolnost, došlo k velmi rychlému odstranění vytvořeného povlaku)	40
Obr. 6-11: Nevyhovující korozivní odolnost (vzorek vykazoval velmi nízkou korozivní odolnost, došlo k velmi rychlému odstranění vytvořeného povlaku)	42
Obr. 6-12: Vzorek vykazuje vyhovující korozivní odolnost, nedošlo k rozpuštění povlaku, pouze k jeho naleptání.....	42

Obr. 6-13: Nevyhovující korozivní odolnost (vzorek vykazoval velmi nízkou korozivní odolnost, došlo k velmi rychlému odstranění vytvořeného povlaku)	44
Obr. 6-14: Nevyhovující korozivní odolnost (vzorek vykazoval velmi nízkou korozivní odolnost, došlo k velmi rychlému odstranění vytvořeného povlaku)	44
Obr. 6-15: Vzorek vykazuje vyhovující korozivní odolnost, nedošlo k rozpuštění povlaku, pouze k jeho naleptání.....	46
Obr. 6-16: Vzorek vykazuje vyhovující korozivní odolnost, nedošlo k rozpuštění povlaku, pouze k jeho naleptání.....	48
Obr. 6-17: Vzorek vykazuje vyhovující korozivní odolnost, nedošlo k rozpuštění povlaku, pouze k jeho naleptání.....	50
graf 6-1: Závislost tloušťky a hmotnosti povlaku v závislosti na teplotě a době černění[5] ...	37
graf 6-2: Vytvořené barevné odstíny- procentuální zastoupení [vlastní výpočty excel].....	38
graf 6-3: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel] ..	38
graf 6-4: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů povlaku [vlastní výpočty Excel]	39
graf 6-5: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel] ..	40
graf 6-6: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů povlaku [vlastní výpočty Excel]	41
graf 6-7: : Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]	42
graf 6-12 Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů povlaku [vlastní výpočty Excel]:	47
graf 6-13: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]	47
graf 6-14: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů povlaku [vlastní výpočty Excel]:	49
graf 6-16: Procentuální zastoupení jednotlivých barevných odstínů povlaku [vlastní výpočty Excel]:	51
graf 6-17: Závislost tloušťky vytvořeného povlaku na době černění [vlastní výpočty Excel]	51
Tabulka 3-1 Porovnání vlastností organických povlaků[2]	6
Tabulka 3-2: Porovnání vlastností kovových povlaků[]	13
Tabulka 3-3: Porovnání vlastností anorganických nekovových povlaků[]	18
Tabulka 4-1: Srovnání technologie alkalického černění s technologií kyselého černění a s technologií oxidofosfátování[]	21
Tabulka 5-1: Srovnání alkalického černění s různými druhy povrchových úprav[]	22
Tabulka 5-2: Srovnání počátečních a konečných teplot alkalické lázně pro ocel s různým obsahem uhlíku[5].....	32
Tabulka 6-1: Chemické složení oceli třídy ČSN 14 220[8]	33

Tabulka 6-2:Chemické složení oceli třídy ČSN 12 050[8]	33
Tabulka 6-3:Chemické složení oceli třídy ČSN 16 420[8]	33
Tabulka 6-4:Chemické složení oceli třídy ČSN 19 436[8]	34
Tabulka 6-5: Určení stupně protikorozivní ochrany povlaku[9].....	34

Citace a použitá literatura:

Obrázky, tabulky a citace:

- [1] Doc. RNDr. Dagmar Jandová, Ph.D., *Přednášky z předmětu Základy metalografie (KMM/ZME)*
- [2] Ing. Václav Kraus, *Povrchy a jejich úpravy, Cvičení z předmětu POU*
- [3] Doc. Ing. Petr Duchek, CSc., *Přednášky z předmětu Chemie (KMM/CH)*
- [4] www.micronplus.cz,
- [5] Ing. Dr. Josef Šíma, *Alkalické oxidování (černění) železných kovů*
- [6] www.vitkovice.cz,
- [7] www.washina.cz,
- [8] P. Ryš, M. Cenek, K. Mazanec, A. Hrbek, *Nauka o materiálu: Železo a jeho slitiny*
- [9] Norma DIN 50938: Zpracování železných kovů černěním
- [10] Normativní dokument MIL-DTL-13924D
- [11] <http://www.ralshop.cz>,
- [12] <http://www.brolle.cz>,
- [13] <http://www.valentazt.cz>,
- [14] <http://www.pilsentools.cz>

Použitá literatura:

- [1] Ing. Václav Kraus, *Povrchy a jejich úpravy*
- [2] Ing. Viktor Kreibich, CSc., *Teorie a technologie povrchových úprav*
- [3] Ing. Dr. Josef Šíma, *Alkalické oxidování (černění) železných kovů*
- [4] Ing. Vladimír Benedikt, CSc., *Povrchové úpravy kovových materiálů*
- [5] Ing. Dr. Josef Šíma, *Kyselé černění železných kovů*

Internetové zdroje:

[1] Povrchové úpravy černěním, CVD a PVD vrstvy a další informace o povrchových úpravách, dostupné z internetového zdroje:

<http://www.mmspektrum.com>, <http://www.mmspektrum.com/clanek/alkalicke-cerneni-oceli.html>,
<http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-a-trendy-povlakovani-technologie-pvd.html>.

[2] Technologie povrchových úprav, technologie zinkování, chromování apod., dostupné z internetového zdroje: <http://www.povrchari.cz>

[3] Katedra materiálu a strojírenské metalurgie na ZČU v Plzni, dostupné z internetového zdroje:

https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:neWdBd4woJ4J:www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/dat/a/cviceni_9.pdf+&hl=cs&gl=cz&pid=bl&srcid=ADGEEShuAHeKejr1Gq2jGxngp_rvbIM-7a93bK10cIesrd0eAIZUIerd4cYbhf24iTVPf2SjELA2F2rHvPEdQFCYFMbwFdwglIRB2_StDZe9isAhozXzexONi qcue0eIJFSWeke7WA1&sig=AHIEtbRo1xNkNwejk8PRjc6nvQv6BxIXmw

[4] Způsoby černění oceli používané v historii dostupné z internetového zdroje: <http://www.livinghistory.cz>

[5] Vše o vzorníku barev RAL, podmínky snímání barevných odstínů, rozdělení barevných odstínů do skupin apod., dostupné z internetového zdroje:

<http://www.ralshop.cz>

[6] Vlastnosti vytvořené oxidycké vrstvy, dostupné z internetového zdroje:

<http://www.brogal.cz>, <http://www.brogal.cz/Home/cerneni>

Evidenční list

Souhlasím s tím, aby moje diplomová (bakalářská) práce byla půjčována k prezenčnímu studiu v Univerzitní knihovně ZČU v Plzni.

Datum:

Podpis:

Uživatel stvrzuje svým podpisem, že tuto diplomovou (bakalářskou) práci použil ke studijním účelům a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno	Fakulta/katedra	Datum	Podpis

Obsah

TABULKY ČERNĚNÝCH MATERIÁLŮ	I
FOTOGRAFICKÉ VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY KOROZIVNÍ ODOLNOSTI ČERNĚNÉHO POVRCHU POMOCÍ 5% ROZTOKU KYSELINY ŠŤAVĚLOVÉ	III
1. Materiál ČSN 14220, TEPLOTA ČERNĚNÍ 136-137°C	IV
2. MATERIÁL ČSN 142220, TEPLOTA ČERNĚNÍ 139-140°C	VI
3. MATERIÁL ČSN 14 220 TEPLOTA ČERNĚNÍ 133-134°C:	VIII
4. MATERIÁL ČSN 14 220 TEPLOTA ČERNĚNÍ 142-143°C:	IX
5. MATERIÁL ČSN 12 050 TEPLOTA ČERNĚNÍ 136-137°C:	XII
6. MATERIÁL ČSN 12 050 TEPLOTA ČERNĚNÍ 139-140°C:	XII
7. MATERIÁL ČSN 12 050 TEPLOTA ČERNĚNÍ 142-143°C:	XIII
8. MATERIÁL ČSN 19 436 TEPLOTA ČERNĚNÍ 136-137°C:	XIV
9. MATERIÁL ČSN 19 436 TEPLOTA ČERNĚNÍ 139-140°C:	XIV
10. MATERIÁL ČSN 19 436 TEPLOTA ČERNĚNÍ 142-143°C:	XV

PŘÍLOHA Č.1:

TABULKY ČERNĚNÝCH MATERIÁLŮ

Tabulka 1: Materiál ČSN 12 050

OCEL ČSN 12 050			
VHODNÁ TEPLOTA ČERNĚNÍ:	TLOUŠŤKA POVLAKU:	VYHOVUJÍCÍ BARERNÝ ODSTÍN POVLAKU:	
136-143	0,15-0,7 (µm)	OZNAČENÍ RAL:	
MINIMÁLNÍ DOBA ČERNĚNÍ:	KOROZNÍ ODOLNOST:	RAL 5008	
20 minut	DOSTATEČNÁ	RAL 5004	
		RAL 9011	
		RAL 7016	
		NEVYHOVUJÍCÍ BAREVNÝ ODSTÍN POVLAKU:	
		RAL 8024	
		RAL 7016	
		RAL8023	
ODSTRANĚNÍ NEVHODNÉHO BAREVNÉHO ODSTÍNU:			
RZI PODOBNÝ POVLAK DLE STUPNICE RAL ODSTÍN RAL 8024 VZNIKÁ DÍKY POZDĚ APLIKOVANÉMU OPLACHU VODOU PO VLASTNÍM ČERNICÍM PROCESU, POPŘÍPADĚ PŘÍLIŠ VYSOKOU TEPLOTOU ČERNĚNÍ. PRO ODSTRANĚNÍ TOHOTO BAREVNÉHO ODSTÍNU JE NUTNO SOUČÁSTI ZNOVU NAČERNIT PŘI NIŽŠÍ TEPLOTĚ ČERNĚNÍ IDEÁLNĚ PŘI TEPLOTĚ 139-140 STUPŇŮ CELSIA A PROVĚST OKAMŽITĚ PO NAČERNĚNÍ OPLACH VODOU			
ODSTÍN ŠEDÉ BARVY DLE STUPNICE RAL ODSTÍN RAL 7016 VZNIKÁ DÍKY NÍZKÉ TEPLOTĚ ČERNĚNÍ POPŘÍPADĚ POZDNÍM OPLACHEM VODOU PO VLASTNÍM ČERNICÍM PROCESU. PRO ODSTRANĚNÍ TOHOTO BAREVNÉHO ODSTÍNU, JE NUTNO SOUČÁSTI ZNOVU NAČERNIT PŘI VYŠŠÍ TEPLOTĚ ČERNĚNÍ A PROVĚST OKAMŽITĚ PO NAČERNĚNÍ OPLACH VODOU			

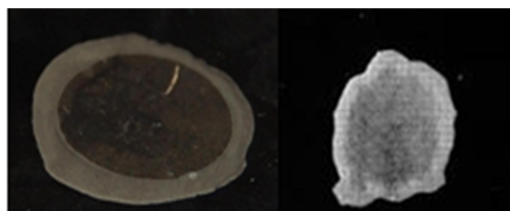
Tabulka 2: Materiál ocel ČSN 14 220

OCEL ČSN 14 220			
VHODNÁ TEPLOTA ČERNĚNÍ:	TLOUŠŤKA POVLAKU:	VYHOVUJÍCÍ BARERNÝ ODSTÍN POVLAKU:	
139-140	0,1-0,3 (µm)	OZNAČENÍ RAL:	
MINIMÁLNÍ DOBA ČERNĚNÍ:	KOROZNÍ ODOLNOST:	RAL 5008	
20 minut	DOSTATEČNÁ	RAL 5004	
		RAL 9011	
		RAL 7021	
		NEVYHOVUJÍCÍ BAREVNÝ ODSTÍN POVLAKU:	
		RAL 8024	
		RAL 7016	
		RAL 8023	
ODSTRANĚNÍ NEVHODNÉHO BAREVNÉHO ODSTÍNU:			
RZI PODOBNÝ POVLAK DLE STUPNICE RAL ODSTÍN RAL 8024 VZNIKÁ DÍKY POZDĚ APLIKOVANÉMU OPLACHU VODOU PO VLASTNÍM ČERNICÍM PROCESU, POPŘÍPADĚ PŘÍLIŠ VYSOKOU TEPLOTOU ČERNĚNÍ. PRO ODSTRANĚNÍ TOHOTO BAREVNÉHO ODSTÍNU JE NUTNO SOUČÁSTI ZNOVU NAČERNIT PŘI NIŽŠÍ TEPLOTĚ ČERNĚNÍ IDEÁLNĚ PŘI TEPLOTĚ 139-140 STUPŇŮ CELSIA A PROVĚST OKAMŽITĚ PO NAČERNĚNÍ OPLACH VODOU			
ODSTÍN ŠEDÉ BARVY DLE STUPNICE RAL ODSTÍN RAL 7016 VZNIKÁ DÍKY NÍZKÉ TEPLOTĚ ČERNĚNÍ POPŘÍPADĚ POZDNÍM OPLACHEM VODOU PO VLASTNÍM ČERNICÍM PROCESU. PRO ODSTRANĚNÍ TOHOTO BAREVNÉHO ODSTÍNU, JE NUTNO SOUČÁSTI ZNOVU NAČERNIT PŘI VYŠŠÍ TEPLOTĚ ČERNĚNÍ A PROVĚST OKAMŽITĚ PO NAČERNĚNÍ OPLACH VODOU			

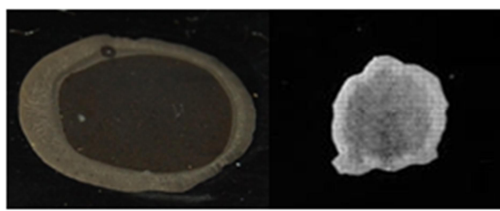
PŘÍLOHA Č.2

FOTOGRAFICKÉ VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY KOROZIVNÍ ODOLNOSTI ČERNĚNÉHO POVRCHU POMOCÍ 5% ROZTOKU KYSELINY ŠŤAVĚLOVÉ

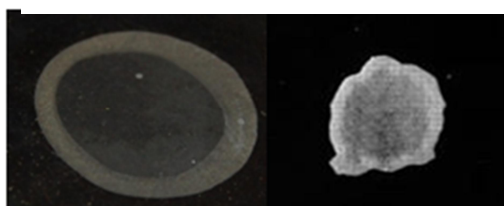
1. Materiál ČSN 14220, TEPLOTA ČERNĚNÍ 136-137°C



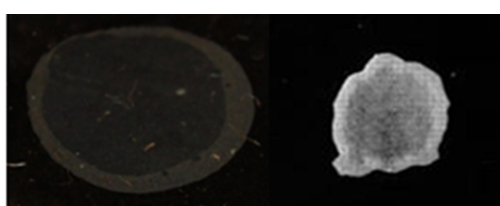
Obr. 1-1: Vzorek č.1.1: (doba černění 5min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



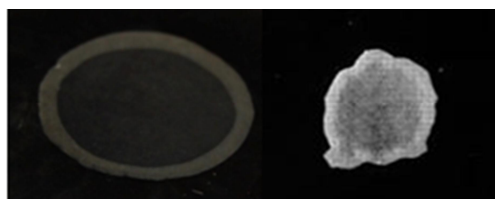
Obr.1-2: Vzorek č. 1.2: (doba černění 5min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



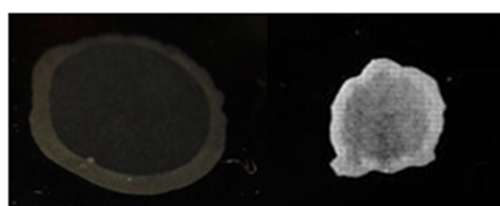
Obr. 1-3: Vzorek č.2.1: (doba černění 5min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



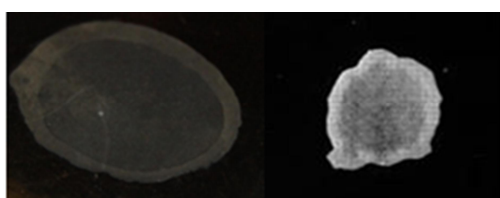
Obr. 1-4: Vzorek č.2.2:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



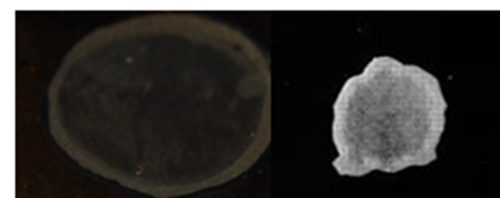
Obr. 1-5: Vzorek č.3.1:(doba černění 15min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



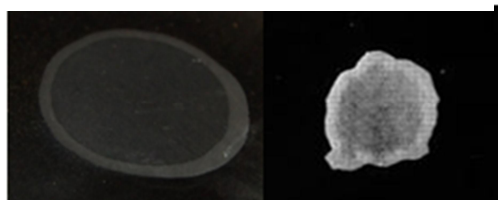
Obr. 1-6: Vzorek č3.2: (doba černění 15 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



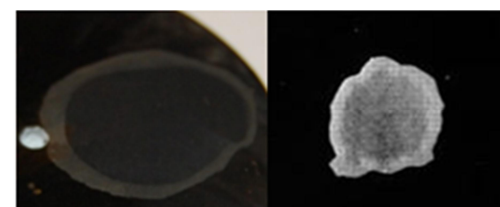
Obr. 1-7: Vzorek 4.1: (doba černění 20 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



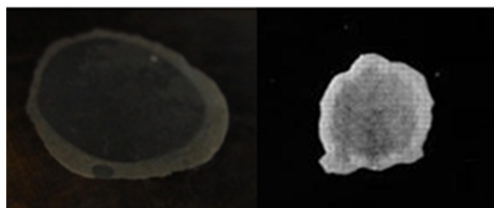
Obr. 1-8: Vzorek 4.2:(doba černění 20 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



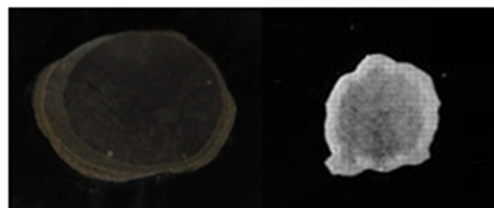
Obr. 1-9: Vzorek 5.1:(doba černění 25 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



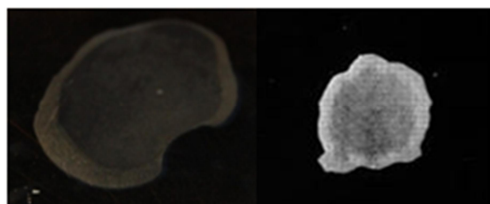
Obr. 1-10: Vzorek 5.2:(doba černění 25min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



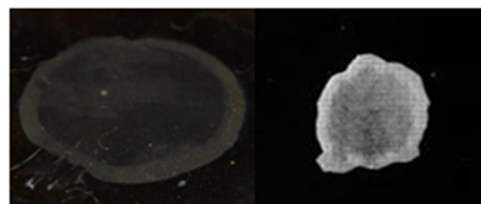
Obr. 1-11: Vzorek 6.1:(doba černění 30 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



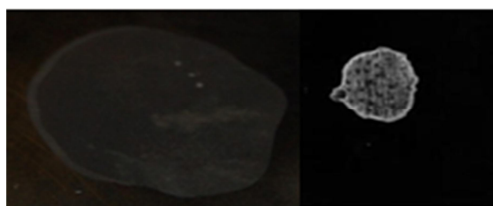
Obr. 1-12: Vzorek 6.2:(doba černění 30 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



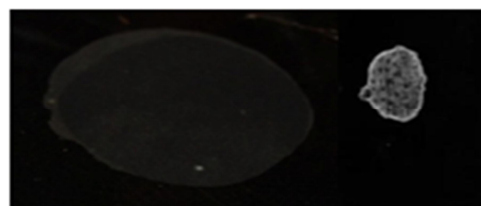
Obr. 1-13: Vzorek 7.1:(doba černění 35 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



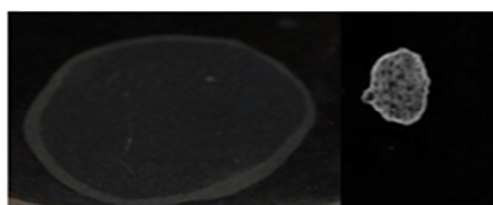
Obr. 1-14: Vzorek 7.2:(doba černění 35 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 1-15: Vzorek 8.1:(doba černění 40 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému rozpuštění povlaku



Obr. 1-16: Vzorek 8.2:(Doba černění 40 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému rozpuštění povlaku

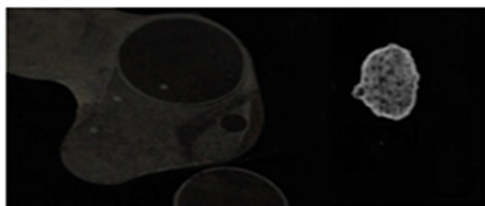


Obr. 1-17: Vzorek 9.1:(doba černění 45 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému rozpuštění povlaku

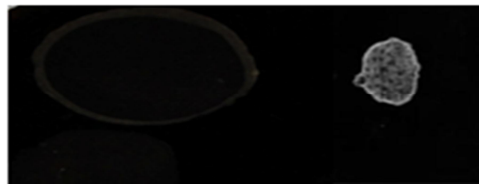


Obr. 1-18: Vzorek 9.2:(doba černění 45 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému rozpuštění povlaku

2. MATERIÁL ČSN 142220, TEPLOTA ČERNĚNÍ 139-140°C



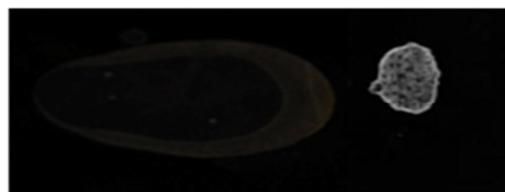
Obr. 2-1:Vzorek 1.1:(doba černění 5 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



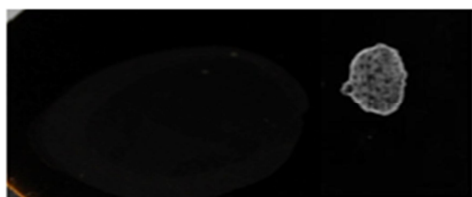
Obr. 2-2:Vzorek 1.2:(doba černění 5 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému rozpuštění povlaku



Obr. 2-3:Vzorek 2.1:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 2-4:Vzorek 2.2:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 2-5:Vzorek 3.2:(doba černění 15 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému rozpuštění povlaku



Obr. 2-6:Vzorek 3.1:(doba černění 15 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému rozpuštění povlaku



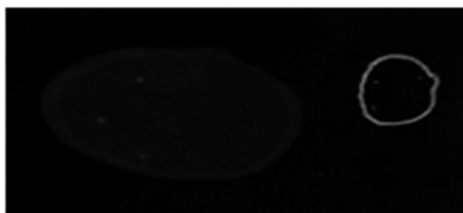
Obr. 2-7: Vzorek 4.2:(doba černění 20 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



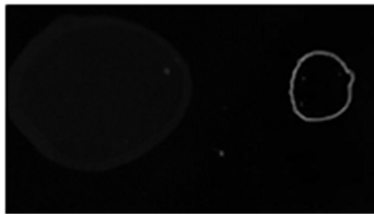
Obr. 2-8: Vzorek 4.1:(doba černění 20 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



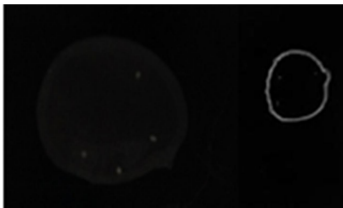
Obr. 2-9: Vzorek 5.2:(doba černění 25 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



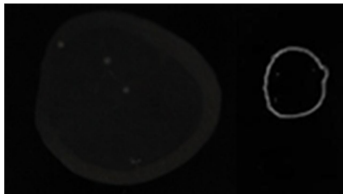
Obr. 2-10: Vzorek 5.1:(doba černění 25 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



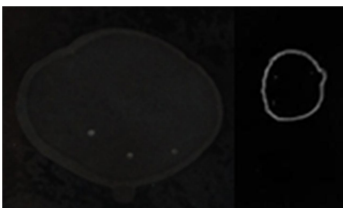
Obr. 2-11: Vzorek 6.1:(doba černění 30 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



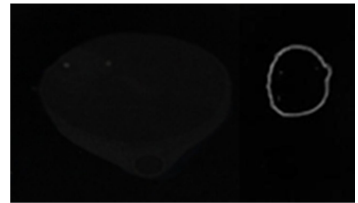
Obr. 2-13: Vzorek 7.1:(doba černění 35 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



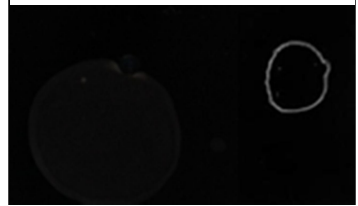
Obr. 2-15 Vzorek 8.1:(doba černění 40 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



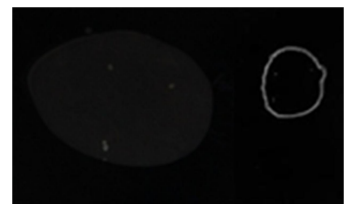
Obr. 2-17 Vzorek 9.1:(doba černění 45 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 2-12: Vzorek 6.2:(doba černění 30 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 2-14: Vzorek 7.2:(doba černění 35 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

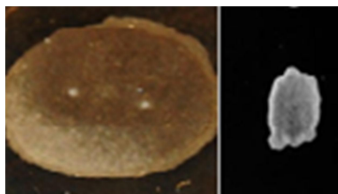


Obr. 2-16 Vzorek 8.2:(doba černění 40 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

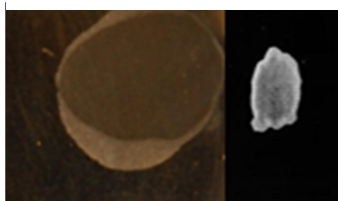


Obr. 2-18 Vzorek 9.2:(doba černění 45 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

3. MATERIÁL ČSN 14 220 TEPLOTA ČERNĚNÍ 133-134°C:



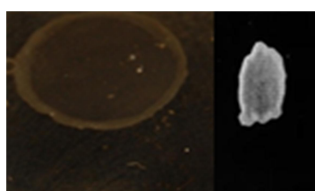
Obr. 0-1: Vzorek 1.1:(doba černění 5 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



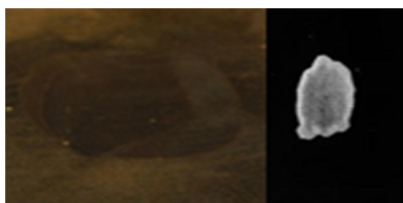
Obr. 0-3: Vzorek 2.1:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



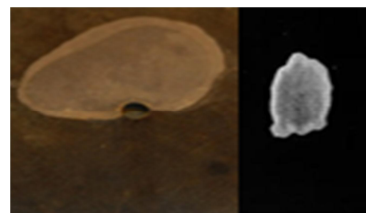
Obr. 0-5: Vzorek 3.1:(doba černění 15 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 0-7: Vzorek 4.1:(doba černění 20 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



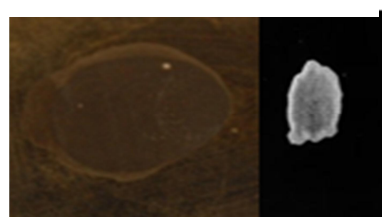
Obr. 0-9: Vzorek 5.1:(doba černění 25 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



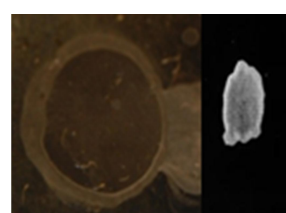
Obr. 0-2: Vzorek 1.2:(doba černění 5 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 0-4: Vzorek 2.2:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 0-6: Vzorek 3.2:(doba černění 15 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



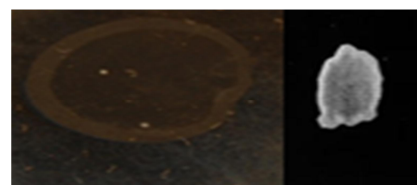
Obr. 0-8: Vzorek 4.2:(doba černění 20 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



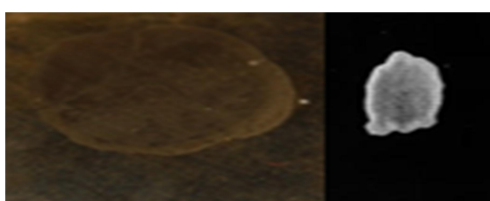
Obr. 0-10: Vzorek 5.2:(doba černění 25 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 3-11: Vzorek 6.1:(doba černění 30 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



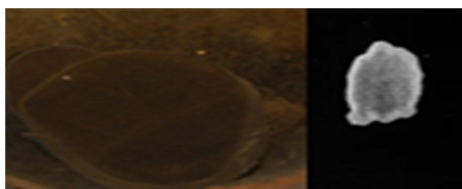
Obr. 3-12: Vzorek 6.2:(doba černění 30 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



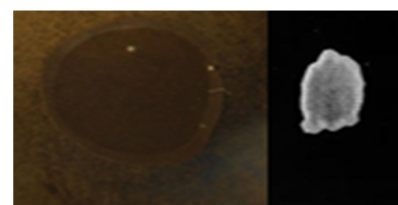
Obr. 3-13: Vzorek 7.1:(doba černění 35 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



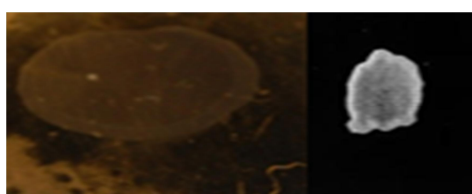
Obr. 3-14: Vzorek 7.2:(doba černění 35 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 3-15: Vzorek 8.1:(doba černění 40 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 3-16: Vzorek 8.2:(doba černění 40 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku

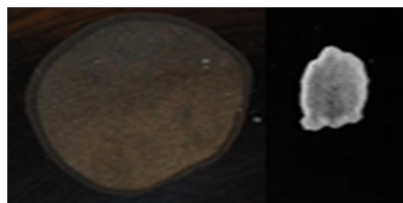


Obr. 3-17: Vzorek 9.1:(doba černění 45 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku

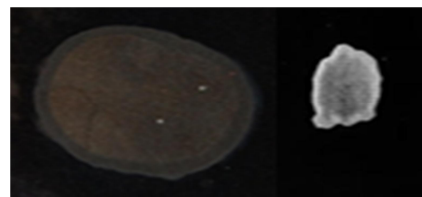


Obr. 3-18: Vzorek 9.2:(doba černění 45 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku

4. MATERIÁL ČSN 14 220TEPLOTA ČERNĚNÍ 142-143°C:



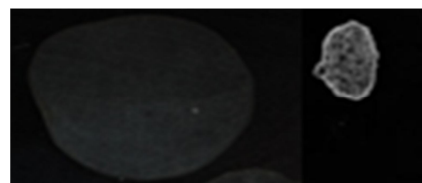
Obr. 0-1: : Vzorek 1.1:(doba černění 5 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



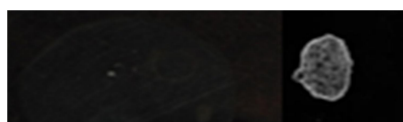
Obr. 0-2: : Vzorek 1.2:(doba černění 5 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



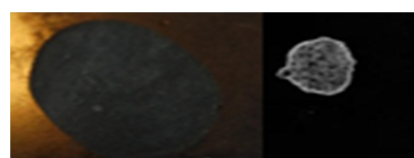
Obr. 0-3: Vzorek 2.1:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



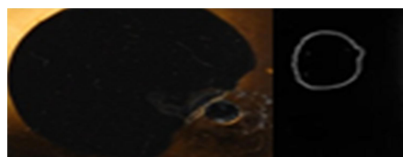
Obr. 0-4: Vzorek 2.2:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



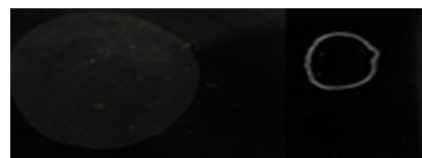
Obr. 4-5: Vzorek 3.1:(doba černění 15 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 4-6: Vzorek 3.2:(doba černění 15 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 4-7: Vzorek 4.1:(doba černění 20 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 4-8: Vzorek 4.2:(doba černění 20 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



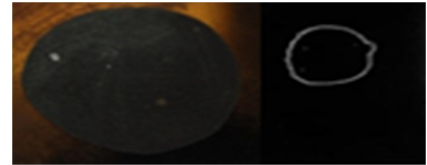
Obr. 4-9: Vzorek 5.1:(doba černění 25 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



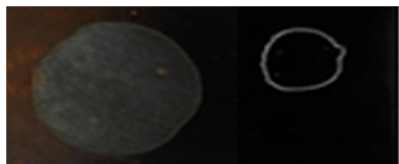
Obr. 4-10: Vzorek 5.2:(doba černění 25 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění2



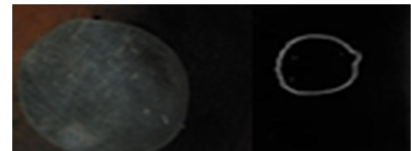
Obr. 4-11: Vzorek 6.1:(doba černění 30 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



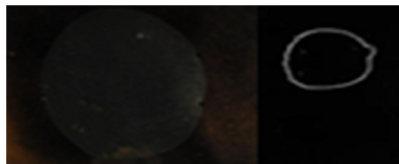
Obr. 4-12: Vzorek 6.2:(doba černění 30 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



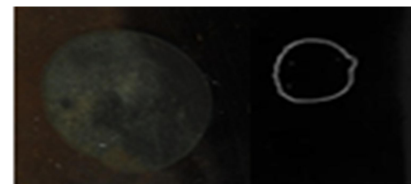
Obr. 0-13: Vzorek 8.1:(doba černění 40 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 0-14: Vzorek 8.2:(doba černění 40 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

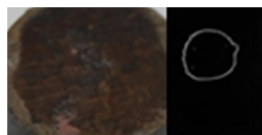


Obr. 0-15 : Vzorek 9.1:(doba černění 45 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 0-16: Vzorek 9.2:(doba černění 45 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

5. MATERIÁL ČSN 12 050 TEPLOTA ČERNĚNÍ 136-137°C:



Obr. 5-1: Vzorek 1:(doba černění 5 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 5-2: Vzorek 2:(doba černění 15 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr.5-3: Vzorek 3:(doba černění 20 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 5-4: Vzorek 4:(doba černění 30 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

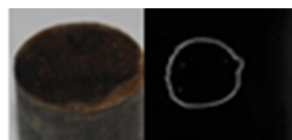


Obr. 5-5: Vzorek 5:(doba černění 40 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

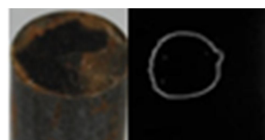


Obr. 5-6: Vzorek 6:(doba černění 45 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

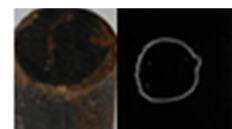
6. MATERIÁL ČSN 12 050 TEPLOTA ČERNĚNÍ 139-140°C:



Obr. 6-1 : Vzorek 2:(doba černění 5 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 6-2: Vzorek 2:(doba černění 15 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 6-3: Vzorek 3:(doba černění 20 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 6-4: Vzorek 4:(doba černění 30 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 6-5: Vzorek 5:(doba černění 40 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 6-6: Vzorek 6:(doba černění 45 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

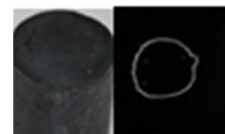
7. MATERIÁL ČSN 12 050 TEPLOTA ČERNĚNÍ 142-143°C:



Obr. 7-1: Vzorek 1:(doba černění 5 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 7-2: Vzorek 2:(doba černění 10 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 7-3: Vzorek 3:(doba černění 20 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění



Obr. 7-4: Vzorek 4:(doba černění 30 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

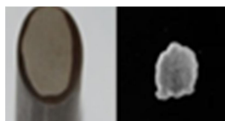


Obr. 7-5: Vzorek 5:(doba černění 40 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

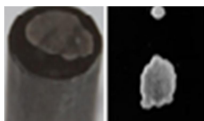


Obr. 7-6: Vzorek 6:(doba černění 45 min.)_Vyhovující korozivní odolnost, došlo k částečnému naleptání povlaku ne k jeho rozpuštění

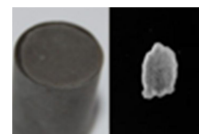
8. MATERIÁL ČSN 19 436 TEPLOTA ČERNĚNÍ 136-137°C:



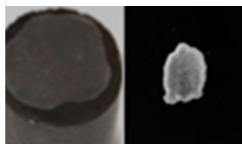
Obr. 8-1: Vzorek 1:(doba černění 5 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



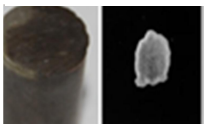
Obr. 8-2: Vzorek 2:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



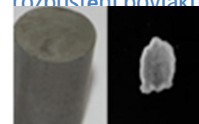
Obr. 8-3: Vzorek 3:(doba černění 20 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 8-4: Vzorek 4:(doba černění 30 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku

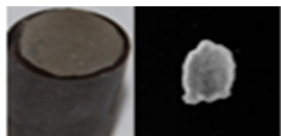


Obr. 8-5: Vzorek 5:(doba černění 40 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku

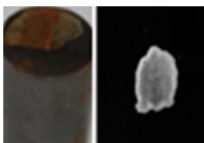


Obr. 8-6: Vzorek 6:(doba černění 45 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku

9. MATERIÁL ČSN 19 436 TEPLOTA ČERNĚNÍ 139-140°C:



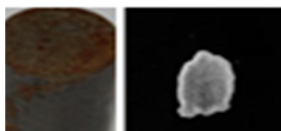
Obr. 9-1: Vzorek 1:(doba černění 5 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



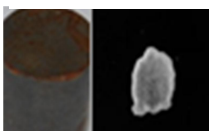
Obr. 9-2: Vzorek 2:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



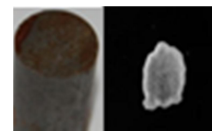
Obr. 9-3: Vzorek 3:(doba černění 20 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 9-4: Vzorek 4:(doba černění 30 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku

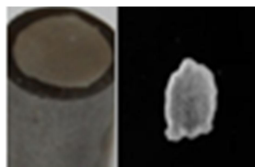


Obr. 9-5: Vzorek 5:(doba černění 40 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku

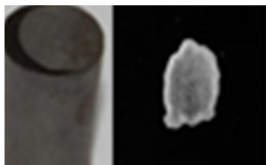


Obr. 9-6: Vzorek 6:(doba černění 45 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku

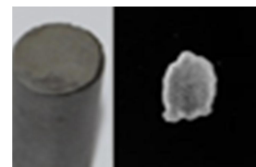
10. MATERIÁL ČSN 19 436 TEPLOTA ČERNĚNÍ 142-143°C:



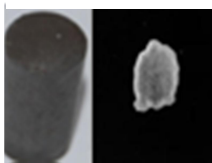
Obr. 10-1: Vzorek 1:(doba černění 5 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



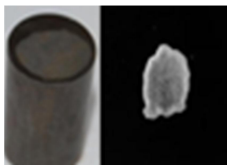
Obr. 10-2: Vzorek 2:(doba černění 10 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



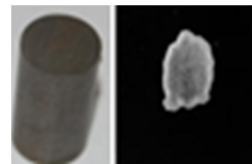
Obr. 10-3: Vzorek 3:(doba černění 20 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 10-4: Vzorek 4:(doba černění 30 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 10-5: Vzorek 5:(doba černění 40 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku



Obr. 10-6: Vzorek 6:(doba černění 45 min.)_Nevyhovující korozivní odolnost, došlo k úplnému rozpuštění povlaku