



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

**Zlepšení kvality povrchových úprav ve
vybraném provozu**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Tomáš Dub

VEDOUcí PRÁCE: Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE

STUDIJNÍ PROGRAM: B 2342 Teoretický základ strojího inženýrství

STUDIJNÍ OBOR: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Praha 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dub** Jméno **Tomáš** Osobní číslo **482432**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojírenství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce

Zlepšení kvality povrchových úprav ve vybraném provozu

Název bakalářské práce anglicky

Improving the quality of surface treatment in selected operations

Pokyny pro vypracování:

- 1) Aktuální popis daného provozu
- 2) Návrhy vedoucí ke zvýšení kvality provozu
- 3) Testování navržených opatření
- 4) Vyhodnocení a diskuze výsledků

Seznam doporučené literatury

- 1) KREIBICH, V., Teorie a technologie povrchových úprav, Praha, ČVUT, Praha, 1999

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce

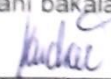
Ing. Jiří Kuchař, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce


Datum zadání bakalářské práce **21.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce **15.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce **31.12.2022**


Ing. Jiří Kuchař, Ph.D.
podpis vedoucího práce


doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucího ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkanky

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

23.5.2022
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kuchaře, Ph.D., IWE, a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Děkuji panu Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D., IWE a Ing. Vítu Routovi za jejich vstřícný přístup a cenné rady či připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a nejbližším za jejich podporu.

Anotace

Název diplomové práce:	Zlepšení kvality povrchových úprav ve vybraném provozu
Autor práce:	Tomáš Dub
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE
Konzultant:	Ing. Vít Routa
Akademický rok:	2021/2022
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík Ph.D. IWE
Rozsah práce:	85 stránek, 47 tabulek, 63 obrázků
Klíčová slova:	povrchové úpravy, práškové lakování, lakovací linka, chemické předúpravy, tryskání

Annotation

Title of the final thesis:	Improving the quality of surface treatments in the selected operation
Author:	Tomáš Dub
Supervisor:	Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE
Consultant:	Ing. Vít Routa
Academic year:	2021/2022
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík Ph.D. IWE
Extent:	85 pages, 47 tables, 63 pictures
Keywords:	surface treatments, powder coating, paint line, chemical pretreatments, shot blasting

Obsah

1. Úvod a cíl práce	12
I. Teoretická část	13
2. Doosan Bobcat EMEA.....	13
2.1 Historie Bobcat.....	13
2.2 Bobcat nyní	14
3. Povlaky a vrstvy	15
3.1 Anorganické nekovové povlaky a vrstvy.....	15
3.1.1 Konverzní povlaky a vrstvy	15
3.2 Organické povlaky.....	16
3.2.1 Organické povlaky z nátěrových hmot	16
3.2.2 Organické povlaky z plastů	17
3.3 Nanášení povlaků.....	17
3.3.1 Kataforetické lakování	17
3.3.2 Práškové lakování v elektrickém poli	18
4. Předúpravy povrchu	19
4.1 Omílání.....	19
4.1.1 Druhy omílacích zařízení.....	20
4.2 Tryskání.....	23
4.2.1 Abraziva pro tryskání.....	23
4.2.2 Pneumatické tryskání	27
4.2.3 Mechanické tryskání pomocí metacích kol	29
4.3 Broušení, leštění, kartáčování.....	30
4.3.1 Broušení.....	30
4.3.2 Leštění.....	31
4.3.3 Kartáčování.....	31

4.4	Moření.....	31
4.5	Odmašťování.....	32
4.5.1	Odmašťování v organických rozpouštědlech	33
4.5.2	Odmašťování v alkalických vodních roztocích.....	33
4.5.3	Odmašťování emulzní.....	34
5.	Testování kvality povrchových úprav	35
5.1	Zkouška v solné mlze – ČSN EN ISO 9227	35
5.2	Hodnocení stupně delaminace – ČSN EN ISO 4628-8.....	35
II.	Experimentální část.....	37
6.	Zmapování lakovacích linek firmy Bobcat.....	37
6.1	Zmapování procesu v lakovně 1	37
6.1.1	Chemické předúpravy v lakovně 1	37
6.1.2	Kataforetický uzel	40
6.1.3	Vytvrzovací pec.....	41
6.1.4	Chladicí tunely	41
6.1.5	Cleanroom	41
6.2	Zmapování procesu v lakovně 2	42
6.2.1	Tryskací zařízení.....	42
6.2.2	Lakovací kabiny linky 2	42
6.2.3	Želírovací a vytvrzovací pec linky 2.....	43
7.	Návrhy vedoucí ke zvýšení kvality povrchových úprav	44
8.	Testování navržených opatření	45
8.1	Změna chemických předúprav lakovny 1	45
8.1.1	Pragochema	45
8.1.2	Surtec.....	55
8.1.3	Chemetal.....	59

8.1.4	Henkel.....	63
8.1.5	ITS	68
8.2	Změna abraziva v lakovně 2.....	73
8.2.1	Drsnost povrchu	73
8.2.2	Testování delaminace	74
9.	Vyhodnocení a diskuse výsledků.....	76
9.1	Experiment změny chemických předúprav	76
9.2	Experiment změny abraziva v tryskacím stroji	76
10.	Závěr.....	77
	Bibliografie.....	78
	Seznam tabulek	81
	Seznam obrázků.....	83

Seznam zkratk a symbolů

μm	mikrometr
m/s	metr za sekundu
kg/dm^3	kilogram na decimetr krychlový
HRC	tvrdost podle Rockwella
mm	milimetr
MPa	megapascal
$^{\circ}\text{C}$	stupeň Celsia
NSS	neutrální solná mlha
AASS	okyselená solná mlha
CASS	okyselená solná mlha s chloridem měďnatým
s	sekunda
m^3	metr krychlový
$^{\circ}$	stupeň
V	volt
A	ampér
HRS	označení za tepla válcovaného plechu
CRS	označení za studena válcovaného plechu
Rz	střední hloubka drsnosti
h	hodina
OH-	hydroxidový iont

C	uhlík
Mn	mangan
Si	křemík
P	fosfor
S	síra
H ₂ SO ₄	kyselina sírová
FeO	oxid železnatý
Fe	železo
FeSO ₄	síran železnatý
H ₂ O	voda
H ₂	vodík

1. Úvod a cíl práce

Povrchové úpravy jsou velmi důležitou součástí mnoha výrobních procesů. Zajišťují ochranu proti korozi nebo otěru a dodávají povrchu materiálu požadované mechanické, chemické, či estetické vlastnosti.

Stejně jako pro většinu výrobních společností, tak i pro Doosan Bobcat EMEA s.r.o. je vhodná úprava povrchu stěžejní pro výslednou kvalitu výrobku, kterým je v tomto případě stavební a zemědělská technika. Povrch strojů Bobcat je při práci často velmi namáhán a odírán. Pro jejich dlouhou životnost je tedy nutné dosahovat špičkové kvality povrchových úprav.

Cílem bakalářské práce je v teoretické části představit část základních technologií používaných při povrchových úpravách, primárně ale ty, které jsou využívány společností Bobcat, případně mají potenciál být v budoucnu využívány. Cílem práce v praktické části je zmapování provozu dvou lakovacích linek ve společnosti Bobcat, dále navržení opatření vedoucích ke zvýšení výsledné kvality povrchových úprav a otestování navržených opatření.

I. Teoretická část

2. Doosan Bobcat EMEA

Doosan Bobcat EMEA, s.r.o., sídlící v Dobříši, je regionálním ředitelstvím nadnárodní společnosti Doosan Bobcat pro Evropu, Střední Východ a Afriku.

2.1 Historie Bobcat

Historie firmy Bobcat sahá až do roku 1947, kdy se všechny průmyslové stroje vyráběly rozměrné a bylo obtížné s nimi manipulovat v menších, uzavřených prostorech. Zakladatel společnosti, v té době nesoucí název Melroe, Edward Gldeon Melroe vyráběl primárně stroje pro místní farmáře z Gwinneru v Severní Dakotě. Mezi jeho nejznámější vynálezy se řadí obrabeč sena, používající se k automatickému obracení řádků na poli.

Druhý základní kořen dnešní firmy Bobcat utvořili bratři Kellerovi v Rothsay, v Minnesotě roku 1956. Bratři Louis a Cyril byli kováři, kteří vyráběli průmyslové stroje určené pro zemědělské využití. V jejich výrobě se nejvíce objevovaly pluhy pro orbu půdy a sněhové frézy. V daném roce 1956 za nimi přišel místní farmář Eddie Velo s neobvyklou poptávkou. Eddie vlastnil krutí farmu a potřeboval vyrobit stroj vhodný k rychlému a efektivnímu odvozu hnoje z druhého patra stodoly. Tehdejší stroje byly na tento úkon moc těžké a velké. Bratři Kellerovi díky svým zkušenostem s výrobou poměrně lehkých a ovladatelných sněhových fréz a pluhů zvládli zadání splnit a zkonstruovali první tříkolový kompaktní nakladač.

Zanedlouho se poptávka po strojích zvýšila a Kellerovi museli s výrobou stroje poptat většího výrobce. Bratři proto oslovili Melroe Manufacturing Company a v tomto spojení se začaly vyrábět stroje pojmenované jako „Bobcat“, nesoucí název po rysu americkém a po jeho rychlosti a mrštnosti. [1] [2]



Obr. 1 - První nakladač pojmenovaný Bobcat [3]

2.2 Bobcat nyní

V současné době je Bobcat jedním z nejvýznamnějších výrobců kompaktních nakladačů a bagrů na světě, téměř každý druhý nakladač nese jeho jméno. V roce 2017 se přestěhovala evropská centrála z belgického Waterloo do České republiky, do Dobříše, kde se nyní nachází vedení společnosti pro celou oblast EMEA, která zahrnuje Evropu, Afriku a Střední východ. Mimo to se v areálu nachází také školící středisko a vývojové centrum. Firma Bobcat má více než 2 000 odběratelů v celé Evropě a může se pyšnit inovativním přístupem a touhou po rozvoji.



Obr. 2 - Aktuálně vyráběné nakladače [4]

3. Povlaky a vrstvy

Povlaky a vrstvy jsou nejrozšířenějším způsobem ochrany proti korozi, liší se ve fyzikálních i chemických vlastnostech, složeních a technologiích nanášení.

Povlaky se dle jejich složení dělí na:

- anorganické nekovové
- organické
- kovové [5] [6]

Cílem práce v teoretické části není obsáhnout celou škálu nátěrových hmot a povlaků, ale popsat jejich hlavní rozdělení a dále se zabývat pouze těmi, které firma Bobcat využívá.

3.1 Anorganické nekovové povlaky a vrstvy

Nekovové anorganické povlaky a vrstvy chrání materiál bariérovým způsobem (např. smalty), změnou korozní odolnosti (např. pasivace, oxidace), případně katodicky (u anorganických materiálů s obsahem zinku).

Tyto povlaky se dělí na čtyři druhy:

- Konverzní povlaky a vrstvy
- Keramické smalty
- Žárově stříkané povlaky
- Anorganické nátěry, obklady a vyzdívky [5] [6]

3.1.1 Konverzní povlaky a vrstvy

Jsou to povlaky a vrstvy vznikající od povrchu do materiálu přeměnou základního materiálu, případně kovového povlaku chemickými nebo elektrochemickými reakcemi.

Nejběžněji vznikají tyto povlaky oxidů, fosforečnanů a chromanů kovů oxidací oceli nebo hliníku, fosfátováním a chromátováním. [5] [6]

Fosfátování

Fosfátování se řadí mezi nejpoužívanější chemické úpravy povrchu. Na povrchu materiálu při něm vznikají nerozpustné krystalické terciální fosforečnany zinku, železa, manganu nebo vápníku. Fosfátové povlaky jsou obvykle velmi tenké (0,5 – 2 μm). V případě

vzniku vrstev větší tloušťky dochází k uvolňování jednotlivých krystalů, a tím k odpadávání nátěru. Nejčastěji používanými fosfatizačními přípravky jsou na bázi zinku nebo železa, manganové a vápnickové přípravky se využívají zřídka.

Ač fosfátová vrstva zabraňuje vzniku koroze, je měkká a náchylná k poškození. Využívá se tedy spíše jako podklad pod další nátěrovou vrstvu. K tomu je vhodná primárně díky své schopnosti vázat na sebe některé organické látky (kromě nátěrových hmot třeba vazelíny, nebo impregnačních olejů), a tím zvyšovat jejich přilnavost k povrchu. Zároveň dochází ke zvýšení korozní odolnosti celé povrchové úpravy. Ta je docílena díky tomu, že fosfátová vrstva brání podrezávání nátěru.

Průběh fosfátování je rozdělen na tři základní fáze. Na začátku je nutné povrch materiálu zbavit nečistot (mechanicky, mořením, odmaštěním). Poté následuje proces samotné fosfatizace a nakonec oplach. [5] [7]

3.2 Organické povlaky

Organické povlaky chrání povrch materiálu primárně bariérovým způsobem a lze je rozdělit na nátěrové hmoty a povlaky z plastů. [6]

3.2.1 Organické povlaky z nátěrových hmot

Nátěrové hmoty mají tekutou nebo pastovitou konzistenci a po nanesení na povrch vytvářejí souvislý film, chránící povrch materiálu. Nátěr samotný je možné popsat jako souvislý povlak požadovaných vlastností, vzniklý nanesením a zaschnutím jedné, nebo několika vrstev nátěrové hmoty.

Základními složkami nátěrových hmot jsou:

- filmotvorné složky – jejich funkcí je vytvářet na povrchu materiálu souvislý film. Jsou to například vysychavé oleje, přírodní a syntetické pryskyřice, nebo deriváty kaučuku.
- pigmenty – dodávají povlaku barvu a lesk. Jsou to nejčastěji oxidy kovů, nebo soli.
- těkavé složky – jsou to rozpouštědla nebo ředidla, které umožňují nanesení nátěrové hmoty na povrch.

Nevýhodou povlaků z nátěrových hmot je jejich negativní vliv na životní prostředí. Obzvláště zdraví škodlivé jsou těkavé látky, pigmenty a aditiva obsažené v nátěrech. [5] [6]

3.2.2 Organické povlaky z plastů

Povlaky z plastů slouží nejen jako protikoroziční ochrana, ale některé z nich mají i vysokou mechanickou odolnost, a tudíž slouží jako spolehlivá ochrana proti opotřebením. Dalšími jejich přednostmi jsou nesmáčivost povrchu, barevná stálost a možnost bezsezónového nanášení. Dělí se na termoplasty (polyethyleny, polyamidy, fluoropolymery) a více používané reaktoplasty (epoxidy, polyestery, akryláty). Výhoda reaktoplastů spočívá v nemožnosti je opakovaně tavit a jsou tedy použitelné i ve vyšších teplotách.

Práškové plasty neobsahují rozpouštědla a jsou tedy oproti nátěrovým hmotám výrazně ekologičtější. [5] [8]

3.3 Nanášení povlaků

Při nanášení povlaků se snažíme docílit co největší efektivity práce, co nejmenší ztrátovosti nátěrových hmot a prášků a co nejvyšší kvality celého nátěru. Existuje celá řada metod nanášení povlaků: ruční nanášení, nanášení nátěrových hmot stříkáním, máčením, elektrochemickým nanášením nebo navalováním. U prášků to může být žárové stříkání, vířivé nanášení nebo naprašování.

V této práci budou podrobně rozebrány pouze způsoby využívané ve společnosti Bobcat, a to kataforetické lakování a naprašování práškových plastů v elektrickém poli vysokého napětí. [6]

3.3.1 Kataforetické lakování

Kataforetické lakování je velmi hospodárný a ekologický způsob lakování kovových povrchů. V dnešní době se tento způsob řadí k jednomu z nejprogresivnějších, zvláště když se uvažuje její vysoká korozivzdornost při nízké tloušťce barvy.

Jedná se v podstatě o nanášení barvy elektroforézním způsobem ve vodném prostředí, kdy barvený předmět má vlastnosti katody a ve stejnosměrném poli vodného roztoku epoxidové barvy přitahuje kationty barvy. Ty následně na povrchu reagují s OH⁻ ionty, vznikajícími na katodě rozkladem vody. Tím ztrácí svou rozpustnost a vylučují se na povrch

dílu. Se zvyšující se tloušťkou povlaku, se snižuje v těchto místech rychlost vylučování, až do úplného zastavení. Tím dochází k tvorbě rovnoměrného povlaku o obvyklé tloušťce 15 - 30 μm na celém povrchu dílu, včetně stíněných míst a dutin.

Elektricky vyloučená vrstva je s podkladem pevně spojena a zbytek barvy se po celém procesu opláchne a následně se povlak vypálí.

Především se používá pro výrobky ocelové, ale může být použita i pro pozinkované a hliníkové díly. [9]

3.3.2 Práškové lakování v elektrickém poli

Naprašováním práškových plastů v elektrickém poli vysokého napětí lze nanášet široké spektrum práškových hmot, nejčastěji epoxidů.

Princip nanášení spočívá v nabití částic práškové barvy elektrickým nábojem a uzemnění lakovaného dílu. Prášek následně ulpí na povrchu dílu a setrvá zde v požadované vrstvě až do vytvrzení v peci. [6]



Obr. 3 - Práškové lakování [10]

4. Předúpravy povrchu

Pro dobré vlastnosti povlaku je nutné, na úplném počátku lakovacího procesu, povrch součásti připravit vhodnou předúpravou povrchu. Díky ní je možno docílit požadované čistoty povrchu a vytvoření vhodné mikrostruktury, především pro kvalitnější zakotvení nátěru na povrch dílu.

Na čistotu povrchu je nahlíženo jako na nepřítomnost nežádoucích tuhých látek. Ty na povrchu ulpí většinou po předchozích chemických, tepelných, či technologických operacích, které byly s výrobkem prováděny. Jsou to například okuje, oxidy, svařovací produkty nebo mastnota. Dále se může jednat o znečištění cizími materiály a o korozní zplodiny. Předúprava povrchu tedy hraje zásadní roli ve výsledné kvalitě povrchu a ovlivňuje jeho životnost a výsledný vzhled. [6] [11]

Při výběru vhodného typu předúpravy povrchu je nutné brát v potaz, jak ekonomickou náročnost a ekologickou zátěž varianty, tak i lakovaný materiál dílu nebo jeho následné použití. V případě chybně zvoleného typu předúpravy hrozí nebezpečí znehodnocení povrchu nebo rychlejší koroze.

Obecně můžeme rozdělit předúpravy povrchu na:

- mechanické – omílání, tryskání, broušení, kartáčování, leštění
- chemické a elektrochemické – odrezování, moření, odmašťování, chemické leštění [6]

4.1 Omílání

Omílání funguje na principu, vzájemného relativního pohybu omílaných součástí a omílacích tělísek. Do procesu jsou přidávány také chemické prostředky. Jejich funkcí je ovlivnění brusného účinku omílacích tělísek, zabránění koroze v průběhu omílání a čištění omílacích prostředků i omílaných součástí. Omílání ve strojírenství funguje, jak už název napovídá, na stejném principu jako omílání kamenů v řece. Zde jsou kameny omílanými součástmi a omílacími tělísky jsou zrna písku v řechišti. Jejich vzájemný pohyb zajišťuje tekoucí voda v řece. Tu ve strojírenství nahrazují omílací zařízení různých typů a velikostí, vibrační, rotační, nebo odstředivé.

Díky omílání se v předúpravě povrchu dosáhne k zaoblení hran, odjehlování, odstranění otřepů a okují, odrezování, odmaštění i k celkovému obroušení a vyleštění povrchu. Podle cíle omílání se volí jak vhodná omílací tělíska (tvar, velikost, materiál), tak i vhodné provozní kapaliny a typ potřebného omílacího stroje. [5]



Obr. 4 - Omílací tělíska a omílané díly ve vibračním zařízení [12]

4.1.1 Druhy omílacích zařízení

Z důvodu různých požadavků na kvalitu povrchu omílaných dílů, na jejich velikost a různý tvar, nebo na rychlost jejich opracování se postupně vyvíjely stroje rozmanitých velikostí, funkcí a efektivit.

Základním požadavkem na omílací stroj je jeho schopnost uvést omílané díly a brusná média do vzájemného pohybu. Podle typu stroje je možné omílání rozdělit na rotační, vlečné, odstředivé, nebo vibrační. [13]

Rotační omílání

Rotační omílání se řadí mezi první druhy strojírenského omílání vůbec. Je vhodné spíše pro součásti menších velikostí, dosahuje nižší efektivitě a nízkých úběrů materiálu. Při této předúpravě jsou součásti s pracovními médii (brusné bloky, voda) vloženy do horizontálního bubnu, který je uveden do rotačního pohybu. Při pohybu bubnu se v něm součásti i brusné

bloky posouvají nahoru ve směru rotace bubnu a následně v důsledku gravitační síly padají zpět do spodní části válce. Tím dochází ke vzájemnému pohybu součástí a abraziva. [14]



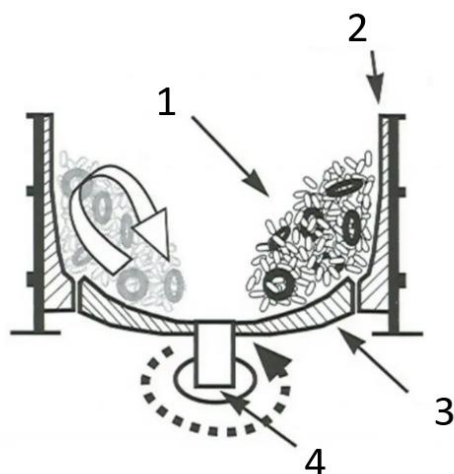
Obr. 5 - Rotační omílací stroj [14]

Vibrační omílání

Při vibračním omílání se díky vibračním vedeným po vinutých pružinách uvádí nádoba se součástmi a abrazivem do pohybu. Nádoba vibruje danou frekvencí a amplitudou, přitom dochází ke tření a kolizím mezi součástmi s abrazivem. [12]

Odstředivé omílání

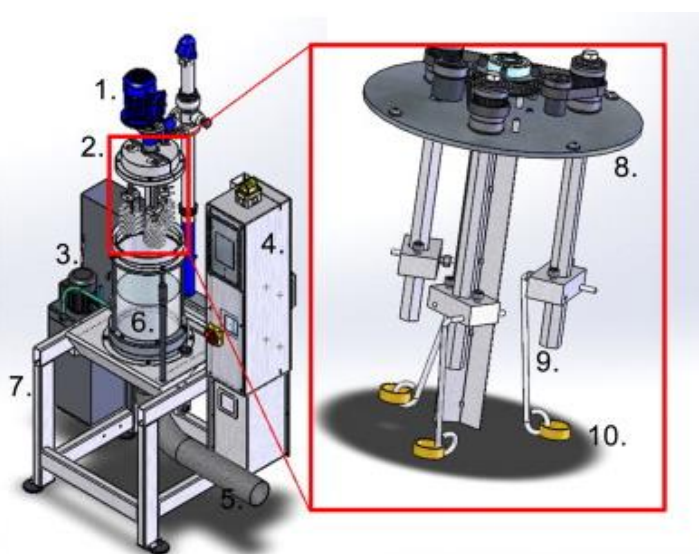
Odstředivé omílání pracuje s funkcí rotačního disku, umístěného uvnitř kruhové otevřené nádoby. Po uvedení disku do rotačního pohybu se omílací tělíska a obráběné díly rozpohybují a díky odstředivé síle stoupají po obvodu nádoby směrem vzhůru. Po dosažení maximální výšky, kdy se jejich kinetická energie vyrovná nule, spadnou vnitřkem válce zpět na dno talíře, kde jsou opět vrženy na stěnu nádoby. Při celém procesu vzniká díky odstředivým silám mezi obrobky a médii k velmi intenzivnímu obrábění, které je 10x až 20x efektivnější než u strojů pro tradiční vibrační omílání. [15]



Obr. 6 - Schéma odstředivého omílání: 1 – díly a omílací tělíska, 2 – statická nádoba, 3 – rotující disk, 4 - motor [15]

Vlečné omílání

Při vlečném omílání se opracovávané díly upevní do speciálních přípravků, a jsou po kružnici vlečeny vysokou rychlostí kruhovou nádobou s abrazivem, které má brusné, či leštící vlastnosti. Přípravky, do kterých jsou díly zavěšeny rotují kolem své osy, stejně jako celý karusel, na kterém jsou osazeny. Tímto je možno docílit rovnoměrného opracování celého povrchu výrobku. [16] [17]

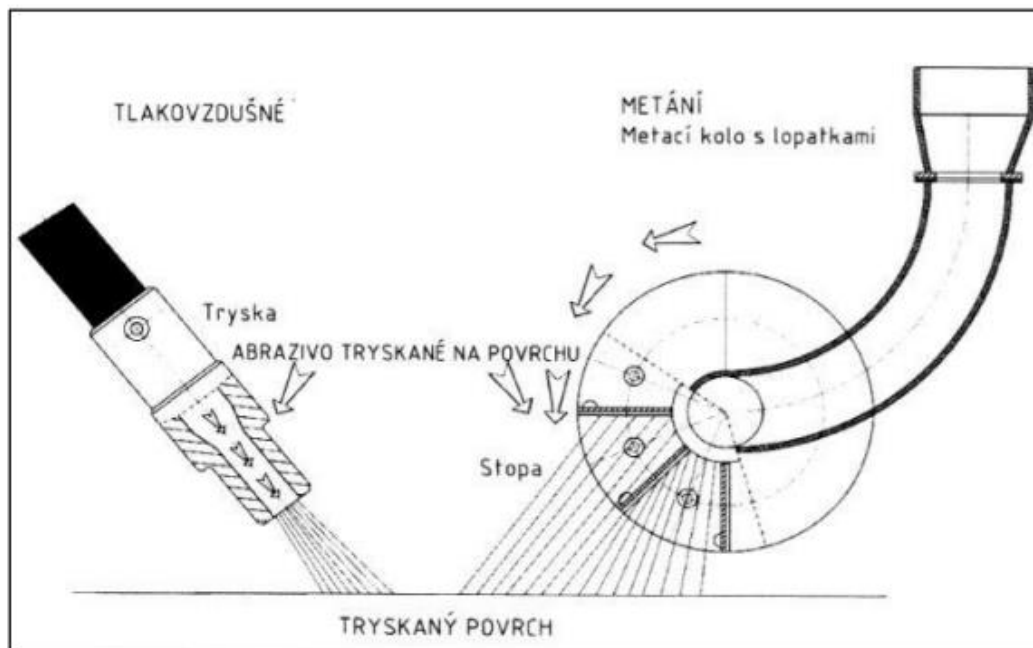


Obr. 7 - Model vlečného omílání: 1 - elektrický motor, 2 - pohyblivý systém, 3 - recyklování, 4 - řídicí jednotka, 5 - přívod vzduchu, 6 - fluidní vrstva, 7 - rám, 8 - rotující karusel, 9 - přípravky na díly, 10 – díly [17]

4.2 Tryskání

Při tryskání je na upravovaný materiál vrhán proud jemných abrazivních částic pomocí stlačeného vzduchu, popř. tlakové vody, nebo metacího kola. Práce vykonaná na materiálu je závislá primárně na vlastnostech zrna (tvrdost, tvar, velikost), a na velikosti kinetické energie, kterou je na povrch dílu zrno vrženo. Materiál je při tomto procesu zdrsňen, odjehlen, zbaven rzi, okují a nečistot. Zároveň dojde ke zvýšení materiálové pevnosti a trvanlivosti povrchu.

Tryskání se rozděluje podle principu dodané kinetické energie (Obr. 2) na tryskání pneumatické a mechanické (tryskání pomocí metacích kol). Mezi metodami je kromě samotného principu značný rozdíl v rychlostech, kterými je abrazivo na povrch vrháno. U pneumatické metody lze naměřit rychlosti dosahující 60 m/s, avšak u metody mechanické je možné docílit rychlostí až 110 m/s, a tedy je mechanické tryskání několikanásobně výkonnější. [6] [18]



Obr. 8 - Princip tlakovzdušného a mechanického (metání) tryskání [19]

4.2.1 Abraziva pro tryskání

Pro dokonalý výsledek tryskání je nutné nezanedbat výběr abraziva s vlastnostmi nevhodnějšími pro naše použití. Vlastnosti abraziva se dělí na základní (velikost, tvar, materiál, odolnost zrna vůči opotřebení, hmotnost, objemová hmotnost), mechanické

(tvrdost, pevnost v tahu) a technologické (schopnost odstraňovat materiál, zdrsňovací efekt) a jsou stěžejní pro výslednou kvalitu povrchu opracovávané součásti. Pro nejefektivnější využití zvoleného abraziva je nutné správně zvolit technologické podmínky, zejména vzdálenost trysky a pracovní tlak.

Abraziva se podle jejich materiálu dělí na organická, minerální a kovová. [18] [20] [21]

Abraziva organická

Materiály organických abraziv jsou například skořápky ořechů, plasty, kukuřičný granulát, nebo suchý led. Tyto materiály jsou používány zejména díky nízké měrné hmotnosti, díky které lze dosáhnout šetrné úpravy povrchu. Uplatnění najdou pro tryskání drobných dílů z odvětví optiky, elektroniky, či jemné mechaniky. Je možné je použít k velmi šetrnému otryskání starožitných výrobků a velmi degradovaných povrchů tak, aby nedošlo k jejich dalšímu poškození. Dále najdou využití při leštění a čištění měkkých kovů, drahokamů, šperků, skla, laminátu, dřeva a kamene (odstranění graffiti)

Organická abraziva se aplikují pomocí tryskání injektorového, či tlakového. [18] [20] [22] [23]

Abraziva minerální

Minerální abraziva se dle svého původu dělí na abraziva zemská (křemičité písky), která se získávají těžbou a abraziva syntetická (soda, korund, struska apod.), vyráběná z recyklátů.

Díky středně vysoké měrné hmotnosti zrna (průměrně 1,5 kg/dm³) jsou tato abraziva vhodná, jak pro pískování drobných dílů (jemná mechanika, optika), tak i pro tryskání dílů větších (svařence, velké profily). Zároveň je možné tryskat velkou škálu materiálů (ocel, dřevo, kámen).

Aplikace tohoto abraziva probíhá tryskáním sacím nebo tlakovým. [22] [24]

Abraziva kovová

Kovová abraziva se dělí podle tvaru zrna na ostrohranné (drtě, označení S „shot“), oblé (granuláty, označení G „grit“) a válcové (sekané dráty, označení C „cut wire“). Nejčastěji se v průmyslu lze setkat s abrazivy typu S nebo G, abraziva typu C se využívají spíše jako levnější, avšak méně efektivnější alternativa prvních dvou zmíněných.

Díky větší měrné hmotnosti oproti jiným tryskacím médiím mají kovová abraziva mnohem větší efektivitu a účinnost. Při zachování stejných provozních parametrů a výměně abraziva minerálního za abrazivo kovové, zvýší se tryskací výkon minimálně čtyřnásobně.

Tato abraziva se aplikují tlakovým tryskáním nebo pomocí metacích kol. [18] [20] [22]

Ocelová drť

Ocelová drť se vyrábí drcením speciálně tepelně upravených granulí větších průměrů a získává tím svůj hranatý tvar. Používá se zejména pro odstraňování korozních prvků, okují nebo zbytků barev, ze železných materiálů. Nejčastěji nachází ocelová drť využití v tryskacích zařízeních s uzavřeným oběhem – v tryskacích kabinách, nebo komorách.

Kromě základního označení ocelové drtě G, lze v katalozích výrobců najít i označení tvrdosti abraziva písmeny H, L, P.

- H – zrno nejvyšší tvrdosti, která se pohybuje v rozmezí 62 – 67 HRC. Z důvodu jeho vysoké trvanlivosti a nízké poddajnosti se tato tvrdost zrna využívá spíše v pneumatických tryskacích zařízeních. U mechanických zařízení dochází kvůli nepoddajným ostrým hranám abraziva k deformaci metacích lopatek.
- L – zrno střední tvrdosti 50 – 60 HRC. Zrna se během tryskacího procesu zakulacují.
- P – nejměkčí zrna s tvrdostí 45 – 52 HRC. V průběhu procesu dochází k velmi rychlému zakulacení zrn. Tvrdost zrna vhodná pro odstranění okují.

Velikost zrn se pohybuje od 0,1 do 2,3 mm a značí se číslem v názvu drti. Čím vyšší číslo, tím menší velikost zrna. Kupříkladu drť s označením G.16 od výrobce Reno-Tech.cz, s.r.o obsahuje částice o velikosti 1,2 – 1,7 mm a drť G.50 od téhož výrobce 0,3 – 0,8 mm. [18] [21] [22]

Tab. 1 - Parametry ocelové drti [18]

Chemické složení	C - 0,75 – 1,20 %
	Mn - 0,60 – 1,10 %
	Si - 0,60 – 1,10 %
	P - max. 0,04 %
	S - max. 0,04 %
Sypná hmotnost	3,0 – 4,5 kg/dm ³
Měrná hmotnost	8 kg/dm ³



Obr. 9 - Ocelová drť [25]

Ocelový granulát

Ocelový granulát, se díky své vysoké životnosti a vysokému čistícímu účinku při minimálních nákladech, řadí mezi nejpoužívanější tryskácí abraziva. Je vyroben z hypereutektoidní, speciálně tepelně opracované oceli, a díky homogenní struktuře temperovaného martenzitu dosahuje ocelový granulát optimální elasticity a únavového odporu.

Používá se pro tryskání hutních polotovarů, větších svařenců a odlitků nebo odstraňování otřepů. Pro tyto aplikace je ve strojírenství nejčastěji využíváno zařízení s metacími koly, jelikož granulát díky svým oblým hranám neopotřebovává metací lopatky v takové míře jako drť. Pneumatické tryskácí zařízení se využívá při použití ocelového granulátu primárně pro kuličkování, při kterém dochází ke ztuhnutí povrchové vrstvy, a tím ke zvýšení životnosti daného dílu. Oblastmi použití kuličkování jsou například pružiny, torzní tyče a hřídele, nebo ozubená kola.

Ocelový granulát dosahuje tvrdosti 40 – 55 HRC. Jeho chemické složení, sypná a měrná hmotnost, jsou srovnatelné s ocelovou drtí (viz Tab. 1). [18] [21] [22]



Obr. 10 - Ocelový granulát [25]

Sekaný drát

Jako levnější alternativa drti se může použít sekaný drát. Ten však nedosahuje takové míry účinnosti, primárně z důvodu své vysoké houževnatosti. Vysoká houževnatost ale dovoluje jeho použití v mechanických metacích zařízeních, jelikož díky rychlému zakulacení ostrých hran má zanedbatelný destruktivní účinek na lopatky metacích kol.

Sekaný drát se vyrábí kromě oceli také z mosazi, zinku nebo nerezové oceli. [18] [21]



Obr. 11 - Sekaný drát [21]

4.2.2 Pneumatické tryskání

Při pneumatickém tryskání jsou části urychlovány a vrhány na materiál tryskou pomocí proudu stlačeného vzduchu. Běžně používaný tlak vzduchu se pohybuje v rozsahu 0,2 - 0,8 MPa.

Výhodou pneumatického tryskání je značná variabilita použití. S tryskou je možno se dostat i do koutů tvarově složitějších součástí a opracovat tak i hůře dostupná místa. Zároveň systém dovoluje mnohem větší variabilitu ve velikosti otryskávaných dílů a díky možnosti mobilního tryskacího systému je možné ho použít i na konstrukce v terénu.

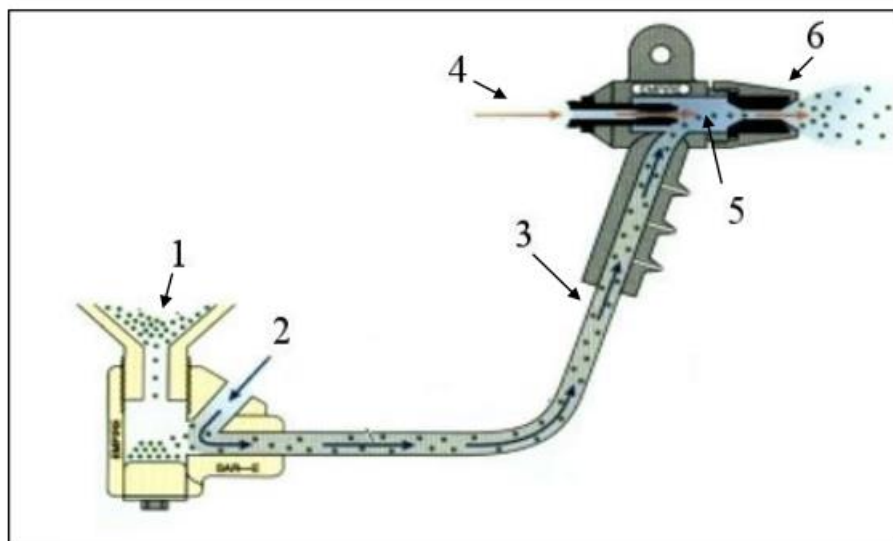
Systémy pneumatického tryskání jsou:

- Sací systém
- Tlakový systém [26] [27]

Sací systém

Sací (injektorový) systém je složen z tryskací pistole, dvou hadic (jedné pro stlačený vzduch a jedné pro abrazivo) a zásobníku na abrazivo. Systém využívá stlačeného vzduchu, který je vháněn přímo do tryskací pistole, kde se míchá s abrazivem. Díky tomu ve směšovací komoře dochází k podtlaku, a do pistole je nasáván tryskací prostředek ze zásobníku. Abrazivo je následně vrháno na povrch opracovávaného materiálu.

Sací tryskání dosahuje přibližně 25 – 30 % účinnosti tlakového tryskání. V důsledku toho je tento systém vhodný spíše pro lehké a střední aplikace. Často se jedná o měkké kovy, kde je nutné lehké odstranění otřepů, zpevnění povrchu a odstranění okují. Příklady lze najít v automobilovém a leteckém průmyslu, kde jsou touto metodou opracovávány součásti z hliníku, titanu, nebo hořčíku. [26] [27]



Obr. 12 - Princip sacího tryskání: 1 - zásobník s abrazivem, 2 - sání vzduchu, 3 - tok vzduchu a abraziva, 4 - přívod stlačeného vzduchu, 5 - směšovací komora, 6 - tryskací hlavice [27]

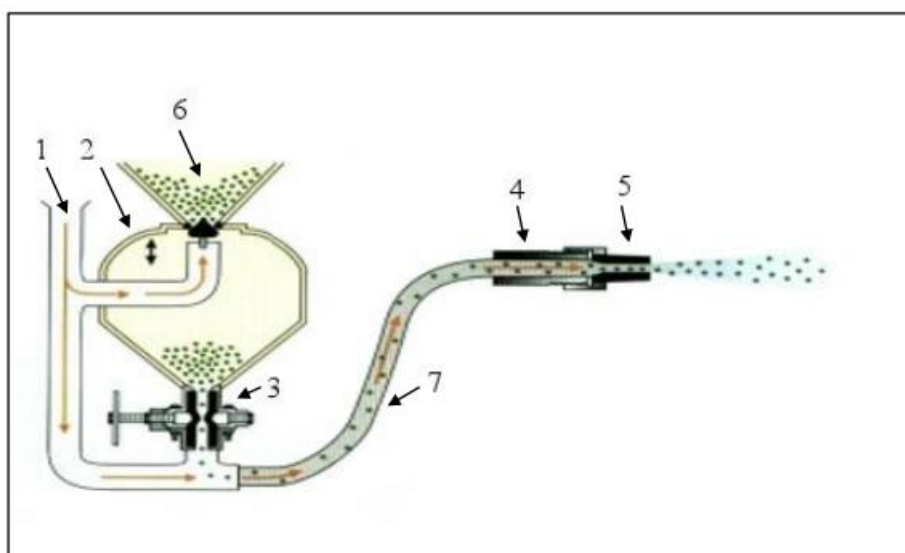
Tlakový systém

Tlakový systém pracuje pouze s jednou hadicí vedenou do tryskací pistole, ve které je abrazivo poháněno stlačeným vzduchem, a následně urychleno při expanzi vzduchu na konci trysky. Abrazivní částice jsou uloženy v tlakové nádobě a následně se míchají s proudícím vzduchem.

Tento systém se používá pro čištění odolnějších materiálů od okují, korozních produktů, mechanických nečistot a pro zpevňování povrchu materiálu.

Nevýhodou tlakového tryskání je potřeba doplňovat abrazivo do tlakové láhve. Z tohoto důvodu není možné tryskat delší dobu kontinuálně, ale je třeba proces tryskání zastavit, uzavřít přívod tlakového vzduchu a abrazivo se do tlakové láhve automaticky nasype.

[26] [27]



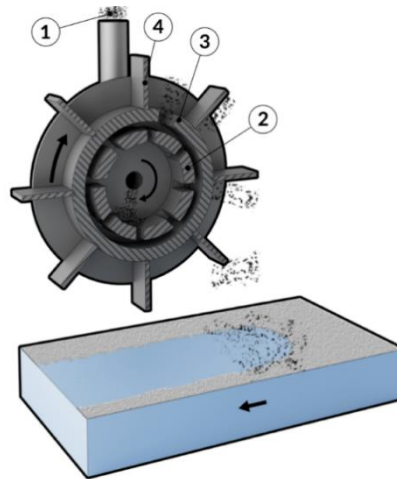
Obr. 13 - Princip tlakového tryskání: 1 - stlačený vzduch, 2 - tlaková nádoba, 3 - kulový ventil, 4 - držák trysky, 5 - tryska, 6 - abrazivo, 7 - přívod směsi abraziva a stlačeného vzduchu [27]

4.2.3 Mechanické tryskání pomocí metacích kol

Mechanické tryskače jsou zařízení, která využívají funkce jednoho, či několika rotujících metacích kol. Ty pomocí kinetické energie, vzniklé díky odstředivé síle, metají abrazivní materiál, kterým je nejčastěji granulát, na opracovávaný povrch.

Metáním se tryskají primárně velké díly s jednoduchou geometrií. Při složitější geometrii dílu je nutné použít více metacích kol, která díl otryskají ze všech možných úhlů.

Při metání je abrazivo průběžně doplňováno plnicím potrubím do dávkovacího rotoru. Ten se otáčí souběžně s rotorem, na kterém jsou umístěny lopatky. Díky otáčkám dávkovacího rotoru se abrazivo dostane díky odstředivé síle na stěnu objímky, která odděluje rotor dávkovací s rotorem lopatek. V objímce je výřez, kterým se abrazivo dostává do mezilopátkového prostoru, následně je lopatkami urychleno a vrženo na otryskávaný povrch.



Obr. 14 - Schéma metacího kola: 1 – vstup abraziva do plnicího potrubí, 2 – dávkovací rotor, 3 – objímka, 4 – lopatka vnějšího rotoru [28]

Metací stroje jsou určeny pro sériové výroby s vysokou produkcí a požadavkem na vysoký výkon zařízení. Podle parametrů tryskaného dílu, a požadavků na jeho opracování, se používají tryskače průběžné, bubnové nebo závěsné. [28]

4.3 Broušení, leštění, kartáčování

Broušení, leštění a kartáčování jsou nejčastějšími způsoby mechanických úprav. Principiálně se jedná o velmi podobné metody, ale s využitím různých nástrojů.

4.3.1 Broušení

Pomocí broušení jsou postupně odebírány tenké vrstvy materiálu a tím jsou odstraněny nepravidelnosti, nečistoty a rez. Povrch materiálu se zdrsňuje a zvyšuje se povrchová přilnavost. Pro broušení lze použít plátěné, nebo papírové brusné pláty a kotouče s pevnou, či volnou vazbou abraziva. [5]

4.3.2 Leštění

Neexistuje přesně stanovená hranice mezi broušením a leštěním. Leštění je obecně jemnější, dochází k menšímu úbytku materiálu, velmi nízké výsledné drsnosti povrchu a zvýšení lesku.

K leštění se používají obvykle plastové, nebo textilní rotační kotouče různých tvarů a leštící pasty. Dle materiálu a požadovaného výsledného lesku se volí druh a jemnost pasty a obvodová rychlost. [5]

4.3.3 Kartáčování

Kartáčování má dva hlavní cíle. Prvním z nich je zbavení povrchu hrubých nečistot jako je koroze nebo starý nátěr, druhým je sjednocení povrchu, což většinou spočívá v odstranění oxidické vrstvy, která vznikla při broušení. Zatímco pro odstranění nečistot se používají hrubší kartáče z ocelového drátu, pro zbavení se oxidické vrstvy se preferují spíše měkčí a pružnější kartáče, na kterých lépe ulpívají brusné pasty. [5]

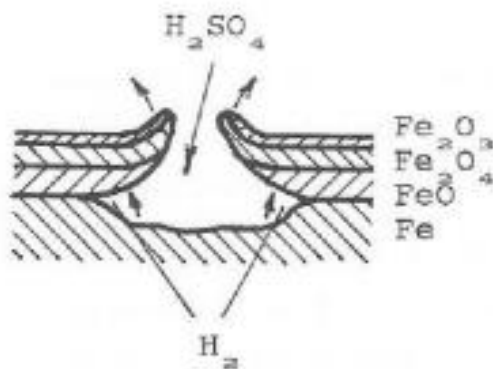
4.4 Moření

Při procesu moření se z povrchu materiálu odstraňují tzv. vlastní nečistoty. Těmi se rozumí látky spojené s kovem určitou chemickou vazbou. Jde o korozní zplodiny, jako například okuje nebo rez. K moření se využívá nejčastěji kyselin a kyselých solí, ojediněle alkalických činidel, dle toho, o jaký typ železného, nebo neželezného, kovu se jedná.

K moření ocelí se velmi často využívá kyselina sírová (H_2SO_4), ať už pro účely odstranění okují, nebo jako předběžná operace (např. před fosfátováním). Moření v kyselině sírové vyniká hlavně svou nízkou cenou a nízkou spotřebou kyseliny. Samotný proces probíhá tak, že se kyselina dostává trhlinami v povrchu k základnímu materiálu, přičemž v okujích rozpouští oxid železnatý (FeO) a ze základního materiálu samotný kov (Fe).



Spodní vrstva okují se při rozpouštění začne uvolňovat a za současného působení vodíku začne proces odprýskávání a okuje se začnou odlupovat.



Obr. 15 - Princip moření v kyselině sírové [29]

K moření se nejčastěji používají lázně o koncentraci 10 až 20 % a teplotě 40 až 70 °C. Za těchto podmínek trvá celý proces přibližně 10 až 30 minut. [5] [6]

4.5 Odmašťování

Odmašťování je souhrnný název pro odstraňování ulpělých nečistot z ošetřovaného povrchu. Ulpělé nečistoty jsou popisovány jako cizí látky, vázané k povrchu adhezními silami, a jsou to primárně zbytky mastných látek (pasty, oleje), nebo kovové nečistoty (třísky, kovový prach).

Podle použitých odmašťovadel lze procesy odmaštění rozdělit na:

- odmašťování v organických rozpouštědlech
- odmašťování v alkalických vodních roztocích
- odmašťování vodnými tenzidovými prostředky
- odmašťování emulzní

Dále se odmašťování dělí dle způsobu aplikace na:

- odmašťování ponorem
- odmašťování postřikem
- odmašťování v parách
- odmašťování elektrolytické
- odmašťování ultrazvukem
- odmašťování mechanické a tepelné [5] [29]

4.5.1 Odmašťování v organických rozpouštědlech

Proces odmašťování v organických rozpouštědlech je jednoduchý a dosahuje vysoké efektivity čištění. To však za cenu náročné likvidace rozpouštědel, nemožnosti použití na vlhké povrchy a odstraňování heteropolárních nečistot (anorganické soli, potu).

K organickému odmašťování se používají buď rozpouštědla hořlavá (petrolej, benzín), nebo rozpouštědla z řad chlorovaných uhlovodíků (trichlorethylen, perchlorethylen). K hlavním nevýhodám u prvních zmíněných patří jejich hořlavost, výbušnost a nízká schopnost rozpouštět mastnoty z leštících past. U chlorovaných uhlovodíků lze najít nevýhody v jejich narkotizačních účincích a náchylnost k rozpadu teplem a světlem, při kterém vzniká chlorovodík, způsobující korozi materiálu. [5] [29]

4.5.2 Odmašťování v alkalických vodních roztocích

Princip tohoto odmašťování spočívá v emulgaci a dispergaci nečistot. Alkalické odmašťovací roztoky působí různým způsobem, podle látky ulpělé na povrchu materiálu. Buď látky na povrchu chemicky mění (zmýdelňují), jak je možné pozorovat u rostlinných a živočišných tuků nebo olejů. Druhou možností je stav, kdy látky emulgují (rozptylují se ve formě jemných kapiček do roztoku), a tím se odstraňují z povrchu, jako je tomu například u mastných látek minerálního původu.

Alkalické přípravky se dodávají v různých formách a s velmi rozličnými složeními v závislosti na odmašťovaném materiálu, druhách zamaštění nebo způsobu aplikace roztoku. Oproti organickým rozpouštědlům lze nalézt u rozpouštědel alkalických řadu výhod. Jsou nehořlavé, mnohem levnější, odmašťovací proces je mnohem méně hygienicky závadný a je efektivnější.

Alkalická rozpouštědla obsahují zásadité soli uvolňující alkálie (uhličitan, křemičitan, fosforečnan), nebo volný hydroxid (louh). Dále jsou často rozpouštědla obohacena povrchově aktivními látkami – tenzidy, které snižují povrchové napětí mezi roztokem a mastnotou. Tím zlepšují smáčivost a oplachovatelnost. Pokud možno musí být tenzidy nepěňivé a snadno odbouratelné. V některých odmašťovacích je alkalická složka nahrazena boritany a polyfosfáty.

Nejčastěji se alkalická rozpouštědla aplikují ponorem při cca 40 – 70 °C. Při větším znečištění ošetřovaných dílů je lepší použít aplikaci postřikem, která povrch dílu ošetří i mechanicky. [5] [29] [30]

4.5.3 Odmašťování emulzní

Při emulzním odmašťování se díly ponoří do organického rozpouštědla s obsahem organických emulgátorů. Rozpouštědlo plní svou funkci a rozpouští mastnoty, popř. snižuje jejich viskozitu a emulgátor napomáhá rozpouštědлу vniknout do vrstvy nečistot. Po určité době se díly z lázně vyjmou a opláchnou, čímž se z povrchu odstraní jak nečistoty, tak rozpouštědlo ve formě vodné emulze. [5] [29]

5. Testování kvality povrchových úprav

Povlaky a nátěry lze pro určení jejich životnosti a odolnosti testovat v laboratorních podmínkách, dle určitého řádu a pravidel. V praxi se nejčastěji testuje přilnavost povlaku a jeho delaminace v řezu po určité době v solné komoře.

V kapitole jsou popsány normy, užívané při provádění a vyhodnocování zkoušek z experimentální části práce.

5.1 Zkouška v solné mlze – ČSN EN ISO 9227

Zkouška v solné mlze představuje urychlený proces degradace nátěru, který v kovech za běžných podmínek nastává, ale za delší časový úsek.

Zkoušku lze provádět neutrální solnou mlhou (NSS), okyselenou solnou mlhou (AASS) a okyselenou solnou mlhou s chloridem měďnatým (CASS). Každé z těchto prostředí se využívá pro jiný typ materiálu. Zkouška NSS je použitelná pro kovy a jejich slitiny, kovové konverzní povlaky a organické povlaky na kovových materiálech. Pro prostředí okyselené solné mlhy (AASS) a okyselené solné mlhy s chloridem měďnatým (CASS) se využívá pro testování dekorativních povlaků měď-nikl-chrom nebo nikl-chrom a pro anodické a organické povlaky na hliníku.

Průběh samotné zkoušky tkví v umístění testovaných vzorků, s provedeným normovaným vrypem, do komory tak, aby nedocházelo k žádnému vzájemnému kontaktu. Nechají se v komoře po předem stanovenou dobu a po skončení této doby jsou vyjmuty, jsou opláchnuty a nechají se oschnout. Poté je jejich povrch v okolí řezu mechanicky očištěn a je vyhodnocen stav porušení dle normy ČSN EN 4628-8 (Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu). [31]

5.2 Hodnocení stupně delaminace – ČSN EN ISO 4628-8

Dle normy ČSN EN ISO 4628-8 (Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu nebo jiného umělého defektu) se vyhodnocuje stupeň delaminace nátěru.

Norma stanovuje, že po expozici vzorků s vrypem koroznímu prostředí jsou vzorky opláchnuty vodou a ofouknuty stlačeným vzduchem. Poté se čepelí nože mechanicky odstraní nátěr z okolí řezu.

Po odstranění je měřidlem s přesností na 0,5 mm změřena šířka oblasti delaminace na nejméně 6 místech.

Z naměřených hodnot se stanoví průměrná celková šířka oblasti deformace d_1 podle rovnice:

$$d_1 = \frac{a + b + c + d + e + f}{6} \quad (3)$$

kde a,b,c,d,e,f představují výsledky jednotlivých měření delaminace

Následně se vypočte rozsah delaminace d podle:

$$d = \frac{d_1 - w}{2} \quad (4)$$

kde w se rovná šířce vrypu do nátěru. [32]

II. Experimentální část

6. Zmapování lakovacích linek firmy Bobcat

Lakovací proces, ve výrobním závodě firmy Doosan Bocat EMEA v Dobříši, zajišťují dvě na sobě nezávislé lakovací linky.

Starší linka (Lakovna 1) byla vybudovaná zároveň s výstavbou celé výrobní haly v letech 2006 – 2007 firmou EKOL s.r.o. Technologické procesy zde probíhající jsou odmaštění, fosfátování, nanášení kataforetické barvy a nanášení práškových plastů.

Novější linka (Lakovna 2) byla postavena v roce 2017 a nachází se v ní průběžné tryskací zařízení a dvě manuální lakovací kabiny práškových plastů.

6.1 Zmapování procesu v lakovně 1

Proces povrchových úprav, ve starší z lakovacích linek závodu v Dobříši, je možné rozdělit na tyto části:

- chemické předúpravy
- kataforetický uzel
- vytvrzovací pec 1
- chladicí tunel 1
- cleanroom s lakovacími kabinami
- vytvrzovací pec 2
- chladicí tunel 2

6.1.1 Chemické předúpravy v lakovně 1

Sekce chemických předúprav je tvořena tunelem, ve kterém jsou díly ošetřovány postřikem. V každé fázi je dno tunelu spádové, aby přípravky stékaly do van pod tunelem a byly znovu použity.

Fáze chemických předúprav v LAK1 jsou:

- předodmaštění
- odmaštění
- oplach 1°
- oplach 2°
- fosfátování
- oplach 3°
- oplach 4°



Obr. 16 - Vstup do tunelu chemických předúprav [33]

Předodmaštění

Zóna předodmaštění je určena k hrubému odmaštění dílů vstupujících do procesu. Je zde instalováno 7 postřikových rámu, z nichž každý je osazen 24 tryskami pro plný ostřík dílu ze všech stran. Díl je v této zóně exponován odmašťovacímu postřiku po dobu 100 s a poté postřik z dílu 60 s odkapává.

Postřik se po použití akumuluje ve vaně o objemu 4,7 m³, která ho zároveň pomocí deskového výměníku zahřívá na požadovanou teplotu. Z vany je separována mastnota pomocí kotoučového odlučovače. Tím je životnost odmašťovací lázně výrazně prodloužena.

Odmašťovačem je zde nízkopěnový deemulgující radikální odmašťovač Pragolod RAD 10 od společnosti Pragochema spol. s.r.o. Ten je doplňován podle alkality lázně, měřené třikrát denně.

Teplota lázně se pohybuje mezi 45 – 50 °C, což je hodnota u doporučené spodní hranice výrobce, který uvádí vhodnou teplotu v rozmezí 45 – 75 °C. Lázeň předodmaštění se automaticky doplňuje přepadem z vany lázně oplachové.

Odmaštění

Sekce odmaštění je konstrukcí i parametry velmi podobná sekci předodmaštění. Rozdílná je vyšší teplota, která se udržuje mezi 50 – 55 °C, není zde odlučovač mastnoty a lázeň je doplňována přepadem vodou z oplachu 1°. Odmašťovadlo je zde aplikováno po dobu 120 s a následuje 75 s odkapání.

Oplach 1° a oplach 2°

Po odmaštění je na lince oplach běžnou vodou z městského vodovodu, která má teplotu okolí. Oba oplachy mají vlastní vanu o objemu 2,7 m³ a disponují 4 postřikovými rámy. Časově je sekce oplachů vodou z řádu rozdělena na: 60 s postřik oplach 1°, 75 s odkapání, 60 s postřik oplach 2° a 100 s odkapání. Vana oplachu 1° se doplňuje samospádem z vany oplachu 2°, kterou doplňují trysky za oplachy přímo napojené na rozvod vody.

Fosfátování

Zóna fosfátování se sestává z 9 postřikových ráků, vany objemu 4,7 m³, topným okruhem s deskovým výměníkem a automatickým dávkovacím systémem fosfátového přípravku. Doplňování této lázně probíhá samospádem demineralizovanou vodou z oplachu 3°.

Používaným přípravkem je zde BONDERITE M-FE HMF-1080 IT od firmy Henkel. Tento přípravek má za úkol vytvořit na povrchu dílů vrstvu železitého fosfátu, a zároveň povrch finálně zbavit zbylých nečistot. Teplota lázně je udržovaný v doporučené normě, kterou je 50 – 55 °C.

Oplach 3° a oplach 4°

Poslední dva oplachy jsou sestaveny ze dvou van o objemu 2,7 m³ a celkem 8 postřikových ráků. Díly jsou zde oplachovány demineralizovanou vodou o teplotě okolí. Oplach 3° je doplňován samospádem z oplachu 4° a ten je doplňován z trysek za sekci.

6.1.2 Kataforetický uzel

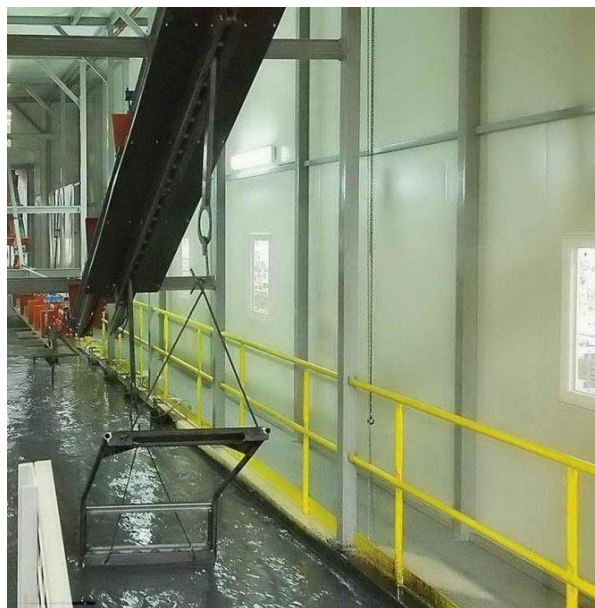
Po fázi chemických předúprav vjede díl do sekce kataforetického lakování (KTL), která je sestavena z:

- samotného nanášení KTL
- oplachu 1° po KTL
- oplachu 2° po KTL

Do vany KTL lázně o objemu 114 m³ díly zajíždějí díky klesání podvěsného dopravníku a je zde na ně při 240 V/60 A nanášena barva na bázi epoxidu POWERCRON® P459 od společnosti PPG. Tloušťka nátěru po KTL je minimálně 20 – 25 µm. Lázeň s barvou se udržuje standartně na teplotě cca 25 – 35 °C.

Vana obsahuje také rámy s tryskami pro míchání barvy, ultrafiltrační okruh pro získávání permeátu z barvy a anolytový okruh pro odvod přebytečné kyseliny octové.

Následně je díl opláchnut permeátem ve dvou postřikových sekcích s vanami o objemu 2,7 m³.



Obr. 17 - Vana KTL [33]

6.1.3 Vytvrzovací pec

Pec po KTL a pec po práškové barvě jsou prakticky totožné. Ve vytvrzovacích pecích je nátěrová hmota nanesená v kataforetické vaně i prášková barva nanesená v kabinách cleanroomu tvrzena při 205 °C po dobu 51 minut. Vyhřívání obou pecí zajišťují automaticky regulované hořáky na zemní plyn.

6.1.4 Chladící tunely

Po vytvrzovacích pecích jsou v lince instalovány chladící tunely, které díly chladí proudem vzduchu nasávaného z venkovního prostředí.

6.1.5 Cleanroom

V Cleanroomu se nachází dvě průchozí lakovací kabiny pro nanášení práškových plastů. Jedna automatická s ručním dostřikem a jedna čistě ruční. V obou kabinách se prášek, kterým je ENVICRON PCS od firmy PPG nanáší elektrostaticky.



Obr. 18 - Ruční dostřik za automatickou kabinou [33]

6.2 Zmapování procesu v lakovně 2

Novější lakovna disponuje tryskacím zařízením a dvěma lakovacími kabinami pro nanášení prášku. Díly jsou zavěšeny na podvěsném dopravníku a linka je z důvodu efektivnějšího využití prostoru dvoupatrová, přičemž pro vyjetí/sjetí dopravníku do jiného patra jsou využity dva výtahy.

Sestavení druhé lakovací linky je následující:

- mechanický tryskací stroj s ruční dotryskávací komorou
- kabina pro nanášení základní vrstvy práškové barvy
- želírovací pec
- chladicí tunel 1
- kabina pro nanášení horní vrstvy práškového plastu
- vytvrzovací pec
- chladicí tunel 2

6.2.1 Tryskací zařízení

Mechanické předúpravy na novější lakovací lince zajišťuje průběžné závěsné metací zařízení TOR16x23/12W1E a ruční tryskací kabina.

Úsek tryskání je koncipován tak, že díl je nejprve otryskán v metacím zařízení a poté vjede po dopravníku do ruční pneumatické tryskací kabiny, kde jsou operátory otryskána skrytá a hůře dostupná místa, kam se abrazivo v předchozím kroku nedostalo. Ruční kabina využívá tlakový systém tryskání. Užívaným abrazivem v sekci tryskání je granulát WS230 od společnosti W Abrasives.

Samotný tryskací stroj obsahuje 12 metacích kol, filtrační jednotku sloužící k rozdělování abraziva na odpadní a znovu použitelné a dopravník abraziva do filtrační jednotky.

6.2.2 Lakovací kabiny linky 2

V lakovně 2 jsou na díl nanášeny dvě vrstvy práškových plastů. Základní vrstva (tzv. primer) a finální vrstva (tzv. top-coat) jsou aplikovány ručně elektrostatickým způsobem.

V první kabině je prášek odsávaný podlahou a je posléze znovu použit, v kabině druhé se lakuje tzv. do ztráty.

6.2.3 Želírovací a vytvrzovací pec linky 2

Obě pece jsou konstrukčně velmi podobné, mají jen jiný význam. Pracovní teplota v nich je taktéž stejná, a to 200 °C. Pec želírovací slouží k natavení primeru a pec vytvrzovací k vytvrzení finálního povlaku. Pec vytvrzovací také disponuje rozdělením dopravníku na 3 linie, pro možnost různého času vytvrzování pro různé díly.

7. Návrhy vedoucí ke zvýšení kvality povrchových úprav

Na základě zmapování procesu byla navržena místa, ve kterých by se mohl proces inovovat tak, aby se zvýšila životnost protikorozní ochrany.

Jelikož je materiál vstupující do procesu povrchových úprav silně znečištěn (ocelový prach, okuje), bylo by nejvhodnější všechny díly mechanicky tryskat. To bohužel vzhledem k již postavenému tunelu chemických předúprav v lakovně 1 není možné.

Prvním návrhem tedy bylo vylepšení chemických předúprav v lakovně 1. Bylo osloveno pět různých firem, seznámeno s provozem a byly jim zaslány vzorky pro jejich vlastní chemickou předúpravu, která byla následně testována.

Druhou možností zvýšení kvality povrchu je zvýšení drsnosti povrchu vstupního materiálu z důvodu lepší přilnavosti nátěru. Toho je možné docílit změnou abraziva použitého v tryskacím stroji.

Oba návrhy byly aplikovány na vzorky a porovnány se stávajícím stavem povrchových úprav.

8. Testování navržených opatření

Navržená opatření byla otestována na stupeň delaminace v laboratoři společnosti Bobcat.

8.1 Změna chemických předúprav lakovny 1

Pro testování chemických předúprav byly použito pět sad dvanácti vzorků za tepla válcovaného plechu (HRS) a dvanácti vzorků za studena válcovaného plechu (CRS). Každá sada byla zaslána jedné z firem Chemetal, Pragochema, Surtec, Henkel a ITS. Každou společností byly vzorky předupraveny takovým způsobem, který by bylo možné použít pro stávající sestavení chemických předúprav na lakovně 1 ve společnosti Bobcat.

Následně byly vzorky navěšeny na lakovací linku 1 za zónu chemických předúprav a byl na ně nanesen KTL nátěr a prášková barva.

Po nalakování byly vzorky umístěny do solné komory, pracující dle normy ČSN EN ISO 9227 a byly zde umístěny po dobu 500, či 750 hodin.

Degradace nátěru byla posléze testována dle normy ČSN EN ISO 4628-8, Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu, nebo jiného umělého defektu.

V následujících kapitolách se nachází výsledky všech provedených testů zpracované do tabulek, spolu s fotografiemi vzorků ve stavu po odstranění nátěru z okolí řezu, při hodnocení stupně delaminace

8.1.1 Pragochema

Společnost Pragochema navrhla obměnu odmašťovadla RAD 10 za radikálnější, silně alkalický Pragofos 1008 M. Dále výměnu železnatého fosfátu za pasivační prostředek Pragokor NZP a přidání silanu, jako další konverzní vrstvy. Všechny vzorky byly označeny písmenem P a příslušným číslem.

Celkem tak vzniklo několik variant, jak se vzorky předupravily:

- RAD 10 + NZP (P1, P2, P3, P13, P14, P15)
- RAD 10 + NZP + silan (P4, P5, P16, P17)
- 1008M + NZP (P7, P8, P9, P19, P20, P21)
- 1008M + NZP + silan (P10, P11, P22, P23)
- RAD 10 + Fos 2061 (P6, P18)
- 1008M + Fos 2061 (P12, P24)

Tab. 2 - Pragochema: Rad10 + NZP, CRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P1	130	12,43	5,71

Tab. 3 - Pragochema: Rad10 + NZP, CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P2	80	21,23	10,12
P3	100	19,54	9,27



Obr. 19 - Pragochema: Rad10 + NZP, CRS – vlevo 500 h, uprostřed 750 h, vpravo 750 h

Tab. 4 - Pragochema: Rad10 + NZP, HRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P13	95	2,53	0,77

Tab. 5 - Pragochema: Rad10 + NZP, HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P14	120	1,25	0,13
P15	120	1,06	0,03



Obr. 20 - Pragochema: Rad10 + NZP, HRS – vlevo 500 h, uprostřed 750 h, vpravo 750 h

Tab. 6 - Pragochema: Rad10 + NZP + silan, CRS, 500 h + 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P4	110	12,50	5,75
P5	145	17,46	8,23



Obr. 21 - Pragochema: Rad10 + NZP + silan, CRS – vlevo 500 h, vpravo 750 h

Tab. 7 - Pragochema: Rad10 + NZP + silan, CRS, 500 h + 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P16	95	1,25	0,13
P17	100	1,81	0,41



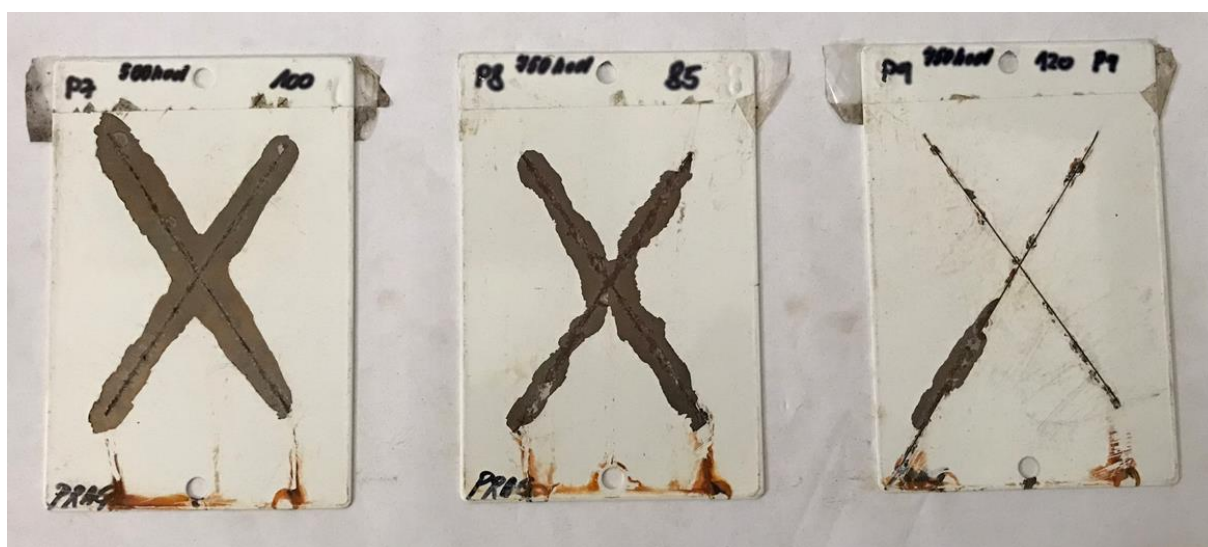
Obr. 22 - Pragochema: Rad10 + NZP + silan, HRS – vlevo 500 h, vpravo 750 h

Tab. 8 - Pragochema: 1008M + NZP, CRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P7	100	12,25	5,63

Tab. 9 - Pragochema: 1008M + NZP, CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P8	85	9,16	4,08
P9	120	2,00	0,50



Obr. 23 - Pragochema: 1008M + NZP, CRS – vlevo 500 h, uprostřed 750 h, vpravo 750 h

Tab. 10 - Pragochema: 1008M + NZP, HRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P19	90	1,00	0,00

Tab. 11 - Pragochema: 1008M + NZP, HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P20	105	3,63	1,31
P21	125	1,06	0,03



Obr. 24 - Pragochema: 1008M + NZP, HRS – vlevo 500 h, uprostřed 750 h, vpravo 750 h

Tab. 12 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, CRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P10	130	10,22	4,61

Tab. 13 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P11	120	12,96	5,98



Obr. 25 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, CRS – vlevo 500 h, vpravo 750h

Tab. 14 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, HRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P22	120	1	0,00

Tab. 15 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P23	125	1	0,00



Obr. 26 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, HRS – vlevo 500 h, vpravo 750h

Tab. 16 - Pragochema: RAD 10 + Fos 2061, CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P6	130	5,5	2,25



Obr. 27 - Pragochema: RAD 10 + Fos 2061, CRS: 750 h

Tab. 17 - Pragochema: RAD 10 + Fos 2061, HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P18	90	21,46	10,23



Obr. 28 - Pragochema: RAD 10 + Fos 2061, HRS: 750 h

Tab. 18 - Pragochema: 1008M + Fos 2061, CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P12	105	6,53	2,77



Obr. 29 - Pragochema: 1008M + Fos 2061, CRS: 750 h

Tab. 19 - Pragochema: 1008M + Fos 2061, HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
P24	85	21,67	10,33



Obr. 30 - Pragochema: 1008M + Fos 2061, HRS: 750 h

8.1.2 Surtec

U firmy Surtec byly díly odmaštěny jejich vlastním odmašťovadlem a následně na ně byla aplikována místo železnatého fosfátu konverzní pasivace. Vzorky byly označeny písmenem S a příslušným číslem.

Pracovní parametry procesu byly následující:

- 1. odmaštění: Surtec 168 (5,8 %), SurTec 084 (0,80 %)
- 2. odmaštění: Surtec 168 (1,9 %), SurTec 084 (0,46 %)
- 3. oplach: obyčejná neupravená voda
- 4. oplach: demi voda
- 5. konverzní pasivace: SurTec 609EC
- 6. oplach: demi voda
- 7. oplach: demi voda

Tab. 20 - Surtec: HRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
S1	70	1,53	0,27
S2	90	1,08	0,04
S3	70	3,14	1,07



Obr. 31 - Surtec: HRS, 3x 500 h

Tab. 21 - Surtec: HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
S4	70	13,09	6,05
S5	70	1,39	0,20
S6	70	11,89	5,45
S7	75	5,99	2,49



Obr. 32 - Surtec: HRS, 2x 750 h



Obr. 33 - Surtec: HRS, 2x 750 h

Tab. 22 - Surtec: CRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
S11	75	2,60	0,80
S12	70	4,37	1,68
S13	70	7,99	3,50
S14	80	5,28	2,14



Obr. 34 - Surtec: CRS, 2x 500 h



Obr. 35 - Surtec: CRS, 2x 500 h

Tab. 23 - Surtec: CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
S15	70	6,46	2,73
S16	75	7,28	3,14
S17	70	7,73	3,37
S18	80	7,32	3,16



Obr. 36 - Surtec: CRS, 2x750h



Obr. 37 - Surtec: CRS, 2x750h

8.1.3 Chemetal

Společnost Chemetal upravila vzorky pomocí přípravku Gardobond X 2020, což je koncentrát na bázi oxidů kovů, který povrch čistí a zároveň na něm vytváří konverzní vrstvu. Vzorky byly také odmaštěny pomocí přípravků Gardoclean S 5171 a GBAH 7406. Vzorky byly označeny písmenem CH.

Proces vypadal následovně:

- 1. odmaštění: Gardoclean S 5171 (30 %), GBAH 7406 (3 %)
- 3. oplach: obyčejná neupravená voda
- 4. oplach: obyčejná neupravená voda
- 5. konverzní vrstva: Gardobond X 2020
- 6. oplach: obyčejná neupravená voda
- 7. oplach: demi voda

Tab. 24 - Chemetal: CRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
CH1	135	Celá plocha	Celá plocha
CH2	70	Celá plocha	Celá plocha
CH3	90	12,35	5,68
CH4	100	26,3	12,65
CH5	110	15,4	7,20
CH6	100	Celá plocha	Celá plocha



Obr. 38 - Chemetal: CRS, 3x 500



Obr. 39 - Chemetal: CRS, 3x 500 h

Tab. 25 - Chemetal: HRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [µm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
CH7	85	21,8	10,40
CH8	110	16,4	7,70
CH9	80	18,64	8,82
CH10	90	17,83	8,42
CH11	85	22,4	10,70
CH12	115	17,32	8,16



Obr. 40 - Chemetal: HRS, 3x 500 h



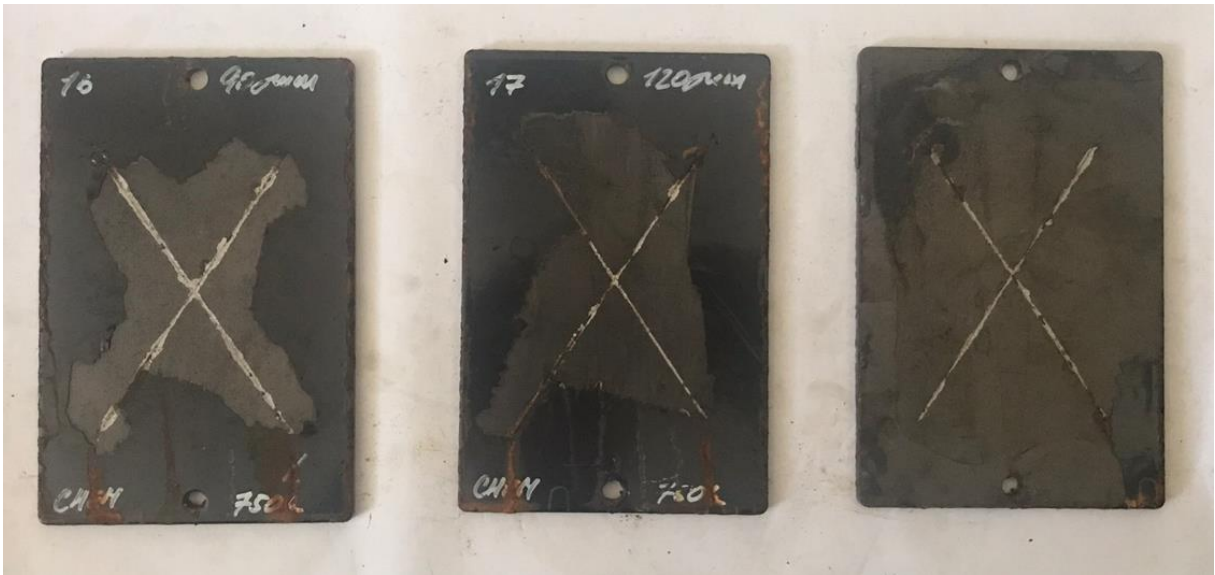
Obr. 41 - Chemetal: HRS, 3x 500 h

Tab. 26 - Chemetal: CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [µm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
CH13	125	13,4	6,20
CH14	110	9,65	4,33
CH15	100	23,3	11,15
CH16	90	Celá plocha	Celá plocha
CH17	120	Celá plocha	Celá plocha
CH18	110	Celá plocha	Celá plocha



Obr. 42 - Chemetal: CRS, 3x 750 h



Obr. 43 - Chemetal: CRS, 3x 750 h

Tab. 27 - Chemetal: HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
CH19	100	Celá plocha	Celá plocha
CH20	95	Celá plocha	Celá plocha
CH21	115	Celá plocha	Celá plocha
CH22	90	Celá plocha	Celá plocha
CH23	95	Celá plocha	Celá plocha
CH24	90	Celá plocha	Celá plocha



Obr. 44 - Chemetal: HRS, 3x 750 h



Obr. 45 - Chemetal: HRS, 3x 750 h

8.1.4 Henkel

Firmou Henkel byly navrženy změny pouze v oblasti odmašťování. Nyní užívaný fosfát je totiž právě dodáván od této společnosti.

Prvním typem předúpravy (typ A) bylo alkalické odmašťování přípravkem BONDERITE C-AK 1574, kde jako urychlovač procesu byl použit BONDERITE C-AD 0555.

Pracovní parametry procesu:

- 1. odmaštění: BONDERITE C-AK 1574 (3 %), BONDERITE C-AD 1270 (0,3 %)
- 2. oplach: obyčejná neupravená voda
- 3. oplach: demi voda
- 4. železnaté fosfátování: BONDERITE M-FE HMF 1080 IT (2 %)
- 6. oplach: demi voda

Při druhém typu předúpravy (typu N) byl použit neutrální odmašťovače BONDERITE C-NE N. Jako urychlovač čistícího procesu byl přidán BONDERITE C-AD 1270.

Pracovní parametry procesu byly následující:

- 1. odmaštění: BONDERITE C-NE N (3 %), BONDERITE C-AD 1270 (0,3 %)
- 2. oplach: obyčejná neupravená voda
- 3. oplach: demi voda
- 4. železnaté fosfátování: BONDERITE M-FE HMF 1080 IT (2 %)
- 6. oplach: demi voda

Tab. 28 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, CRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
A1	100	1,53	0,27
A2	80	1,00	0,00
A3	95	1,00	0,00



Obr. 46 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, CRS, 3x 500 h

Tab. 29 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
A4	105	10,31	4,65
A5	95	10,10	4,55
A6	110	8,98	3,99



Obr. 47 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, CRS, 3x 750 h

Tab. 30 - Henkel: BONDERITE C-NE N, CRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
N1	105	1,00	0,00
N2	125	1,00	0,00
N3	115	1,00	0,00



Obr. 48 - Henkel: BONDERITE C-NE N, CRS, 3x 500 h

Tab. 31 - Henkel: BONDERITE C-NE N, CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
N4	90	1,13	0,06
N5	80	5,16	2,08
N6	115	1,41	0,20



Obr. 49 - Henkel: BONDARITE C-NE N, CRS, 3x 750 h

Tab. 32 - Henkel: BONDARITE C-AK 1574, HRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
A11	105	13,98	6,49
A12	125	1,00	0,00
A13	130	1,00	0,00



Obr. 50 - Henkel: BONDARITE C-AK 1574, HRS, 3x 500h

Tab. 33 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
A14	125	17,25	8,13
A15	75	7,41	3,20
A16	105	22,73	10,87



Obr. 51 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, HRS, 3x 750 h

Tab. 34 - Henkel: BONDERITE C-NE N, HRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
N11	85	25,47	12,23
N12	90	Celá plocha	Celá plocha
N13	95	20,21	9,60



Obr. 52 - Henkel: BONDERITE C-NE N, HRS, 3x 500 h

Tab. 35 - Henkel: BONDERITE C-NE N, HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
N14	130	Celá plocha	Celá plocha
N15	90	Celá plocha	Celá plocha
N16	95	Celá plocha	Celá plocha



Obr. 53 - Henkel: BONDERITE C-NE N, HRS, 3x 750h

8.1.5 ITS

U společnosti ITS byly vzorky upraveny dvěma typy chemických předúprav. Oba využívají alkalického odmaštění a pasivace. První sada vzorků (I) však byla ještě mořená.

Proces technologie 1 (I):

- 1. neutrální moření: ALFIDEOX 89, ALFISID 14
- 2. alkalické odmaštění: ALFINAL 275/1, ALFISID 12
- 3. oplach: obyčejná neupravená voda
- 4. oplach: demi voda
- 5. pasivace: ALFIPAS 7816
- 6. oplach: demi voda

Proces technologie 2 (T):

- 1. alkalické odmaštění: ALFINAL 275/1, ALFISID 12
- 2. oplach: obyčejná neupravená voda
- 3. oplach: demi voda
- 4. pasivace: ALFIPAS 7816
- 5. oplach: demi voda

Tab. 36 - ITS: Mořeno, HRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
I1	145	2,00	0,50
I2	120	1,00	0,00
I3	130	Celá plocha	Celá plocha



Obr. 54 - ITS: Mořeno, HRS, 3x 500h

Tab. 37 - ITS: Mořeno, HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
I4	150	22,79	10,90
I5	115	1,63	0,31
I6	155	1,00	0,00



Obr. 55 - ITS: Mořeno, HRS, 3x 750 h

Tab. 38 - ITS: Mořeno, CRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
I11	95	3,81	1,41
I12	95	1,06	0,03
I13	100	1,00	0,00



Obr. 56 - ITS: Mořeno, CRS, 3x 500h

Tab. 39 - ITS: Mořeno, CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
I14	105	7,63	3,31
I15	95	8,86	3,93
I16	110	2,06	0,53



Obr. 57 - ITS: Mořeno, CRS, 3x 750 h

Tab. 40 - ITS: Nemořeno, HRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
T1	160	9,85	4,42
T2	160	10,60	4,80



Obr. 58 - ITS: Nemořeno, HRS, 2x 500h

Tab. 41 - ITS: Nemořeno, HRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
T3	95	Celá plocha	Celá plocha
T4	125	11,86	5,43



Obr. 59 - ITS: Nemořeno, HRS, 2x 750 h

Tab. 42 - ITS: Nemořeno, CRS, 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
T11	120	1,75	0,38

Tab. 43 - ITS: Nemořeno, CRS, 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]	Průměrná šířka delaminace d1 [mm]	Rozsah delaminace d [mm]
T12	140	1,00	0,00



Obr. 60 - ITS: Nemořeno, CRS: vlevo 500h, vpravo 750h

8.2 Změna abraziva v lakovně 2

Kvalitnější přilnavosti nátěru k materiálu se docílí mimo jiné zvýšením drsnosti povrchu. Toho je možné na lakovně 2 dosáhnout výměnou stávajícího abraziva v tryskacím stroji.

Byla navržena výměna stávajícího ocelového granulátu WS230 za hrubší granulát WS280. Testové etalony za tepla válcované oceli (HRS) byly otryskány abrazivem WS280 ve dvou, s ním pracujících, externích zařízeních a následně převezeny zpět do závodu Bobcatu, kde se vzorky navěsily na linku za tryskací zařízení a po nalakování se na nich testovala delaminace nátěru dle normy ČSN EN ISO 4628-8.

8.2.1 Drsnost povrchu

Na vzorcích byla změřena střední hloubka drsnosti Rz. Díky tomuto měření je možné vyhodnotit, zda-li má volba abraziva opravdu vliv na drsnost povrchu a na následnou delaminaci povlaku.

Tab. 44 - Drsnost povrchu vzorků před lakováním

Vzorek	Rz [μm]
OT1E	65,0
OT2E	57,0
OT3E	54,0
WH1E	55,4
WH2E	51,4
WH3E	52,8
LAK1	38,4
LAK2	42,5

8.2.2 Testování delaminace

Pro experiment bylo využito celkem tři typů vzorků:

- Vzorky otryskané strojem TOR16 v Bobcatu stávajícím abrazivem WS230 (LAK, 2x)
- Vzorky otryskané strojem Oteco, při použití abraziva WS280 (OT, 3x)
- Vzorky otryskané strojem Wheelabrator, při použití abraziva WS280 (WH, 3x)

Tab. 45 - Porovnání delaminace po 500 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]			Průměrná šířka delaminace d1 [mm]			Rozsah delaminace d [mm]
	min	max	průměr	min	max	průměr	
OT1	142	196	170,3	1	10	3,75	1,38
WH1	166	175	171	5	22	10,25	4,63



Obr. 61 - Delaminace po 500 h

Tab. 46 - Porovnání delaminace po 750 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]			Průměrná šířka delaminace d1 [mm]			Rozsah delaminace d [mm]
	min	max	průměr	min	max	průměr	
OT2	160	179	160,7	1	20	6,88	2,94
WH2	107	136	121	3	18	11,07	5,04
LAK2	167	172	169,3	14	26	17,19	8,10



Obr. 62 - Delaminace po 750 h

Tab. 47 - Porovnání delaminace po 1 000 h

Vzorek	Tloušťka povlaku [μm]			Průměrná šířka delaminace d1 [mm]			Rozsah delaminace d [mm]
	min	max	průměr	min	max	průměr	
OT3	146	148	147,5	1	29	12,00	5,50
WH3	161	170	165,3	9	24	16,20	7,60
LAK3	168	179	174,7	9	27	17,36	8,18



Obr. 63 - Delaminace po 1 000 h

9. Vyhodnocení a diskuse výsledků

9.1 Experiment změny chemických předúprav

Z naměřených dat delaminace vychází jako nejlepší řešení pro společnost Bobcat povrchová úprava pomocí neutrálního moření, alkalického fosfátování a železnatého fosfátování (vzorky s označením I) od společnosti ITS. Tato varianta fungovala velmi dobře jak pro etalony HRS (rozsah delaminace 0 – 10,9 mm za 750 h v solné mlze), tak pro CRS (rozsah delaminace 0,5 – 4 mm za 750 h v solné mlze). Je možné že u HRS se nátěr u vzorku s nejhorší delaminací nenanest optimálně, a tak by se vysvětlil rozdíl v hodnotě delaminace od dalších dvou vzorů se stejnými podmínkami experimentu.

Dále v testech obstála varianta od firmy Henkel, využívající neutrální odmašťovadlo (označení N). Tato varianta měla však dobré výsledky s velmi nízkou delaminací pouze při použití na vzorcích za studena válcované oceli (rozsah delaminace 0 – 2 mm za 750 h v solné mlze). U vzorků HRS se delaminace vyskytovala ve vyšší míře.

Za zmínku stojí také úprava společnosti Pragochema, kde si vedla velmi dobře předúprava Rad10 + NZP, případně RAD10 + NZP + silan, avšak opět se uspokojivé výsledky dostavily pouze na vzorcích HRS (rozsah delaminace 0 – 1,3 mm za 750 h v solné mlze).

Hodnota delaminace aktuálních povrchových úprav na lakovně 1 se pohybuje mezi 8 – 15 mm při 750 hodinách v solné mlze. Kvalita povrchu by se tedy zvýšila při použití většiny testovaných předúprav.

9.2 Experiment změny abraziva v tryskacím stroji

Z experimentu je patrné, že použitím jiného typu abraziva se docílí vyšší drsnosti materiálu, a tím i vyšší kvality povrchové úpravy. Po 750h se rozsah delaminace snížil z 8,1 mm na 5 mm, případně 3 mm. Po 1000h se rozsah delaminace změnil oproti nyníjším 8,2 mm na 7,6 mm a 5,5 mm. Na vzorcích WH byla oproti vzorkům OT byla naměřena nižší drsnost a s tím také souvisela vyšší míra delaminace. Nižší drsnost byla nejspíše zapříčiněna nesprávným poměrem zrn abraziva ve stroji.

10. Závěr

V bakalářské práci byla po zmapování lakovacích procesů, na dvou lakovacích linkách ve společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o., navržena a otestována opatření, vedoucí ke zkvalitnění povrchových úprav, a tím ke zvýšení životnosti celého výrobku.

Z důvodu užití vyráběných strojů byl hlavním posuzovaným kritériem stupeň delaminace hodnocený dle ČSN EN ISO 4628-8. Experimenty byly provedeny v laboratoři společnosti Bobcat.

První experiment zaměřený na hledání vhodnějšího typu chemické předúpravy naskytl pět nových různých pohledů na možnosti chemických předúprav na lakovací lince 1, přičemž celkem tři řešení dosahovala velmi dobrých výsledků. Samotné použití nových chemických předúprav, ale nemusí dosahovat účinnosti, která vyšla z testového upravení daných vzorků, jelikož v samotném procesu je možné nalézt mnoho proměnných a mnoho nedokonalostí, které mohou snižovat maximální možnou kvalitu zvolených předúprav (nedostatečné vytápění lázní, nedostatečné čištění lázní, nevhodný postup obsluhy atd.) Bohužel není možné vědět, zdali firmy povrch nepředupravily nad rámec daných požadavků a tudíž bude třeba před zavedením nového typu chemické předúpravy daný proces ještě jednou celý otestovat pod dohledem laboratoře v Bobcatu.

V druhém experimentu byla otestována výměna abraziva v tryskacím stroji za abrazivo hrubší, které by mělo povrch více zdrsnit a povlak by k povrchu měl lépe přilnout. To se díky otryskání vzorků ve strojích s hrubším abrazivem podařilo a hodnota delaminace byla u tohoto abraziva nižší, než jsou stávající hodnoty.

V obou experimentech se podařilo najít metody, zvyšující kvalitu povrchové úpravy, což bylo také cílem bakalářské práce. To, jestli se navržené změny uskuteční, bude záviset na dalším testování a ekonomické stránce daných projektů.

Bibliografie

- [1] Historie Bobcat. In: *Bobcat Dobříš* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.bobcatdobris.cz/bobcat#historie>
- [2] Our history. In: *Bobcat* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.bobcat.com/company-info/about/innovation-legacy>
- [3] Get a Load of This: The Humble Beginnings of the Bobcat Company. In: *GE* [online]. 2012 [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: <https://www.ge.com/news/reports/get-a-load-of-this-the-humble-beginnings-of-the>
- [4] PITELKA, Vojtěch. Nové smykem řízené nakladače Bobcat řady R: Recenze. In: *Bagry.cz* [online]. [cit. 2022-08-12]. Dostupné z: https://bagry.cz/cze/clanky/recenze/nove_smykem_rizene_nakladace_bobcat_rady_r_recenze
- [5] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [6] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. 1999. Praha: ČVUT, 1999. ISBN 800101472X.
- [7] The process of phosphating – Some FAQs. In: *Engineering review* [online]. [cit. 2022-08-13]. Dostupné z: <https://engmag.in/the-process-of-phosphating-some-faqs/>
- [8] DARRYL, Ulrich. *User`s Guide To Powder Coating*. 3. Dearborn, Michigan: Association for Finishing Processes of the Society of Manufacturing Engineers.
- [9] HOLOUBEK, Vít. Kataforetické lakování. *Stroje a technológie*. 2004, 36-38.
- [10] Práškové lakování. In: *Povrchovka: prášková lakovna* [online]. [cit. 2022-08-15]. Dostupné z: <https://www.povrchovka.cz/praskove-lakovani2/>
- [11] *Povrcháři: Problematika čištění povrchů* [online]. 2008, [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <http://www.povrchari.cz/>
- [12] Omílání. In: *ROC GALVANIK* [online]. [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: <https://www.roc-galvanik.cz/mechanicke-opracovani-povrchu/omilani/>
- [13] HLAVÁČEK, Milan. *WALTER TROWAL* [online]. In: . [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <http://www.trowal.cz/aplikace>

- [14] ROTAČNÍ OMÍLACÍ STROJ TAM. In: *Flídr metal* [online]. [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: <https://flidr.cz/rotacni-omilaci-stroje>
- [15] Centrifugal Disc Finishing Machine. In: *Shinysmooth* [online]. [cit. 2022-07-18]. Dostupné z: <https://www.shinysmooth.com/centrifugal-disc-finishing-machine/>
- [16] OMÍLACÍ TECHNIKA RÖSLER. In: *RÖSLER* [online]. [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/produkty/omilaci-stroje/>
- [17] BARLETA, Massimiliano, A. GISARIO, S. VENETTACI a G. RUBINO. A comparative evaluation of fluidized bed assisted drag finishing and centrifugal disk dry finishing. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2014, **17**(2), 63-72. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2014.03.007>
- [18] BREZINOVÁ, Janette, Anna GUZANOVÁ a Dagmar DRAGOVSKÁ. *Abrasive Blast Cleaning and Its Application*. Zurich, 2015. ISSN: 14223597.
- [19] RAUCH, Martin. *Vliv tryskání na korozní odolnost oceli*. Praha, 2018. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
- [20] Tryskací materiály. In: *Pískovacky* [online]. [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: <https://piskovacky.cz/247-abraziva-tryskaci-materialy>
- [21] Tryskací materiály. In: *1.Toušenská s.r.o.* [online]. [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.tryskaci-zarizeni.cz/tryskaci-materialy/>
- [22] Abraziva. In: *Abraziva* [online]. [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://abraziva.cz/>
- [23] SEDLÁČEK, Alexandr. Nekomové tryskací prostředky. *Povrcháři*. 2010, **2010**(10), 9-12.
- [24] Abraziva - tryskací materiál - minerální - ostrohranná, oválná - drť - zrno - Písek, Korund, Balotina, Karbid, Granát, Zirblast. In: *Abraziva* [online]. [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://abraziva.cz/mineralni/>
- [25] Pískovací materiály. In: *PKIT* [online]. [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.pkit.cz/piskovaci-materialy/>
- [26] HANSEL, Dave. Abrasive blasting systems,. *Metal Finishing*. 1999, **97**(5), 29-55. ISSN 0026-0576.
- [27] Co je pískování? Čím se pískuje?. In: *Pískovačka* [online]. 2016 [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: <https://www.piskovacka.cz/info-82-co-je-piskovani-cim-se-piskuje/>

- [28] Wheel blasting. In: *Manufacturing guide* [online]. [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/wheel-blasting>
- [29] NOVOTNÝ, Jiljí, Jan ŠANOVEC, Bohumír BEDNÁŘ a Viktor KREIBICH. *Technogie 1: Slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006.
- [30] Přípravky pro odmašťování. In: *Pragochema* [online]. [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://www.pragochema.cz/index.php/produkty/pripravky-pro-odmastovani>
- [31] *Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou: ČSN EN ISO 9227*. 2017.
- [32] *Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu nebo jiného umělého defektu: ČSN EN ISO 4628-8*. 2013.
- [33] Doosan Bobcat Manufacturing. In: *EKOL* [online]. [cit. 2022-08-15]. Dostupné z: <https://www.ekol.cz/en/references/doosan-bobcat-manufacturing-3>

Seznam tabulek

Tab. 1 - Parametry ocelové drti [18].....	26
Tab. 2 - Pragochema: Rad10 + NZP, CRS, 500 h	46
Tab. 3 - Pragochema: Rad10 + NZP, CRS, 750 h	46
Tab. 4 - Pragochema: Rad10 + NZP, HRS, 500 h	47
Tab. 5 - Pragochema: Rad10 + NZP, HRS, 750 h	47
Tab. 6 - Pragochema: Rad10 + NZP + silan, CRS, 500 h + 750 h	47
Tab. 7 - Pragochema: Rad10 + NZP + silan, CRS, 500 h + 750 h	48
Tab. 8 - Pragochema: 1008M + NZP, CRS, 500 h	49
Tab. 9 - Pragochema: 1008M + NZP, CRS, 750 h	49
Tab. 10 - Pragochema: 1008M + NZP, HRS, 500 h.....	49
Tab. 11 - Pragochema: 1008M + NZP, HRS, 750 h.....	49
Tab. 12 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, CRS, 500 h	50
Tab. 13 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, CRS, 750 h.....	50
Tab. 14 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, HRS, 500 h	51
Tab. 15 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, HRS, 750 h	51
Tab. 16 - Pragochema: RAD 10 + Fos 2061, CRS, 750 h.....	51
Tab. 17 - Pragochema: RAD 10 + Fos 2061, HRS, 750 h	52
Tab. 18 - Pragochema: 1008M + Fos 2061, CRS, 750 h	53
Tab. 19 - Pragochema: 1008M + Fos 2061, HRS, 750 h.....	54
Tab. 20 - Surtec: HRS, 500 h	55
Tab. 21 - Surtec: HRS, 750 h	56
Tab. 22 - Surtec: CRS, 500 h.....	57
Tab. 23 - Surtec: CRS, 750 h.....	58
Tab. 24 - Chemetal: CRS, 500 h.....	59
Tab. 25 - Chemetal: HRS, 500 h	60
Tab. 26 - Chemetal: CRS, 750 h.....	61
Tab. 27 - Chemetal: HRS, 750 h	62
Tab. 28 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, CRS, 500 h	64
Tab. 29 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, CRS, 750 h	65
Tab. 30 - Henkel: BONDERITE C-NE N, CRS, 500 h.....	65
Tab. 31 - Henkel: BONDERITE C-NE N, CRS, 750 h.....	66

Tab. 32 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, HRS, 500 h.....	66
Tab. 33 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, HRS, 750 h.....	67
Tab. 34 - Henkel: BONDERITE C-NE N, HRS, 500 h	67
Tab. 35 - Henkel: BONDERITE C-NE N, HRS, 750 h	68
Tab. 36 - ITS: Mořeno, HRS, 500 h.....	69
Tab. 37 - ITS: Mořeno, HRS, 750 h.....	70
Tab. 38 - ITS: Mořeno, CRS, 500 h	70
Tab. 39 - ITS: Mořeno, CRS, 750 h	71
Tab. 40 - ITS: Nemořeno, HRS, 500 h.....	71
Tab. 41 - ITS: Nemořeno, HRS, 750 h.....	72
Tab. 42 - ITS: Nemořeno, CRS, 500 h	72
Tab. 43 - ITS: Nemořeno, CRS, 750 h	72
Tab. 44 - Drsnost povrchu vzorků před lakováním.....	73
Tab. 45 - Porovnání delaminace po 500 h	74
Tab. 46 - Porovnání delaminace po 750 h	74
Tab. 47 - Porovnání delaminace po 1 000 h	75

Seznam obrázků

Obr. 1 - První nakladač pojmenovaný Bobcat [3].....	14
Obr. 2 - Aktuálně vyráběné nakladače [4].....	14
Obr. 3 - Práškové lakování [10].....	18
Obr. 4 - Omílací tělíska a omílané díly ve vibračním zařízení [12].....	20
Obr. 5 - Rotační omílací stroj [14].....	21
Obr. 6 - Schéma odstředivého omílání: 1 – díly a omílací tělíska, 2 – statická nádoba, 3 – rotující disk, 4 - motor [15]	22
Obr. 7 - Model vlečného omílání: 1 - elektrický motor, 2 - pohyblivý systém, 3 - recyklování, 4 - řídicí jednotka, 5 - přívod vzduchu, 6 - fluidní vrstva, 7 - rám, 8 - rotující karusel, 9 - přípravky na díly, 10 – díly [17].....	22
Obr. 8 - Princip tlakovzdušného a mechanického (metání) tryskání [19]	23
Obr. 9 - Ocelová drť [25].....	26
Obr. 10 - Ocelový granulát [25]	27
Obr. 11 - Sekaný drát [21]	27
Obr. 12 - Princip sacího tryskání: 1 - zásobník s abrazivem, 2 - sání vzduchu, 3 - tok vzduchu a abraziva, 4 - přívod stlačeného vzduchu, 5 - směšovací komora, 6 - tryskací hlavice [27]	28
Obr. 13 - Princip tlakového tryskání: 1 - stlačený vzduch, 2 - tlaková nádoba, 3 - kulový ventil, 4 - držák trysky, 5 - tryska, 6 - abrazivo, 7 - přívod směsi abraziva a stlačeného vzduchu [27]	29
Obr. 14 - Schéma metacího kola: 1 – vstup abraziva do plnicího potrubí, 2 – dávkovací rotor, 3 – objímka, 4 – lopatka vnějšího rotoru [28]	30
Obr. 15 - Princip moření v kyselině sírové [29]	32
Obr. 16 - Vstup do tunelu chemických předúprav [33]	38
Obr. 17 - Vana KTL [33].....	40
Obr. 18 - Ruční dostřik za automatickou kabinou [33].....	41
Obr. 19 - Pragochema: Rad10 + NZP, CRS – vlevo 500 h, uprostřed 750 h, vpravo 750 h.....	46
Obr. 20 - Pragochema: Rad10 + NZP, HRS – vlevo 500 h, uprostřed 750 h, vpravo 750 h	47
Obr. 21 - Pragochema: Rad10 + NZP + silan, CRS – vlevo 500 h, vpravo 750 h	48
Obr. 22 - Pragochema: Rad10 + NZP + silan, HRS – vlevo 500 h, vpravo 750 h	48
Obr. 23 - Pragochema: 1008M + NZP, CRS – vlevo 500 h, uprostřed 750 h, vpravo 750 h	49
Obr. 24 - Pragochema: 1008M + NZP, HRS – vlevo 500 h, uprostřed 750 h, vpravo 750 h	50

Obr. 25 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, CRS – vlevo 500 h, vpravo 750h	50
Obr. 26 - Pragochema: 1008M + NZP + silan, HRS – vlevo 500 h, vpravo 750h.....	51
Obr. 27 - Pragochema: RAD 10 + Fos 2061, CRS: 750 h	52
Obr. 28 - Pragochema: RAD 10 + Fos 2061, HRS: 750 h	52
Obr. 29 - Pragochema: 1008M + Fos 2061, CRS: 750 h.....	53
Obr. 30 - Pragochema: 1008M + Fos 2061, HRS: 750 h	54
Obr. 31 - Surtec: HRS, 3x 500 h.....	55
Obr. 32 - Surtec: HRS, 2x 750 h.....	56
Obr. 33 - Surtec: HRS, 2x 750 h.....	56
Obr. 34 - Surtec: CRS, 2x 500 h	57
Obr. 35 - Surtec: CRS, 2x 500 h	57
Obr. 36 - Surtec: CRS, 2x750h.....	58
Obr. 37 - Surtec: CRS, 2x750h.....	58
Obr. 38 - Chemetal: CRS, 3x 500.....	59
Obr. 39 - Chemetal: CRS, 3x 500 h.....	60
Obr. 40 - Chemetal: HRS, 3x 500 h	60
Obr. 41 - Chemetal: HRS, 3x 500 h	61
Obr. 42 - Chemetal: CRS, 3x 750 h.....	61
Obr. 43 - Chemetal: CRS, 3x 750 h.....	62
Obr. 44 - Chemetal: HRS, 3x 750 h	62
Obr. 45 - Chemetal: HRS, 3x 750 h	63
Obr. 46 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, CRS, 3x 500 h	64
Obr. 47 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, CRS, 3x 750 h	65
Obr. 48 - Henkel: BONDERITE C-NE N, CRS, 3x 500 h.....	65
Obr. 49 - Henkel: BONDERITE C-NE N, CRS, 3x 750 h.....	66
Obr. 50 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, HRS, 3x 500h.....	66
Obr. 51 - Henkel: BONDERITE C-AK 1574, HRS, 3x 750 h	67
Obr. 52 - Henkel: BONDERITE C-NE N, HRS, 3x 500 h	67
Obr. 53 - Henkel: BONDERITE C-NE N, HRS, 3x 750h	68
Obr. 54 - ITS: Mořeno, HRS, 3x 500h	69
Obr. 55 - ITS: Mořeno, HRS, 3x 750 h	70
Obr. 56 - ITS: Mořeno, CRS, 3x 500h	70

Obr. 57 - ITS: Mořeno, CRS, 3x 750 h	71
Obr. 58 - ITS: Nemořeno, HRS, 2x 500h.....	71
Obr. 59 - ITS: Nemořeno, HRS, 2x 750 h.....	72
Obr. 60 - ITS: Nemořeno, CRS: vlevo 500h, vpravo 750h	72
Obr. 61 - Delaminace po 500 h.....	74
Obr. 62 - Delaminace po 750 h.....	75
Obr. 63 - Delaminace po 1 000 h.....	75