

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie



Optimalizace procesu tryskání

Diplomová práce

Autor: Bc. Petr ZBOŘIL

Vedoucí práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Zbořil	Jméno: Petr	Osobní číslo: 424792
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní		
Zadávající katedra/ústav:	Ústav strojírenské technologie		
Studijní program:	Strojní inženýrství		
Studijní obor:	Výrobní a materiálové inženýrství		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace procesu tryskání

Název diplomové práce anglicky:

Optimization of the blasting process

Pokyny pro vypracování:

- Rozbor problematiky předúpravy povrchu tryskáním.
- Porovnání typu abraziva a nastavení provozních parametrů tryskacího zařízení.
- Hodnocení stavu a čistoty povrchu po tryskání.

Vícekritériální hodnocení vhodných typů abraziva.
Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

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

Datum zadání diplomové práce: 29.04.2020 Termín odevzdání diplomové práce: 31.07.2020

Platnost zadání diplomové práce: 31.12.2020

Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

9.7.2020 *LB*

Datum převzetí zadání Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

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

Poděkování

Rád bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za vedení a věcné připomínky k tématu. Zároveň firmě Doosan Bobcat EMEA, která mi nabídla zázemí pro vypracování práce a projekt vytvořila.

Abstrakt

Diplomová práce je rozdělena na část teoretickou a část experimentální. Teoretická část práce pojednává o charakteristice povrchu, nečistotách a cizorodých látkách, zároveň pojednává o technologii tryskání a jejím rozdělení. Dále se práce zabývá volbou a rozdělením tryskacích materiálů včetně přehledu nejběžnějších tryskacích prostředků.

Experimentální část popisuje testování různých druhů abraziv v kombinaci s různými nastaveními tryskacích jednotek a celkové vícekriteriální hodnocení otryskaného povrchu. Toto hodnocení může mít velký vliv na finanční i kvalitativní členy.

Klíčová slova: tryskání, abrazivo, předúprava povrchu, optimalizace, metací kolo, mechanické tryskání

Abstract

This master thesis is divided into a theoretical part and an experimental part. The theoretical part deals with the characteristics of the surface, impurities, and foreign substances. It also discusses a blasting technology and its distribution. Furthermore, the work deals with the selection and distribution of blasting materials, including an overview of the most common blasting agents.

The experimental part deals with the testing of various types of abrasives in combination with multiple settings of blasting units and the overall multi-criteria evaluation of blasted surfaces. This evaluation can have a significant impact on both financial and qualitative article.

Keywords: blasting, abrasive, surface pre-treatment, optimalization, wheel blast machine, mechanical blasting

Obsah

Úvod	8
Teoretická část.....	9
1. Stanovení cílů práce.....	9
2. Doosan Bobcat EMEA s.r.o.	9
3. Čistota povrchu.....	12
4. Druhy nečistot	12
5. Koroze (oxidace)	13
5.1 Dělení koroze do několika typů	13
5.1.1 Podle druhu napadení materiálu	13
5.1.2 Podle dějů	14
5.1.3 Podle reakčního prostředí	15
5.2 Korozní činitele	15
6. Mechanické předúpravy	16
7. Historie technologie tryskání.....	17
8. Tryskání.....	19
8.1 Rozdělení způsobů tryskání	20
8.1.1 Pneumatický způsob	21
8.1.2 Mechanické tryskání.....	23
9. Abrazivo.....	26
9.1 Kovové.....	26
9.1.1 Přehled používaných kovových tryskacích materiálů	27
9.2 Minerální	30
9.3 Organické	30
9.4 Přehled používaných nekovových tryskacích prostředků	31
10. Inhibitor	31
11. Použité normy k vyhodnocení kvality povrchu	32
11.1 Stupeň přípravy povrchu oceli – ČSN EN ISO 8501-1	32
11.2 Nátěrové hmoty – mřížková zkouška – ASTM D-3359.	33
11.3 Drsnost povrchu – ČSN EN ISO 4287.....	34
12. Reliéf povrchu po tryskání.....	36
13. Nátěrové hmoty.....	39
13.1 Dělení dle vlastností	39
13.2 Dělení dle prostředí	40

13.3 Práškové plasty.....	40
13.3.1 Složení práškových plastů	41
13.3.2 Termoplastické práškové plasty	41
13.3.3 Reaktoplastické práškové plasty.....	41
Experimentální část.....	43
Testované abrazivo	44
Interní norma Doosan Bobcat EMEA PS-102.....	48
Tryskací zařízení v Doosan Bobcat EMEA Dobříš	48
Testovací vzorky.....	50
Závislost rychlosti dopravníku na drsnosti povrchu	51
Kritéria hodnocení	55
Odrhová zkouška – ČSN EN ISO 4624	55
Zkouška v solné mlze – ČSN EN ISO 9227	57
Měření tloušťky povlaku – ČSN EN ISO 2808	62
Měření drsnosti povrchu.....	66
Hrany	68
Finanční náklady abraziva.....	70
Energetická náročnost	71
Tabulka hodnot kritérií	73
Závěr.....	74
Zdroje:	75
Seznam obrázků:	79
Seznam tabulek	80
Seznam grafů.....	81
Seznam příloh.....	81
Přílohy	83

Úvod

Předúprava povrchu je nejdůležitější operací v celém technologickém procesu povrchových úprav. Cílem předúprav je dosáhnout určitého stavu či vlastností povrchu, který má nadále vliv především na kvalitu a vzhled celé povrchové úpravy. Jelikož jsou dnes kladeny stále vyšší nároky na kvalitu výrobku, je potřeba začít u samotné předúpravy povrchu. Správně ošetřený povrch je v dnešní době hlavně otázkou investice. Při dodržení stanovených návazností ve stromu povrchových předúprav a úprav je možné velkou měrou ovlivnit životnost nejen ocelových konstrukcí, ale i výrobků z jiných materiálů, a to tak, že se zabrání vzniku oxidace neboli koroze. Nicméně ochrana proti korozi není jedinou dosažitelnou hodnotou, povrchová úprava dokáže například zvýšit odolnost proti teplotám, ořezuvzdornost, nebo vytvořit patřičný vzhled, což je samozřejmě také nedílnou součástí.

Doosan Bobcat ve svém mateřském americkém závodě používá pro tryskání svařenců a všech materiálů jdoucích skrz tryskací jednotky abrazivo WS230. Tento užitý typ abraziva byl nastaven v americké základně v Severní Dakotě a podle tohoto nastavení se řídí i český závod v Dobříši. Na základě toho vznikla myšlenka a následný projekt otestovat jiné druhy abraziva. Otestovat možné nastavení tryskacího zařízení, ať už výkonu, při stejné kvalitě tryskaného povrchu, úspory spotřeby abraziva či zkvalitnění výsledného povrchu dílce.

Teoretická část

1. Stanovení cílů práce

Cílem práce je zmapovat současný stav tryskacího zařízení ve firmě Doosan Bobcat a zároveň najít možnosti optimalizace. Optimalizaci volíme na základě vícekritériálních hodnocení.

Pro tento výzkum byla stanovena tato kritéria:

- energetická náročnost,
- spotřeba abraziva,
- sražení hran,
- dostačující odstranění okují,
- optimální drsnost v závislosti na reliéfu povrchu, který se může promítnout na spotřebě práškové barvy,
- přilnavost povlaku.

V teoretické části je rozebrána problematika spojená s technologií tryskání, důvody, proč se tato technologie používá, příčiny vzniku nečistot a cizorodých látek na povrchu materiálů.

V praktické (experimentální) části byla provedena analýza testovaných vzorků různými druhy tryskacích (abrazivních) materiálů a podrobně rozepsány zkoušky povrchu před i po nanesením všech povrchových úprav.

2. Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

Společnost Bobcat Company byla založena v roce 1947 v USA, ve státě Severní Dakota. Zpočátku se specializovala na zemědělskou výrobu. Mezi nejoblíbenější stroje patřily tříkolové nakladače, které byly ve své době velmi žádané především díky snadnému manévrování. V roce 1962 byl na trh uveden čtyřkolový nakladač řízený smykem, který dostal název Melroe Bobcat. Později společnost vyráběla nejen smykem řízené nakladače ale i pásové, kolové nakladače, teleskopické manipulátory, kompaktní rýpadla a řadu příslušenství k různým strojům. Také se pyšní několika patenty. V roce 1977 slavila společnost 30 let od svého založení. V té době začala požívat název Bobcat a toto obchodní jméno nese dodnes.

V roce 2001 společnost Bobcat vstoupila na český trh odkoupením obchodního podílu společnosti Superstav, která se v té době zabývala výrobou rýpadel a nakladačů. Ve městě Dobříš zřídila vývojové centrum. V roce 2007 byla celá společnost, včetně dalších dvou divizí, prodána za neuvěřitelnou částku 98 miliard Kč korejské firmě Doosan Infracore Co., Ltd., Touto transakcí se Bobcat stal dceřinou společností Doosan Bobcat Inc. Na celosvětovém žebříčku největších výrobců stavebních a zemědělských strojů se tímto dostal do první desítky, kde se prezentoval jako špičkový výrobce a dodavatel strojů pro široké využití.



Obrázek 1 první loader (nakladač) nesoucí název Bobcat. [29]

V České republice má hlavní centrum ve městě Dobříš, kde se specializuje pouze na výrobu kompaktních nakladačů a bagrů (již nevyrábí stroje typu traktor), které se přizpůsobují požadavkům při práci v konkrétním terénu a prostředí. Velkou výhodou je zřízení tzv. tréninkového centra, ve kterém probíhá školení nových nebo i potenciálních zákazníků v ovládání jednotlivých strojů a manipulaci s nimi.



Obrázek 2 Logo firmy Doosan Bobcat. [29]

V roce 2014 byl závod rozdělen na dvě samostatné jednotky. Byla také postavena nová budova, ve které je dodnes inovační a vývojové centrum, s názvem Doosan Bobcat Engineering. Druhá budova nese název Doosan Bobcat Manufacturing, kde je již z názvu zřetelné, že v ní probíhá praktická výroba stojů, zařízení i prototypů. Celý tento komplex je nazýván Dobříš Kampus.

V této době se společnost posunula na první místa v celosvětovém žebříčku ve výrobě kompaktních rýpadel, smykem řízených nakladačů, kdy již v tomto roce svými stroji pokryla téměř 45 % celoevropského trhu. Stroje neustále zdokonaluje a upravuje podle potřeb a požadavků zákazníka, jsou používány ty nejkvalitnější materiály, aby byla zajištěna stoprocentní funkčnost, vysoká produktivita a výkon. V sortimentu výrobních strojů se také specializuje na vývoj stavebních strojů, které jsou uzpůsobeny pro práci ve velmi malých prostorách, domech, zahradách. Jsou velice dobře ovladatelné, umí se otáčet na místě, vyrábí se k nim spousta přídatných prvků, které lze velmi jednoduše vyměnit a uzpůsobit potřebám v daném terénu.

Výrobky firmy Bobcat se neprodávají napřímo zákazníkům. Prodej probíhá pomocí dealerské sítě, která nepatří společnosti, ale přesto si prodej pečlivě hlídá. V důležitých regionech jsou rozmístěni specializovaní pracovníci, kteří jednotlivé prodeje sledují a kontrolují. Jediným dealerem, který má právo zastupovat společnost a prodávat veškeré jeho výrobky jak z České republiky, tak z ostatních korejských a amerických závodů, je firma Bobcat CZ, a.s. Společnost disponuje celou řadou kompetencí, při kterých má pravomoci kontrolovat, sledovat a řídit celý vývoj a distribuci jednotlivých produktů, včetně určování a upravování ceny v různých regionech. Pro jednotlivé země nebo regiony se mohou ceny lišit. Mají na to vliv přísnější nebo

naopak mírnější normy pro emisní limity. Stroj se vždy přizpůsobuje těmto požadavkům, a to má vliv na finální cenu výrobku.

Od roku 2017 je v Dobříši sídlo vedení společnosti pro Evropu, Střední východ a Afriku. Po celé Evropě má firma Bobcat více jak 2000 odběratelů, stroje a jejich příslušenství jsou distribuovány po celém světě. [29]



Obrázek 3 Možnosti příslušenství a různé typy nakladačů. [29]

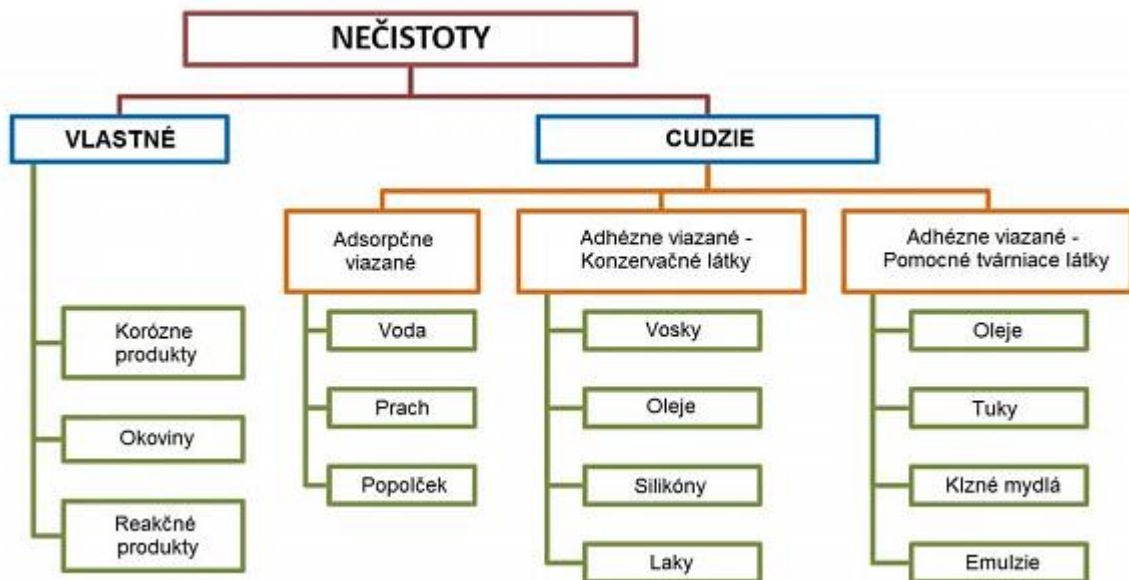
3. Čistota povrchu

V první řadě je nutno zmínit, že nelze dosáhnout absolutně čistého povrchu. Nečistoty vyskytující se na povrchu mají velice rozdílný charakter a původ, a to jak z hlediska struktury, tak i chemického složení. Na povrch se dostávají například při výrobě, skladování, manipulaci, transportu, oxidaci či jde o vlastní nečistoty materiálu [14] [16]

4. Druhy nečistot

Jak už bylo zmíněno, tak absolutně čistý povrch neexistuje, vždy je na něm přítomno určité množství nečistot. Nečistoty, které se na povrchu kovu vyskytují, jsou obecně dvojího druhu:

- Cizorodé látky, které se na povrch dostaly úmyslně nebo náhodně a lpějí na něm převážně fyzikálními silami.
- Chemické nečistoty, které vznikly reakcí povrchu kovu s prostředím, které ho obklopuje – korozní produkty.



Obrázek 4 Schéma rozdělení druhu nečistot [15]

5. Koroze (oxidace)

Koroze jinými slovy oxidace je dlouhodobý, postupný a samovolný proces rozrušování materiálu následkem elektrochemické či chemické reakce s okolím. Jedná se o nežádoucí jev. Každý materiál podléhá oxidaci, některé více, některé méně, největší podíl na tom má prostředí, ve kterém se materiál vyskytuje. Korozní prostředí může být plynné, kapalné či půdního typu. Norma, která definuje oxidaci nebo, chceme-li, korozi, je ČSN EN ISO 8044.

5.1 Dělení koroze do několika typů

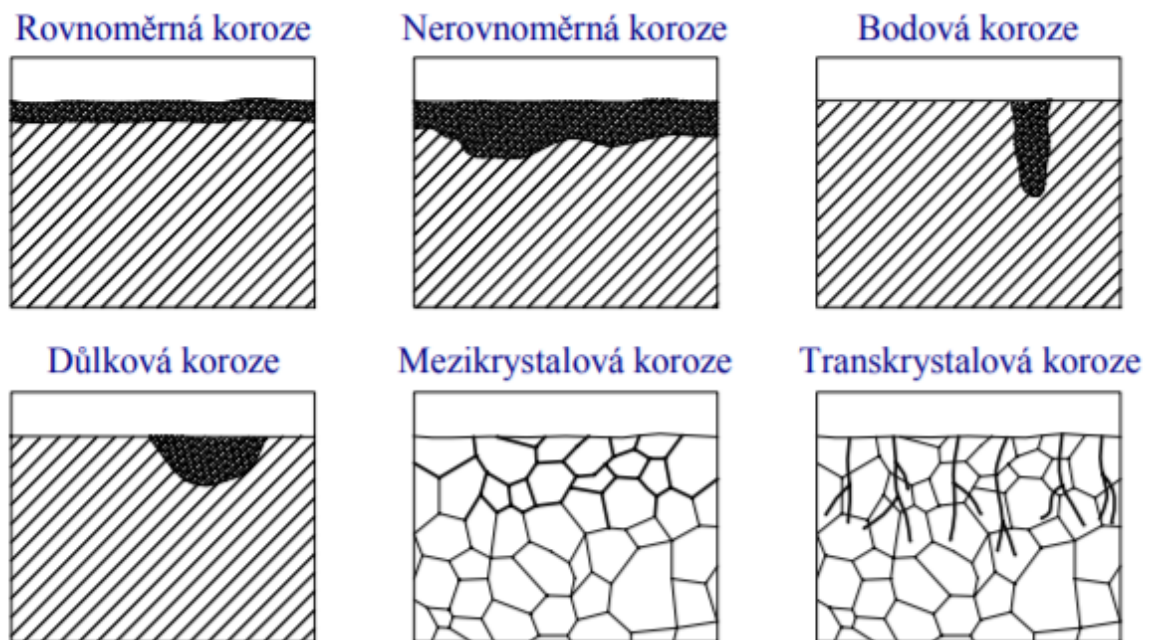
5.1.1 Podle druhu napadení materiálu

Rovnoměrná – méně nebezpečná, a to z důvodu, že napadá materiál rovnoměrně, tudíž nevzniká kritické místo. Někdy tato koroze může působit i příznivě a materiál dokonce ochránit (měděnka, patina).

Nerovnoměrná – podle vzhledu napadení:

- Důlková – větší průměr šíření než hloubka,
- bodová – větší hloubka šíření než průměr,
- lamelární,

- mezikystalová – dochází k napadení rozhraní mezi krystaly, je nebezpečná, protože napadá materiál pod povrchem, a tedy není viditelná pouhým okem, materiál ztrácí pevnost,
- transkystalová – podobná vlastnost jako u mezikystalické, napadá materiál z podpovrchu, hlavní rozdíl je, že transkystalická napadá kromě hranic zrn i samotná zrna,
- selektivní – vzniká pouze u materiálu, který se skládá ze dvou fází a napadá pouze jednu z nich. [23] [21]



Obrázek 5 Dělení koroze dle druhu napadení.[21]

5.1.2 Podle dějů

Chemická – jedná se o reakci bez účasti elektrolytu a bez vzniku elektrochemického článku. Tento druh koroze vzniká nejčastěji v elektricky nevodivém prostředí.

Elektrochemická – tato koroze vzniká za předpokladu splnění těchto tří podmínek:

- 1) existence místa s rozdílným el. potenciálem
- 2) tato místa musí být spojena na krátko
- 3) nutnost přítomnosti vodivého prostředí (elektrolyt)

Materiál s nižším potenciálem tvoří anodu (méně ušlechtilý kov), materiál s vyšším potenciálem tvoří katodu (ušlechtilejší kov). Důsledkem elektrotechnické koroze je, že méně ušlechtilý kov se rozpouští na úkor kovu ušlechtilého. Tento děj se odehrává v elektricky vodivém prostředí a vznikají zde elektrochemické články. [21] [23]

5.1.3 Podle reakčního prostředí

Koroze atmosférická – nastává tehdy, je-li vlhkost aspoň 60 %. Korozní děj probíhá pod tenkou vrstvou vody, nasycené rozpuštěnými složkami atmosféry. Činitelé, kteří ovlivňují atmosférickou korozi, jsou: vlhkost, teplota a množství nečistot v ovzduší.

Koroze v kapalinách – největší význam má koroze ve vodě. Má elektrochemický charakter a činitelé, kteří ovlivňují korozi v kapalinách, jsou: pH faktor, množství plynů obsažených ve vodě, teplota a množství solí.

Koroze půdní – má rovněž charakter elektrochemické koroze. Její příčinou je vlhkost a soli obsažené v půdě, navíc zde můžou přistupovat tzv. bludné proudy, které se do půdy dostávají ze zdrojů stejnosměrného proudu, například přes koleje tam, kde je špatná izolace. V místě, kde proud vstupuje, vzniká katodové pásmo. Tam, kde vystupuje, vzniká pásmo anodové, které podléhá korozi. [21]

5.2 Korozní činitelé

Rychlost, způsob a velikost napadení materiálu oxidací určují jisté aspekty, mezi něž patří například volba materiálu, tepelná úprava (správnost, rovnoměrnost), namáhání, prostředí (kapalné, plynné, půda), atd. Správnost výroby je důležitým faktorem, který také ovlivňuje životnost výrobku, například ostré hrany nebo složité tvary jsou nežádoucí a pokud možno je lepší se jich vyvarovat. Prostor se zvýšenou vlhkostí nebo salinitou je více korozně agresivnější než prostředí s nižší vlhkostí, odvětrávané, případně klimatizované. Agresivita korozního prostředí má veliký vliv na životnost materiálu. Agresivitu korozního prostředí nebo také stupeň korozního prostředí dělíme na interiéry a exteriéry, ty se dále dělí do několika stupňů znázorněných v tabulce níže. [21]

Tabulka 1 Stupně korozní agresivity atmosféry a příklady typických prostředí. [22]

Stupně korozní agresivity atmosféry a příklady typických prostředí podle ČSN EN ISO 12944, část 2						
stupně korozní agresivity	úbytky hmotnosti na jednotku plochy / úbytky tloušťky (po prvním roce expozice)				příklady typických prostředí mírných klimatických pásem	
	uhlíková ocel		zinek		venkovní	vnitřní
	úbytek hmotnosti g/m ²	úbytek tloušťky μm	úbytek hmotnosti g/m ²	úbytek tloušťky μm		
C1 velmi nízká	≤10	≤1,3	≤0,7	≤0,1		vytápěné budovy s čistou atmosférou, např. kanceláře, obchody, školy, hotely
C2 nízká	>10 až 200	>1,3 až 25	>0,7 až 5	>0,1 až 0,7	atmosféry s nízkou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí	nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci, např. sklady, sportovní haly
C3 střední	>200 až 400	>25 až 50	>5 až 15	>0,7 až 2,1	městské a průmyslové atmosféry s mírným znečištěním oxidem siřičitým, přímořské oblasti s nízkou salinitou	výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, např. výrobní potravin, prádelny, pivovary a mlékárny
C4 vysoká	>400 až 650	>50 až 80	>15 až 30	>2,1 až 4,2	průmyslové a přímořské prostředí s mírnou salinitou	chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží
C5-I velmi vysoká (průmyslová)	>650 až 1500	>80 až 200	>30 až 60	>4,2 až 8,4	průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší
C5-M velmi vysoká (přimořská)	>650 až 1500	>80 až 200	>30 až 60	>4,2 až 8,4	přimořské prostředí s vysokou salinitou	budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší

6. Mechanické předúpravy

Mechanické předúpravy povrchu jsou chápány jako procesy, které nemají primárně účel změnit tvar či rozměr upravovaného materiálu. Primární účel těchto procesů je připravit, či vytvořit na povrchu požadovanou jakost a kvalitu. Nejběžnější hodnocení povrchu po těchto procesech je měření drsnosti, ve většině případů bývá žádoucí i sražení ostrých hran.

- Očistit povrch od nečistot (písku, rzi, okují, grafitu).
- Zajistit podmínky pro vyhovující přilnavost následujících povlaků.
- Zajistit podmínky pro zvýšení odolnosti proti korozi.
- Vytvořit vzhled povrchu odpovídající požadavkům.
- Zlepšit mechanické vlastnosti povrchu. [30]

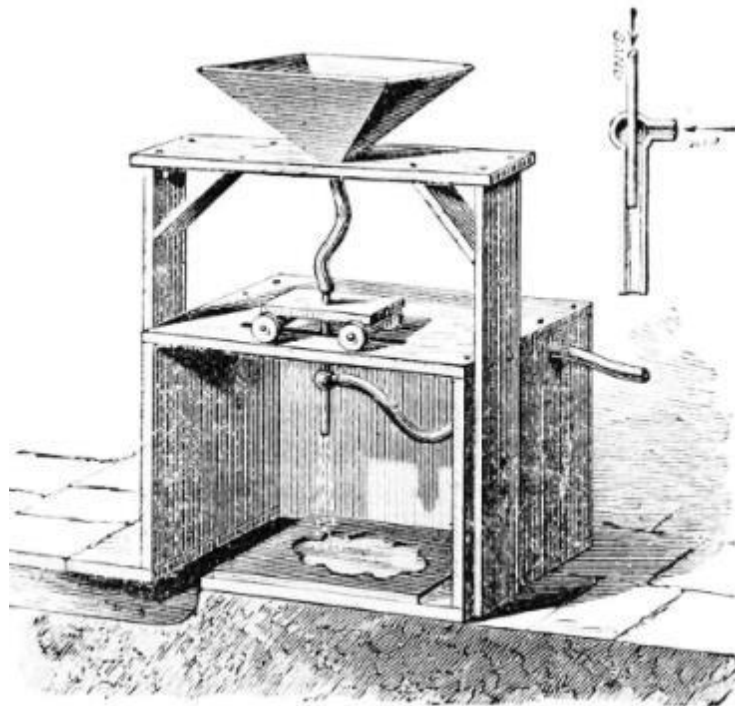
Těchto požadavků lze docílit jednou nebo několika technologiemi předúprav, mezi které patří tryskání, omílání, broušení, kartáčování, leštění, hydrofinišování, speciální procesy aj.

7. Historie technologie tryskání

Již na konci 19. století je možno sledovat první známky využívání technologie tryskání pomocí zrnitého tryskacího prostředku, především při čištění povrchu odlitků. Metoda tryskání pískem pomocí stlačeného vzduchu nebo páry byla patentována roku 1871 vynálezcem Benjaminem Chew Tilghmanem (US patent 104 408). B. C. Tilghman se současně zabýval způsobem urychlování abrazivních prostředků pomocí odstředivé síly metacího kola a aplikací strusky, skla a kovových částic jako tryskacího prostředku.

K výraznému rozvoji tryskání dochází až v období mezi oběma světovými válkami. Nejčastěji používaným tryskacím prostředkem se stal křemenný písek. Jeho aplikace se ovšem ukázala jako značně nevhodná. Křemenný písek se rozpadal na jemný prach již po několika cyklech tryskacího procesu, a navíc obsluze hrozilo poškození plic (dnes známé jako silikóza) vdechováním částic prachu. Tyto důvody vedly k hledání vhodnějšího abrazivního materiálu. Jako vhodné se ukázaly kovové tryskací prostředky vyrobené přímo pro tryskání. V roce 1938 několik amerických firem zkoušelo tryskat s abrazivem z temperované litiny. Ovšem ke skutečnému rozmachu kovových tryskacích částic došlo až v období po druhé světové válce, kdy se experimentovalo s tryskacími prostředky jako je tzv. „zrno z plechu“ nebo „ocelový písek“.

Do 70. let 20. století převládaly ostrohranné tryskací prostředky z litiny, oblý ocelový granulát a sekany drát. V této době byly zaznamenány pokusy s tryskacími prostředky na bázi plastů či organických přírodních materiálů. Od poloviny 80. let pak nastupují technologie „lehkého“ tryskání, tryskání suchým ledem či zvlhčeným abrazivem. [7]



Obrázek 6 První stroje určené k tryskání. [5]



Obrázek 7 Počátky tryskání. [6]

8. Tryskání

Tryskání je technologie předúpravy povrchu, kdy dochází k opracování povrchu materiálu proudem jemných částic. Využívá se k očištění povrchu od zbytků nežádoucích povlaků, rzi, stop po obrábění, sražení hran či vytvoření mikrogeometrie povrchu. Tryskání je zároveň nejúčinnější mechanický způsob odstranění okují či rzi z kovových materiálů.

Tryskání funguje na principu ostřelování povrchu obvykle tvrdých materiálů paprskem abraziva, toto abrazivo funguje jako brusný materiál. Při kontaktu abrazivního materiálu s povrchem dojde ke změně kinetické energie na práci, která následně opracovává povrch. Díky poměrně velké škále možností abraziva (velikosti, tvaru či materiálu) jsme schopni dosáhnout patřičné čistoty a drsnosti.

Pro většinu upravovaných materiálů jsou dány směrnice, které specifikují ideální volbu materiálu na základě velikosti a tvaru abraziva, tak aby nedošlo například ke kontaminaci či nauhličení povrchu. V dnešní době je deformování povrchu pomocí tryskání velice důležitou technologickou operací, která dokáže zvýšit životnost dílu, a to nejen z pohledu přilnavosti dalších vrstev ale i z pohledu zpevnění povrchu či naopak uvolnění zbytkového pnutí.

Deformační technika tryskání se nazývá „shot peening“ neboli kuličkování či brokování. Kuličkování je zvláštní druh tváření, jehož působením vznikají v povrchové vrstvě dílu zbytková tlaková napětí, namísto nebezpečných tahových sil, které vznikají po procesech povrchového zpracování (například po broušení, frézování, ohýbání nebo tepelném zpracování). Tato napětí fungují v materiálu jako opatření proti vzniku mikrotrhlin, působením tlakových sil se mikrotrhlina sama zcelí. Operace spočívá v tom, že na povrch dílce dopadají ocelové (kuličkování), litinové (brokování), skleněné (balotinování) nebo keramické kuličky, které povrchovou vrstvu plasticky deformují. Mezi hlavní přínosy kuličkování tedy patří:

- zvýšená odolnost proti korozi,
- zvýšená odolnost proti opotřebení,
- zvýšení únavové odolnosti. [10] [12] [13]

POVRCH S VYTVOŘENÝM NAPĚTÍM



Obrázek 8 Schéma principu kuličkování [13]

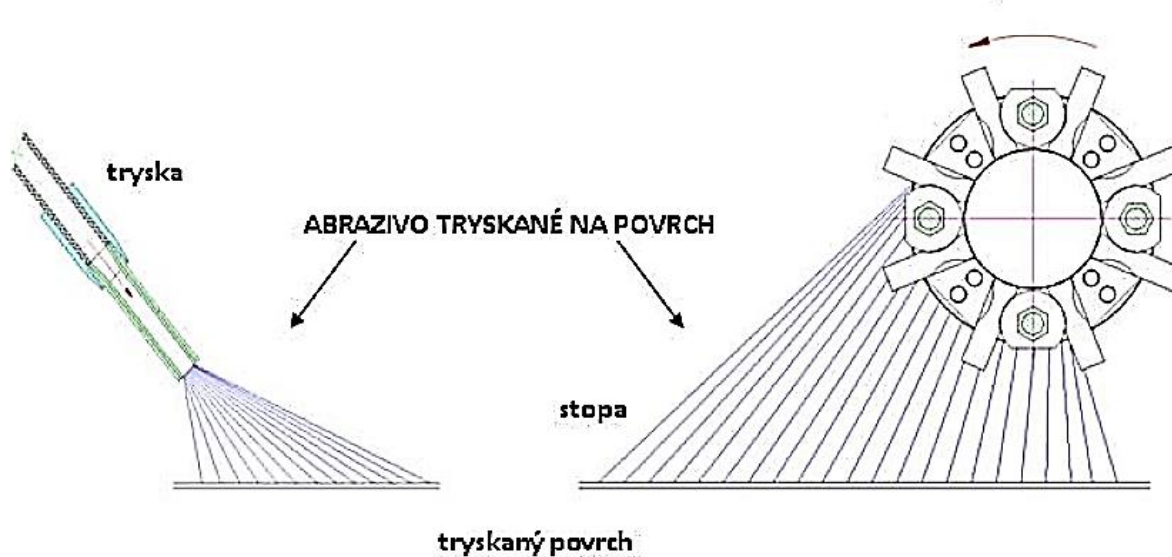
8.1 Rozdělení způsobů tryskání

Tuto technologii je možno provádět dvěma způsoby, a to **pneumaticky** nebo **mechanicky**. Při použití pneumatické metody může rychlost tryskacího prostředku dosahovat až $43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a u mechanické metody až $110 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Z toho je patrné, že mechanické tryskání je několikanásobně výkonnější. [9] [10]

Přesná definice dle normy CSN 8501-01: „*Tryskání je úprava povrchu tryskacím prostředkem, který je vrhán na upravenou plochu. Tryskací prostředek je nástroj, který má charakter pevné látky nebo kapaliny, případně jejich směsí. Při dopadu tryskacího prostředku na otryskávaný povrch dochází k odstranění nečistot základního materiálu a dále k plastické deformaci v povrchové vrstvě.*“ [8]

PNEUMATICKÉ

MECHANICKÉ



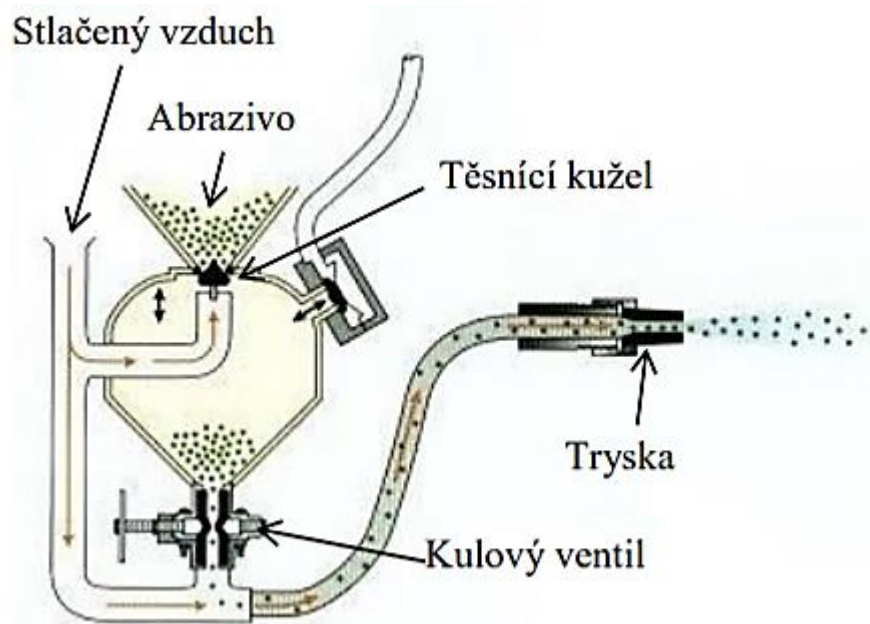
Obrázek 9 Rozdělení tryskání [19]

8.1.1 Pneumatický způsob

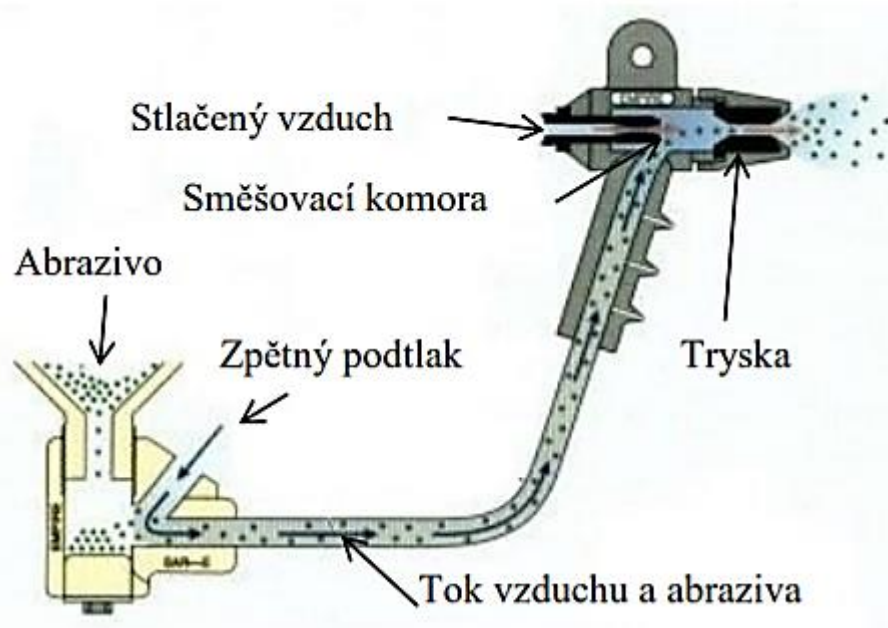
Pneumatické tryskání se vyznačuje dopravováním a urychlováním tryskacích prostředků proudem stlačeného vzduchu a rozdíly tlaků vzduchu. Běžně používaný tlak vzduchu se při tlakovzdušném tryskání pohybuje v rozsahu 0,2–0,8 MPa. Vzniká směs abrazivních částic a stlačeného vzduchu. Tato směs je vrhána na povrch otryskávaného předmětu pomocí trysky. Pneumatické tryskací stroje jsou velmi variabilní, neboť je jimi možno tryskat tvarově velmi složité součásti, zároveň se také mohou přizpůsobit různorodým požadavkům při aplikacích. Jejich velkou výhodou je schopnost tryskat velikostně velice různorodé předměty, těžko dostupná místa nebo konstrukce umístěné v terénu. [4] [7]

Dělí se dle principu a konstrukčního řešení na:

- tlakovou,
- injektorovou (sací) metodu.



Obrázek 10 Tlakové pneumatické tryskání – schéma. [33]



Obrázek 11 Sací pneumatické (injektorové) tryskání – schéma [33]

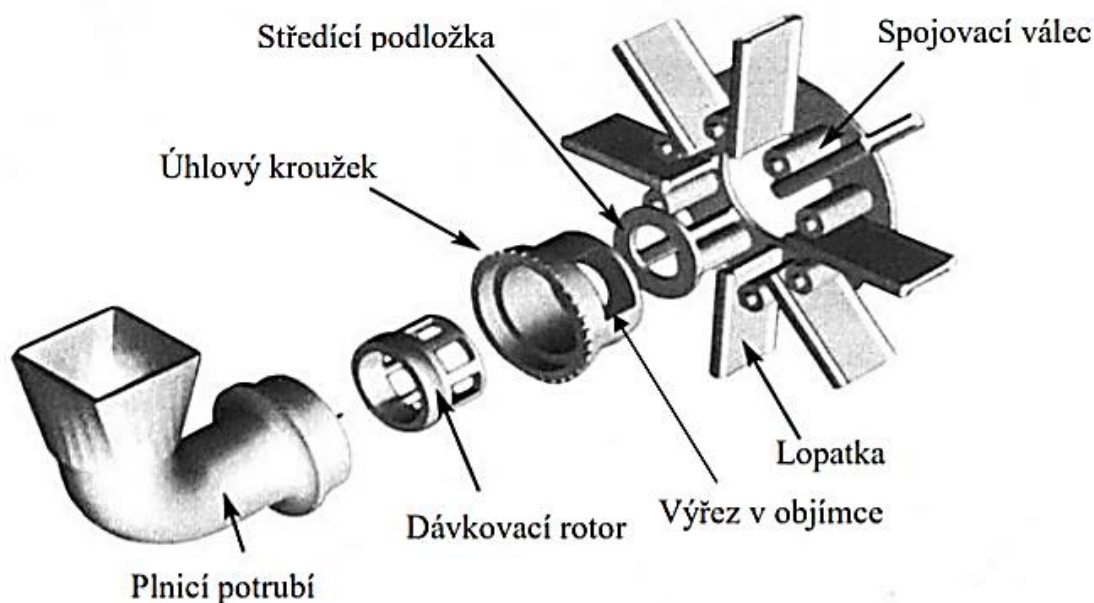
8.1.2 Mechanické tryskání

Probíhá pomocí metalických kol. Mezi základní typy metalických strojů se řadí:

- **tryskač průběžný,**
- **stolový,**
- **závěsný,**
- **bubnový,**
- **speciální, určený pro individuální potřebu zákazníka.**

Při užití této metody dochází na metalických kolech k poměrně velkému erozivnímu opotřebení, které je zapříčiněno tím, že abrazivo je urychlováno pomocí odstředivé síly, která žene abrazivo po lopatkách metalických kol. Z tohoto důvodu jsou lopatky vyráběny z vysoce legovaných slitin chromových litin.

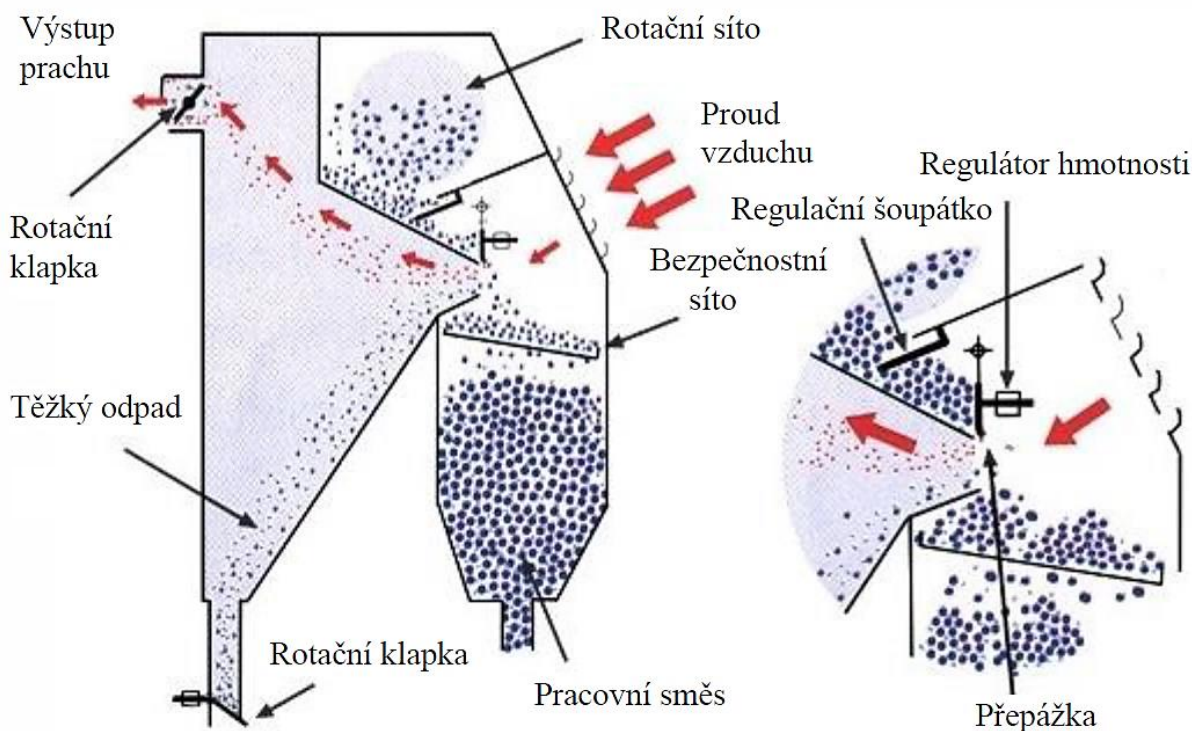
Pro unášení abraziva nevyužívají stlačený vzduch, ale kinetickou energii přenášenou z metalických kol. Abrazivní materiál (nejčastěji granulát) je automaticky doplňován do metalicí skříně, konkrétně rozdělovače, kde je následně pomocí metalických lopatek rozmetán pod optimálním úhlem. Hlavní části metalicího kola jsou popsány na obrázku 12.



Obrázek 12 Detail metalicí jednotky (kola.) [34]

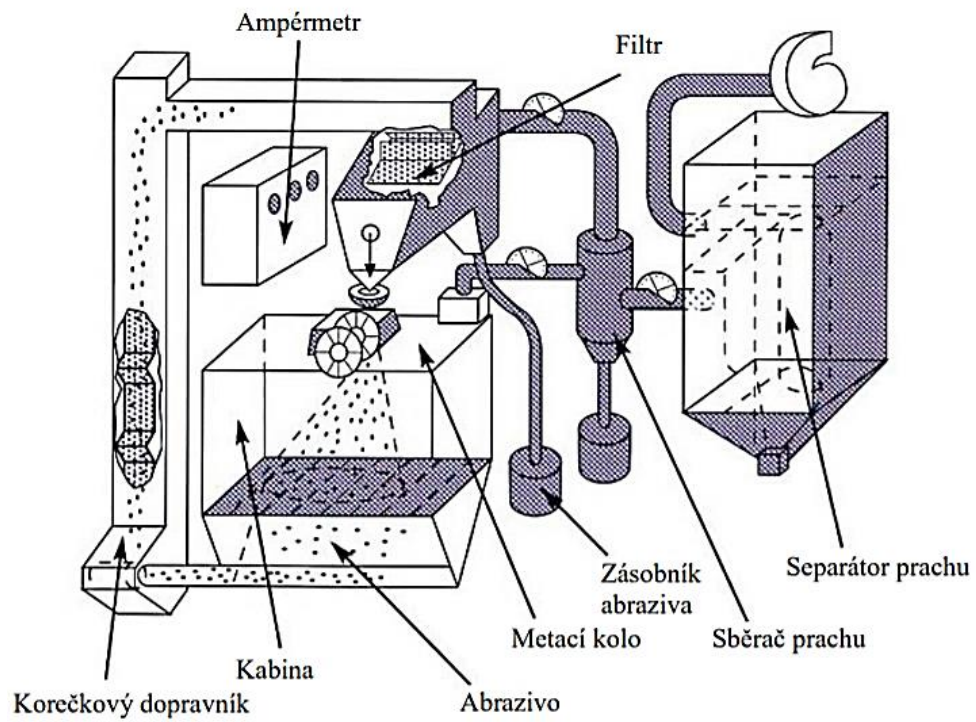
K recyklaci, resp. k přivádění tryskacího prostředku do dávkovacího rotoru metalicího kola slouží korečkový dopravník. Aby abrazivo dodržovalo předepsané parametry a splňovalo předpoklady, a tedy mohlo být neustále v oběhu, je nutné odstraňovat nečistoty, prach, části otryskaného dílce a úlomky abraziva (regulace velikosti). K této funkci slouží zejména filtrační

a separační jednotky zařízení, dále inhibitory jako aditiva. Mezi tyto druhy jednotek patří například drátěná síta, která se většinou nachází na spodní části zařízení a jejich hlavním úkolem je zachytit nejhrubší nečistoty. Pro jemnou filtraci je umístěn jemnější drátěný filtr v horní části zařízení před vstupem do dávkovacího rotoru. Prach a úlomky jsou odstraňovány takzvaným vzduchovým separátorem, jako je kupříkladu kompenzačně gravitační vzduchový separátor viz Obrázek 13. [2][42]



Obrázek 13 Kompenzačně gravitační separátor – schéma [42]

Separátor funguje na principu oddělování lehkých částic ze směsi po tryskání, tvořené abrazivními částicemi a nečistotami, proudem vzduchu. Vzduch žene směs skrz rotační síto do separátoru a zastaví se až na regulačním šoupátku, které reguluje množství propadající směsi podle hmotnosti. Drobné částičky propadávají průběžně pod přepážkou. Tyto částičky typu prach, části otryskaného dílce nebo rozbité abrazivo jsou urychlovány proudem stlačeného vzduchu a odváděny mimo recyklát, který míří zpátky do rotačních jednotek. Jemné a hrubé nečistoty jsou od sebe separovány do různých zásobníků, tento proces je souběžný se samotným procesem tryskání. Abrazivo, které je po tryskání v pořádku, tudíž je možné jej opětovně použít, dopadá na bezpečnostní síto, kde se zachytávají poslední velké nečistoty. Je důležité udržovat zásobník s tryskacím materiálem stále plný, aby byla zachována správná činnost celého procesu. [2] [42]



Obrázek 14 Schéma kabinového tryskacího zařízení. [34]



Obrázek 15 Ukázka efektivní plochy metacího kola [1]

9. Abrazivo

Abrazivem se rozumí materiál, který provádí abrazivní namáhání součásti. Materiál se většinou vyznačuje svou tvrdostí, může se jednat o minerál, horninu, syntetickou látku, kov a jiné. Abrazivo se v procesech vyskytuje buď jako lisované, lepené, v roztocích nebo volné (tryskání). Abrazivní materiál se rozděluje:

Dle původu

- přírodní,
- syntetické.

Dle tvaru zrna

- ostrohranné (drtě),
- oblé (granuláty).

Mezi kovové tryskací prostředky patří: ocelový granulát, ocelová drť, litinový granulát, litinová drť, nerezový granulát, nerezová drť, granulát z neželezných kovů (mosazi, zinku atd.), sekaný drát a směsi typu granit (speciální směsi ocelové drtě a granulátu). [11][12]

Mezi nekovové syntetické tryskací prostředky patří: umělý korund bílý a umělý korund hnědý, karbid křemíku SiC, balotina (skleněné mikrokuličky), drcené sklo, strusky (uhelné, měděné, ocelářské aj.), plastové abrazivo, keramické abrazivo, abrazivo na bázi jedlé sody a suchý led a další. [11][12]

Mezi nekovové přírodní tryskací prostředky patří: křemičitý písek, olivínový písek, přírodní korund, ilmenit, zirkon, staurolit, drcený vápenec, drcené pecky, drcené ořechové skořápky, drcené ulity mořských korýšů [11][12]

9.1 Kovové

Největší uplatnění nachází jako průmyslové pískování k sjednocení či odstranění okují a k uvolnění zbytkového pnutí. Užívá se na disky, svařence a odlitky. Vhodné především na kov nebo plast, aplikace je prováděna tlakovým tryskáním či metacími koly. Abrazivo může být ve formě granulátu, drtě nebo směsi obojího dohromady v určitém poměru. [17]

9.1.1 Přehled používaných kovových tryskacích materiálů

Ocelová drť

Jedná se o jeden z nejběžnějších materiálů v zařízeních s uzavřeným oběhem (tryskací kabiny, tryskací komory). Je nejvíce využívána pro tryskání (pískování) železných materiálů, pro odstranění okují a rzi, na které navazují další kroky povrchové úpravy typu – práškové lakování, nátěry, galvanické povlaky či smalt. Vykazuje vysokou účinnost při výborných ekonomických ukazatelích. Výroba spočívá v drcení speciálně tepelně upravených zrn granulátu o větších průměrech. Ocelová drť se řadí do ostrohranného abraziva s vysokou životností. Jedná se o abrazivo šedé barvy s různou škálou hrubosti. Označení tohoto materiálu je písmenem G, dále se za písmenko přidává P/L/H.

- **P** – nejnižší tvrdost abraziva, to znamená, že se zrno během procesu rychle zakulacuje. Vhodné pro odstranění okují. 45-52 HRC.
- **L** – střední tvrdost, zrna tohoto abraziva se v průběhu procesu postupně zakulacují, vhodné pro přípravu povrchu pro další operace, tedy i odstranění okují. 45-59 HRC.
- **H** – nejvyšší tvrdost, zrno se nezakulacuje, ponechává si ostrohranný tvar, využíváno spíše v pneumatických tryskačích. Lze uplatnit i u metacích jednotek, nicméně dochází k většímu opotřebení lopatek z důvodu ostrých hran abraziva. 64-69 HRC.

Jako další údaj se přidávají číslice 10-120 dle velikosti zrn, např.: (G25 = ocelová drť o velikosti zrna 0,01-2.8 mm). [18][19] [14]



Obrázek 16 Ocelová drť [18]

Ocelové kuličky (granulát)

Označení materiálu písmenem S, jedná se o oblé (kulatý) druh abraziva. Díky homogenní martenzitické struktuře, nadeutektoidní oceli, ze které je abrazivo vyrobeno, vykazuje odrazovou pružnost a zároveň odolnost proti únavě. Další z významných výhod je jeho životnost, čisticí účinek při přijatelných nákladech. Nejvíce se tento typ abraziva používá v tryskacích zařízeních s metacími koly pro čištění hutních polotovarů, svařenců a odlitků. Granulát oproti drti disponuje výhodou nižšího opotřebení lopatek z důvodu oblých tvarů, proto je vhodnější do metacích jednotek než drť. Specifická hmotnost $7,7 \text{ kg.dm}^{-3}$, tvrdost 40 až 53 HRC.

V pneumatických zařízeních se granulát používá převážně pro tzv. „Shot peening“, což je zpevňování mechanicky namáhaných dílů (viz výše). [18] [19] [14]

Tabulka 2 Orientační složení ocelového granulátu [14]

	C	Mn	Si	P	S	tvrdost
ocelový granulát	0,75 až 1,20 %	0,6 až 1,10 %	0,6 až 1,10 %	max 0,04 %	max 0,04 %	46-53 HRC



Obrázek 17 Ocelové kuličky – granulát [18]



Obrázek 18 Ukázka srovnání ocelového granulátu a ocelové drti [20]

Sekaný drát

Někdy se používá místo drtě sekaný drát. Sekaný drát představuje díky svým vlastnostem přechod mezi drtí a granulátem. Drť však mívá vyšší účinnost. Sekaný drát je dostupný i z neželezných materiálů, například mosazi, zinku nebo nerez oceli. Je hojně využíván v tryskacích jednotkách s metacími koly, navzdory jeho ostrohannému tvaru patří mezi jeho vlastnosti houževnatost, jinými slovy, po pár cyklech se ostré hrany obrousí a nemá takový dopad na lopatky metacích jednotek. Výhodou tohoto typu abraziva je životnost, která může být až 2,4x delší než u granulátů, a opotřebení lopatek klesne natolik, že se jejich životnost prodlouží asi trojnásobně. [18] [14]

Tabulka 3 Orientační chemické složení sekaného drátu [14]

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
ocelový	0,07 až 0,09 %	1,40 až 1,55 %	0,8 až 0,95 %	0,02	0,02	-	-
nerez	0,01%	1,80%	0,80%	0,015%	0,015%	20%	10%



Obrázek 19 Sekaný drát [18]

9.2 Minerální

Využívá se jako technické tryskání zaměřené spíše na čištění, renovace či matování. Užití nachází například při čištění disků, konstrukcí, soklů atd. Jsou vhodné na kov, plast, dřevo, sklo, kámen. Aplikace probíhá pomocí injektorového tryskání, popřípadě tlakovým. [17]

9.3 Organické

Tento typ se nejčastěji využívá jako šetrné tryskání nebo dokonce finiš. Nejčastěji slouží k odstraňování laků, případnému leštění. Organické abrazivní materiály se hojně využívají na opracování jemné mechaniky elektroniky či starožitností. Jsou vhodné na kov, plast, sklo, dřevo. Aplikace možná pomocí injektorového tryskání i tlakového. [17]

9.4 Přehled používaných nekovových tryskacích prostředků

Jedná se o:

- umělý korund,
- balotina,
- keramické abrazivo (zirblast),
- karbid křemíku,
- přírodní granát,
- struskové abrazivo,
- křemičitý písek,
- olivín,
- skupina těžkých minerálů,
- drcené sklo,
- abraziva organického původu,
- plastická abraziva,
- suchý led,
- soda,
- chlorid sodný,
- síran hořečnatý. [12]

10. Inhibitor

Inhibitor je aditivum, které se přidává přímo do zásobníku abraziva. Dávkování probíhá pomocí nainstalovaných jednotek (automatických dávkovačů) či manuálně dle potřeby. V průběhu cyklu průchodu abraziva skrz tryskací jednotku se kompletně promísí aditivum s tryskacím médiem, naváže na sebe mastnotu a zamezí opětovné kontaminaci. Po navázání odchází skrz separátor spolu s ostatními nečistotami pomocí vzduchových separátorů mimo tryskací jednotky. Velkou výhodou je, že po absorpci mastnoty zůstává aditivum suché a tím pádem nezanáší filtry. Celý proces se stává stabilnějším a efektivnějším. Díky tomuto přídatku můžeme omezit proces odmaštění, před samotným tryskáním i po něm. Další z výhod je dopad na životní prostředí, protože neobsahuje žádná rozpouštědla ani tenzidy a celý proces probíhá pouze z fyzikálního hlediska. [44][45]

11. Použité normy k vyhodnocení kvality povrchu

11.1 Stupeň přípravy povrchu oceli – ČSN EN ISO 8501-1

Celým názvem: „*Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*“.

- **Sa 1** - lehké otryskání. Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek. (Jsou odstraněny nepřilnavé okuje, rez, vrstvy nátěrů.)
- **Sa 2** - důkladné otryskání. Bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé nečistoty musí být pevně přilnavé. (Je odstraněna většina okují, rzi, nátěrů. Všechny zbytky jsou pevně přilnavé.)
- **Sa 2 ½** - velmi důkladné otryskání. Bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí vykazovat pouze lehké zabarvení ve formě skvrn nebo pruhů. Aplikace NH. (Jsou odstraněny okuje, rez, staré nátěry. Zbylé stopy nečistot jsou pouze stíny ve formě skvrn nebo pásů.)
- **Sa 3** - otryskání až na vizuálně čistý povrch. Bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled. Jsou odstraněny okuje, rez, staré nátěry. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled. Aplikace ŽN. [24][25] [26]

Původní stav nenatřeného ocelového povrchu se označuje:

A – nový výrobek, povrch zaokujený,

B – povrch zaokujený, částečně zkorodovaný,

C – povrch zcela zkorodovaný, bez projevů nerovnoměrné koroze,

D – povrch zcela zkorodovaný, napaden nerovnoměrnou korozí. [24] [26]

11.2 Nátěrové hmoty – mřížková zkouška – ASTM D-3359.

Mřížková zkouška je metoda hodnocení přilnavosti a křehkosti povlaků na podkladovém materiálu. Hodnotí jednolitě i vícevrstvé povlaky.

Mřížkové zkoušce se podrobně věnují dvě normy – ASTM D-3359 a ČSN EN ISO 2409.

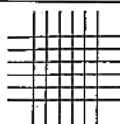
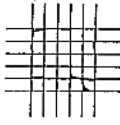
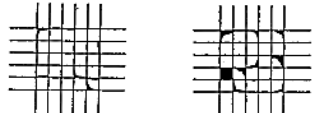

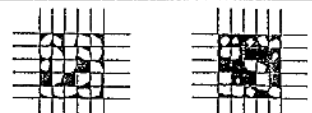
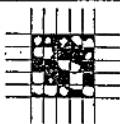
Vhodným podkladem pro provedení mřížkové zkoušky je tvrdý (např. ocel) nebo měkký podklad (dřevo a jiné měkké materiály). Mřížková zkouška by měla být vždy prováděna za optimálních a opakovatelných podmínek na vzorcích či výrobcích v dostatečném časovém odstupu od aplikace povlakového systému.

Jelikož výsledek zkoušky neudává konkrétní číselnou hodnotu, nelze ji považovat za způsob měření přilnavosti. K exaktnímu měření přilnavosti je lepší použít odtrhoměru.

V našem případě bude zkouška probíhat podle americké již výše zmiňované normy. Tato norma narozdíl od českého ekvivalentu, rozlišuje druh řezu v závislosti na tloušťce testované vrstvy (povlaku). Pro tloušťky povlaků (dohromady všechny povlaky) menší než **50 μm** (včetně) je prováděna mřížková zkouška s jedenácti řezy (v jednom směru), přičemž rozestupy řezů jsou 1 mm. Stejný počet řezů otočených o 90° soustředných na předchozí řezy.

Pro povlaky, nesoucí tloušťku vrstev mezi **50 μm** až **125 μm** bude opět proveden mřížkový řez s rozestupy 2 mm a počtem 6 řezů. Stejný počet řezů otočených o 90° soustředných na předchozí řezy.

Povlaky o celkové tloušťce větší než **125 μm** bude proveden řez typu – X. Řez musí svírat úhel 30 až 45° a protínat se přibližně uprostřed řezů. [28]

CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

Obrázek 20 Tabulka klasifikace výsledků zkoušek. [27]

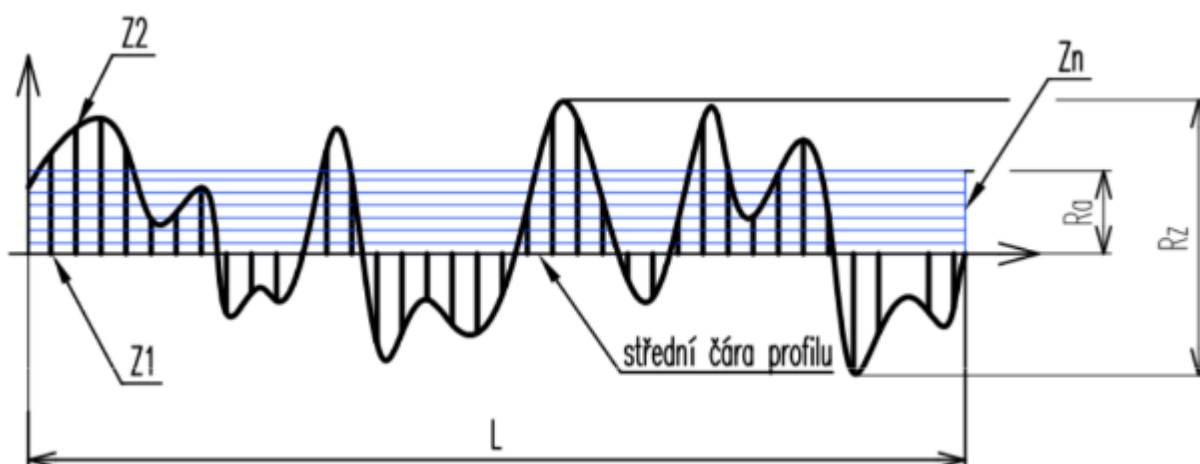
11.3 Drsnost povrchu – ČSN EN ISO 4287

Drsnost lze chápat jako reliéf povrchu, který vznikl při výrobě či její předchozí úpravě. Drsnost je charakteristická vlastnost povrchu, která velice ovlivňuje přilnutí nátěrové hmoty k povrchu a použité množství.

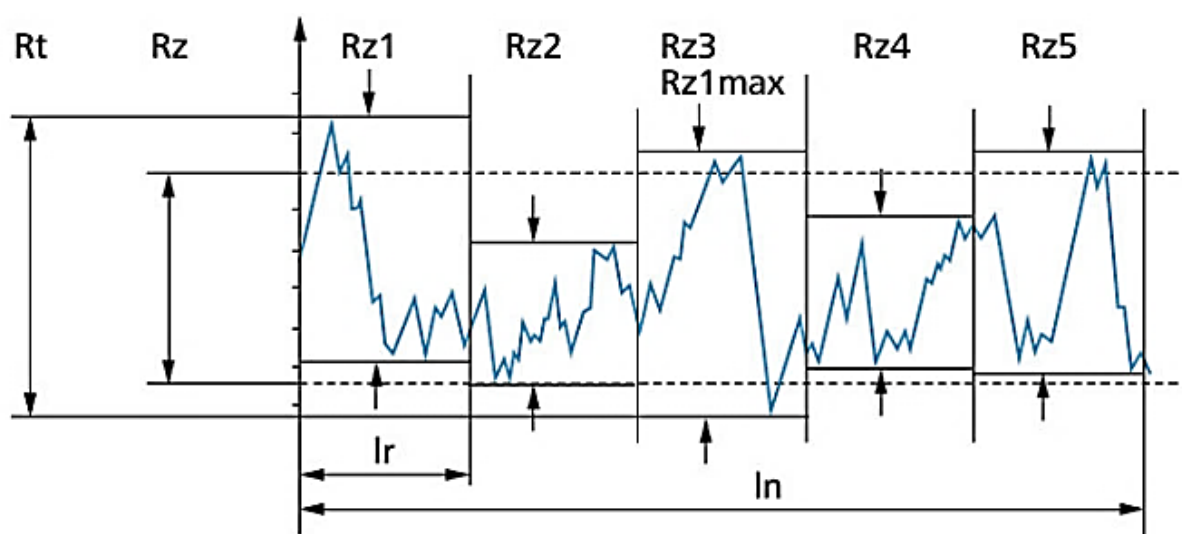
Samotný reliéf povrchu může být pro zakotvení vrstvy jak výhodný, tak i škodlivý. Čím větší členitost povrchu, tím lepší podmínky pro ukotvení nátěru, a to z důvodu větší stykové plochy. Nicméně větší členitost povrchu může být i škodlivá, a to například když při aplikování nátěru je potřeba vyplnit daleko větší prostor mezi „valley“ a „peekem“, tedy mezi nejnižším a nejvyšším bodem reliéfu (absolutní odchylka), což může být u některých technologiích problém. Každopádně to znamená větší spotřebu nátěrových hmot.

Drsnost povrchu se hodnotí jak v příčném, tak v podélném směru a je posuzována více parametry. Mezi parametry, kterými se budeme zabývat a dle kterých bylo měřeno v experimentální části, řadíme tyto: [16]

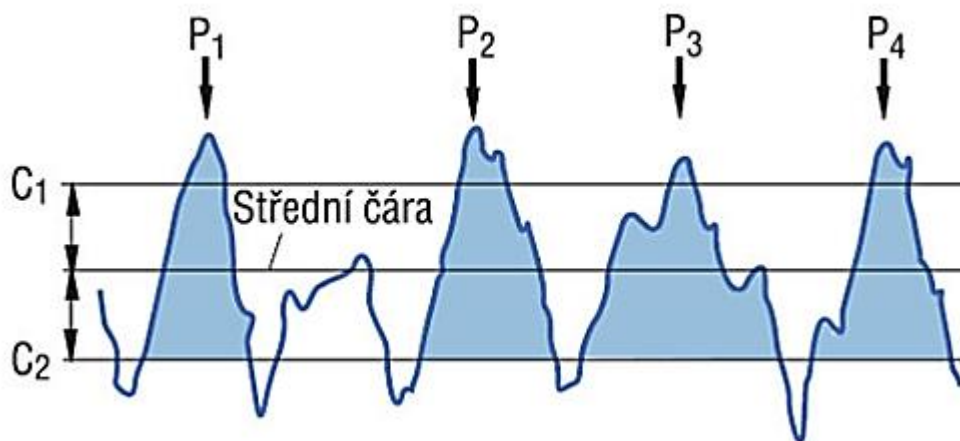
- **Ra** – střední aritmetická hodnota drsnosti, aritmetický střed absolutních odchylek drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky **lr**, viz Obrázek 21. Vypovídající schopnost tohoto parametru není příliš vysoká, spíše směrodatná. Ra totiž nereaguje citlivě na extrémní výšky peeků (hrotů), či prohlubní (rýh) profilu.
- **Rz** – střední hloubka drsnosti: střední hodnota pěti Rz hodnot z pěti základních délek **lr**, viz Obrázek 22.
- **Rt** – celková výška profilu drsnosti: Rt je vertikální vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším bodem profilu na měřené délce **ln**, viz Obrázek 22.
- **RPC** – počet výstupků viz Obrázek 23. Počet výstupků P na 10 mm měřené délky nezbytné pro vyhodnocení stanovení hladiny řezu C1 a C2. [31]



Obrázek 21 Schématické znázornění vyhodnocení Ra. [32]



Obrázek 22 Schématické znázornění vyhodnocení Rz a Rt. [31]



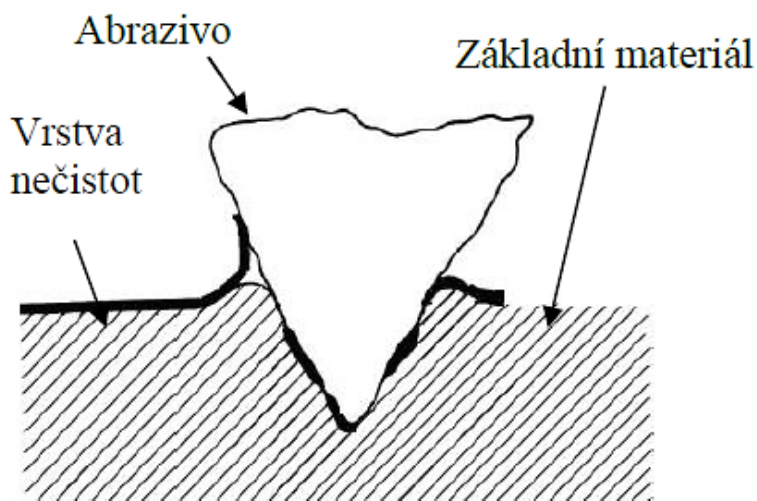
Obrázek 23 Schématické znázornění vyhodnocení RPc. [31]

12. Reliéf povrchu po tryskání

Tryskání může mít na strukturu povrchu jak kladný, tak i záporný účinek. Tryskání samo o sobě tvoří na povrchu určitou drsnost, která závisí na více aspektech, a to jak na volbě abraziva, tak i konfiguraci zvolené technologie. Nicméně orientačně se dá říci, že pokud se tryská materiál s drsností $Ra\ 6,3$, dá se předpokládat, že na výstupu bude mít materiál drsnost menší, tedy tryskáním se docílí v tomto případě nižší drsnosti. V opačném případě, když se tryská materiál s drsností $Ra\ 0,1$, s největší pravděpodobností bude drsnost větší. Jeden z parametrů, který je možno upravovat, aby byla docílena nižší drsnost, je zvýšit rozptyl, což může mít vliv na účinnosti jednotky, takže je potřeba dopředu zvážit, jestli je tento krok výhodný či nikoliv. Geometrie vzniklá na povrchu je zapříčiněna dopadem abraziva na tryskaný povrch. Tryskací prostředek je vrhán na povrch, kde jednotlivá zrna zanechávají otisk a vtlačují se do povrchu. Důlky či jiné stopy se vzájemně překrývají a tím utvoří charakteristický reliéf povrchu. Otryskaný povrch je definován jako neorientovaný, izotropní, což ve své podstatě znamená, že v kolmých směrech se drsnost a mezera mezi vzniklými vrcholy příliš neliší. Struktura otryskané vrstvy, jak již bylo řečeno, je hlavně ovlivněna zvoleným druhem a typem abraziva, úhlem dopadu a typem tryskaného materiálu.

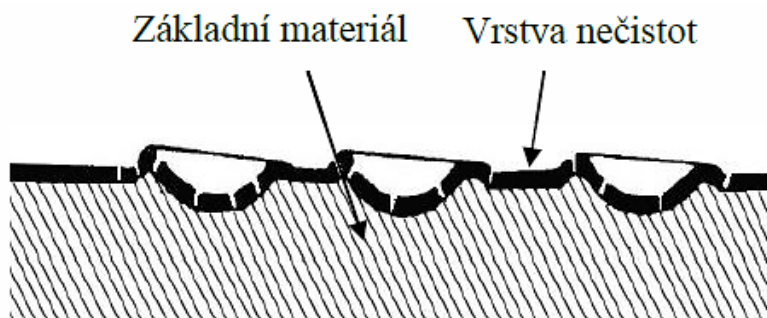
Jak už bylo zmiňováno v předchozích kapitolách, tryskaný materiál je potřeba očistit od mastnot, které mohou mít největší dopad na znehodnocení abraziva. Pokud by se jednalo o větší množství mastnot na povrchu, abrazivo by jimi mohlo být kontaminováno. Takto znehodnocené médium, se nesmí znovu používat, a to z důvodu opětovného nanesení na již otryskaný čistý povrch.

Za předpokladu, že povrch je pokrytý vrstvou nečistot či mastnot, se takovýto povrch tryská ostrohranným abrazivem, které díky svému tvaru může proseknout vrstvu nečistot až do základního materiálu, viz Obrázek 24. Dokonce může dojít i k drobnému vytrhování částecek základního materiálu. Tento typ abraziva má větší čistící efekt, nicméně vytvoří větší drsnost a ostrohranné důlky.



Obrázek 24 Vryp ostrohranného abraziva [35]

Pokud je užito abrazivo sférického tvaru, deformuje při dopadu vrstvu nečistot. Ty pod tlakem praskají, čímž je narušena jejich soudržnost viz Obrázek 25.



Obrázek 25 Vryp sférického abraziva [35]

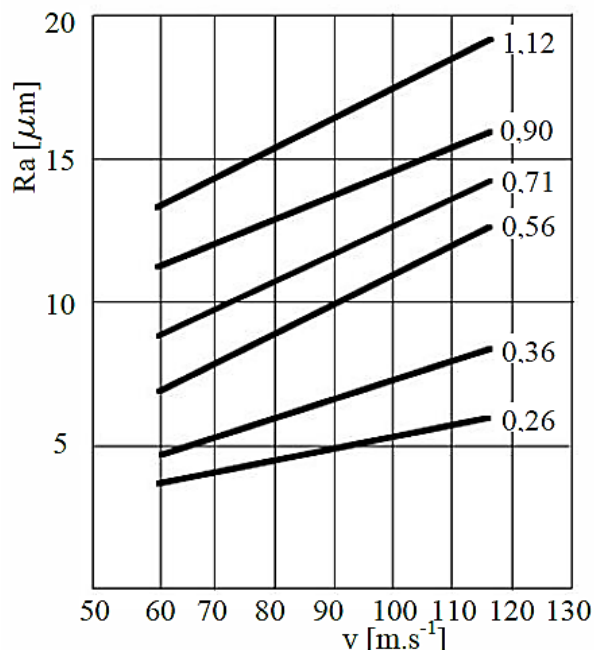
Dalšími dopady abraziva jsou tyto nečistoty odstraněny. Vzniklá struktura je v podobě důlků kruhového typu, která je charakteristická pro toto abrazivo. Povrch vzniklý pod tímto druhem abraziva má menší drsnost než při použití ostrohranného abraziva.

Další ze zmiňovaných aspektů, které mají vliv na tvar a hloubku vtisků, je nastavení úhlu dopadu a rychlosti tryskacího média. S rostoucí rychlostí roste i drsnost a zvětšuje se hloubka vtisku. Obrázek 26 ukazuje experimentálně naměřené hodnoty drsností v závislosti na rychlosti dopadu abraziva pro různé velikosti abraziva. S rostoucím úhlem dopadu převládá zpevňovací charakter. Například, při nastavení úhlu dopadu 90° je dosaženo maximálních hodnot vnitřního pnutí, nicméně povrch takto otryskaný není vhodný pro nanášení nátěrových hmot. Proto se ve většině případů volí menší úhel, například 75°.

Tento úhel je optimální v tom, že poskytuje jak dostatečné čištění, tak i zpevnění povrchu a výsledný reliéf je ideální pro nanášení další nátěrové hmoty.

Po dokončení tryskání je potřeba tryskaný materiál zkontrolovat a odstranit případné ulpělé zbytky abraziva, například v koutových a rohových místech. Otryskaný materiál je svým způsobem aktivovaný, a tím pádem nechráněný před možnou oxidací, na takovýto materiál by měla být v co nejkratší době nanášena nátěrová hmota. Pokud není možnost aplikace nátěru, pak musí být aplikována dočasná protikorozní ochrana. K tomu může posloužit například protikorozní olej, který musí být před dalšími úpravami odstraněn. Doba, po kterou může být otryskaný povrch bez ochrany, se udává 48 hodin, nicméně toto číslo závisí na klimatických podmínkách, ve kterých se materiál nachází. Jedinou výjimkou je tryskání zinkovými abrazivy. Zinek při tryskání vlivem kontaktu vytvoří dočasnou protikorozní ochranu na povrchu.

Reliéf povrchu a tvar vrypů jsou velice důležitým měřítkem pro nanášení nátěrové hmoty. Trendem dnešní doby je maximální snižování ceny nákladů. Výrazně členitý povrch (velké výstupky, hluboké důlky) vyžaduje velké množství nátěrové hmoty, aby zaplnila celý objem povrchu od nejnižšího místa až po místo nejvyšší, což se negativně promítne do finanční stránky. [34][36]



Obrázek 26 Závislost rychlosti na drsnosti tryskaného povrchu

13. Nátěrové hmoty

Nátěrová hmota je určitá ochrana povrchu dílce organickými povlaky před nepříznivými vlivy okolního prostředí a je uskutečněna především bariérovým způsobem ochrany. Nátěrová hmota představuje způsob sloužící k vytvoření souvislé vrstvy nebo více vrstev. Organické povlaky lze vytvářet nejen pomocí tekutých nátěrových hmot, ale i formou práškových hmot, které umožňují vytvoření plastového či gumového (pryžového) povlaku.

Nátěrovým systémem se označuje hmota tekutého, emulzního, pastovitého či práškového charakteru, která po nanesení na povrch zanechává jednolitý ochranný film. Nátěrovými hmotami chráníme ošetřovaný povrch před vlivy okolního prostředí. Hlavní funkcí nátěru je ochrana základního materiálu. Ochrana, která může být funkční po mnoha stránkách, například:

- ochrana proti korozi,
- ochrana proti otěru,
- ochrana proti žáru,
- ochrana proti mikroorganismům (plísně a bakterie),

Dále samozřejmě disponuje velice důležitou funkcí pohledovou, respektive dekorativní.

Nejpoužívanějšími typy nátěrových systémů jsou organické hmoty. Jejich výborná dostupnost a vysoký ochranný účinek ve spojení s jednoduchým způsobem aplikace jsou hlavními důvody jejich vysoké využitelnosti. Tyto povlaky jsou ve většině případů nanášeny v tekutém stavu v jedné nebo ve více vrstvách. Při nanesení většího počtu vrstev se zvyšuje ochranná účinnost celého nátěrového systému. Mimo nátěrových hmot lze k vytvoření ochranného povlaku využít práškové barvy.[38] [39]

13.1 Dělení dle vlastností

Vzhledem k základním vlastnostem je možné nátěrové hmoty rozdělit na:

- **laky** – nátěrový systém, který na ošetřovaném povrchu vytváří transparentní, respektive průsvitnou vrstvu.
- **pigmentové nátěrové systémy** – na povrchu tvoří neprůhlednou vrstvu. [38]

13.2 Dělení dle prostředí

Vzhledem k prostředí použití se nátěrové systémy dělí na:

- **vnější** – jsou odolné vůči povětrnostním vlivům, většinou barevně i vlastnostmi stále vzhledem k působení slunečního záření,
- **vnitřní** – jejich odolnost vůči přírodním vlivům není tak vysoká jako u nátěrových systému vnější charakteristiky,
- **speciální** – do této skupiny je možné zařadit interaktivní nátěrové systémy (např. Antigrafitti) nebo barvy odolné vůči chemickým vlivům. [38]

13.3 Práškové plasty

Práškové plasty se začaly používat jako náhrada za běžné rozpouštědlové nátěrové hmoty, ve kterých, jak už název napovídá, se nachází rozpouštědla, která mají negativní vliv na životní prostředí. V dnešní době je kladen velký důraz na šetrnost k životnímu prostředí, a to je jeden z hlavních aspektů, proč získávají povlaky z práškových plastů stále více na oblibě, jsou totiž ekologičtější i ekonomičtější než nátěrové hmoty. Mluvili jsme o ekologické stránce technologie, nicméně nesmíme zapomínat ani na vlastnosti práškových plastů, jako ořeruvzdorné vlastnosti, odolnost proti vyšším teplotám, barevnou stálost, odolnost vůči bakteriím, nesmáčivost povrchu, neměnné vlastnosti při vystavení atmosférickým vlivům, elektrický odpor a vodivost a další. Samozřejmě v první řadě se ale využívají jako ochrana proti korozi. [43]



Obrázek 27 Příklady práškových plastů [40].

13.3.1 Složení práškových plastů

Hlavními složkami práškových plastů jsou směsi pryskyřic, pigmentů, aditiv a tvrdidel. Aditiva jsou právě ta složka, která ovlivňuje vlastnosti finálního prášku. Mezi tyto vlastnosti patří například: tvrdost, lesk, struktura, smáčivost. Práškové barvy jsou aplikovány a dodávány výhradně v práškové suché konzistenci, a to z důvodu nepřítomnosti žádné tekuté složky.

13.3.2 Termoplastické práškové plasty

Termoplastické nosiče nejsou tolik využívány, jako prášky na bázi termosetů (reaktoplastů). Za zvýšených teplot jsou tvárné a opakovaně tavitelné, což limituje použitelnost za vyšších teplot. Můžeme se setkat i s termoplasty se zvýšenou tepelnou odolností. Jedna z výhod může být možnost nanášení žárovým nástřikem. Nejrozšířenější termoplasty jsou:

- **polyethyleny** – nízká cena, špatné mechanické vlastnosti, nanášení fluidně,
- **polyamidy** – vyšší cena, využití na speciální aplikace v chemickém průmyslu, nutnost nanést větší vrstvu,
- **fluoropolymery** – velmi vysoká cena, odolávají vysokým teplotám a vykazují dlouhou životnost. [43][44]

13.3.3 Reaktoplastické práškové plasty

Reaktoplasty, taktéž termosety, jsou v dnešní době nejvíce využívané nosiče pro práškové plasty. Tento typ plastů po nanesení musí projít polymerací (zahřátím), a tím pádem se struktura materiálu sesítuje a dojde k nevratné změně ve struktuře práškového materiálu, tedy nejde zpětně tavit. Velká výhoda je dostupnost, odstínová rozmanitost a schopnost jednoduše se nabít (statické nanášení). Nejrozšířenější termosety jsou:

- **Epoxidy** – velice nízká odolnost vůči UV záření, proto jsou především určeny pro interiérové použití, nebo jako základní vrstva, která nebude vystavena UV a bude překryta jinou nepropustnou vrstvou. Dobrá chemická a korozní odolnost.
- **Epoxipolyestery** – mezi práškovými plasty nejhojněji používány v interiérových prostorech. Jedná se o kombinaci polyesteru a epoxidu, a tedy i kombinaci vlastností, jako například odolnost proti UV. Nicméně nejsou primárně určeny na venkovní expozici, proto se doporučuje jen krátkodobé vystavení UV.

- **Polyestery** – velmi dobrá UV odolnost, a tedy primárně určeny pro venkovní užití. Kromě toho disponují i odolností vůči povětrnostním vlivům.
- **Polyuretany** – velmi dobrá odolnost vůči povětrnostním vlivům. Transparentní (průhledný) povlak.
- **Akryláty** – univerzální povlak disponující vysokou chemickou odolností. [43][44]

Experimentální část

Jedno z největších úskalí průchozího tryskacího zařízení je změna/výměna abraziva samotného. V tryskací jednotce je zásobník abrazivního materiálu čítající objem až několik desítek tun, proto je velice náročné takovéto množství vyměnit. Jedno z možných řešení, jak přejít na jiné druhy abraziva, je postupným doplňováním zásobníku jiným abrazivem do té doby, než se celý objem média vymění, nicméně toto je velice náročný a zdlouhavý proces. Proto bylo vymyšleno řešení, nechat si vzorky otryskat v externích firmách. Snahou bylo přiblížit se co nejvíce podmínkám společnosti Doosan Bobcat EMEA.

Experimentální část diplomové práce je rozdělena do dvou částí, jedna část se zabývá seznámením se s testovanými abrazivy, aktuálním stavem tryskací jednotky a jejími možnostmi. Dále popisem testovaných (tryskaných) vzorků. Druhá část se zabývá samotným testováním abrazivních materiálů a následným vícekritériálním hodnocením.

Všechny vzorky byly po otryskání dočasně ochráněny proti oxidaci a převezeny do laboratoře Doosan Bobcat EMEA, ve výrobním závodě. Dále byly na většinu vzorků aplikovány dvě vrstvy práškových plastů. Na první vrstvu, základovou (primer), byly použity epoxidové práškové plasty a na druhou horní vrstvu (topcoat) byla použita polyesterová prášková barva. Po první nanesené vrstvě se vzorky želírují v želírovací peci. Po nanesení druhé (topcoat) vrstvy byla provedena polymerace ve vypalovací peci a tím se povrch dostal do finálního vzhledu. Na těchto připravených površích byly provedeny následující zkoušky viz kapitola Kritéria hodnocení.

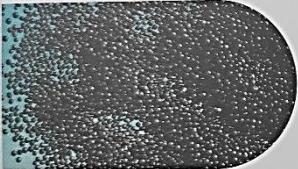
Do experimentu bylo zařazeno šest různých druhů abrazivních materiálů v kombinaci s konfigurací pracovních podmínek jako jsou: otáčky metacího kola, čas strávený v komoře či rychlost metání abrazivního média.

Tabulka 6 Seznam testovaných vzorků a nastavení tryskacích parametrů., popisuje jednotlivé vzorky abraziv a jejich nastavení při testování, tedy celkově se jednalo o 11 testovaných vzorků.

Testované abrazivo


Tato kapitola popisuje testovaná abraziva. Jak už bylo zmíněno, jedná se o šest druhů abrazivních médií. Následující obrázky 27–30 znázorňují velikostní složení zrna jednotlivých abraziv:

- WS230 – granulát, aktuálně používané abrazivo v Doosan Bobcat EMEA,

		Rozměry oka / /Screen size [mm]	
 WS 230	Vše prochází	All pass	1,00
	Max. 30 % zůstává	Max. 30 % retained	0,85
	Min. 90 % zůstává	Min. 90 % retained	0,60
	Min. 97 % zůstává	Min. 97 % retained	0,50
	Prům. počet částic	Aver. number of pellets	925.000 ks/kg (pcs/kg)


Obrázek 28 Obrázek složení velikosti zrna abraziva WS 230.

- SM130 – směs granulátu a drti,
- S280 – granulát ekvivalentní jako aktuálně užívané abrazivo WS 230,

S280	All Pass No. 16 Screen.....	.0469 - 1.18	
	5% Max on No. 18 Screen.....	.0394 - 1.00	
	85% Min on No. 25 Screen....	.0278 - 0.710	
	96% Min on No. 30 Screen....	.0234 - 0.600	

Obrázek 29 Obrázek složení velikosti zrna abraziva S 280.

- MG40 – Drť,

G40	All Pass No. 18 Screen.....	.0394 - 1.00	
	70% Min on No. 40 Screen....	.0165 - 0.425	
	80% Min on No. 50 Screen....	.0117 - 0.300	

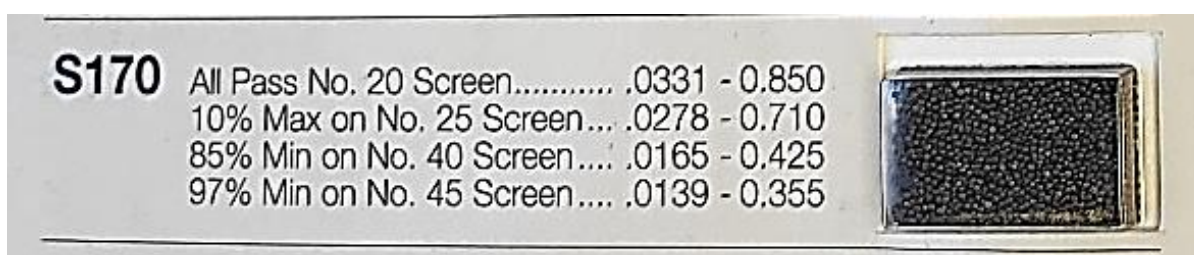
Obrázek 30 Obrázek složení velikosti zrna abraziva MG 40.

- S230/MG40 - směs granulátu a drti,



Obrázek 31 Obrázek složení velikosti zrna abraziva S230.

- S170/MG40 - směs granulátu a drti v poměru 34:66.



Obrázek 32 Obrázek složení velikosti zrna abraziva S170.

Tabulka 4 tabulka parametrů abraziva WS230

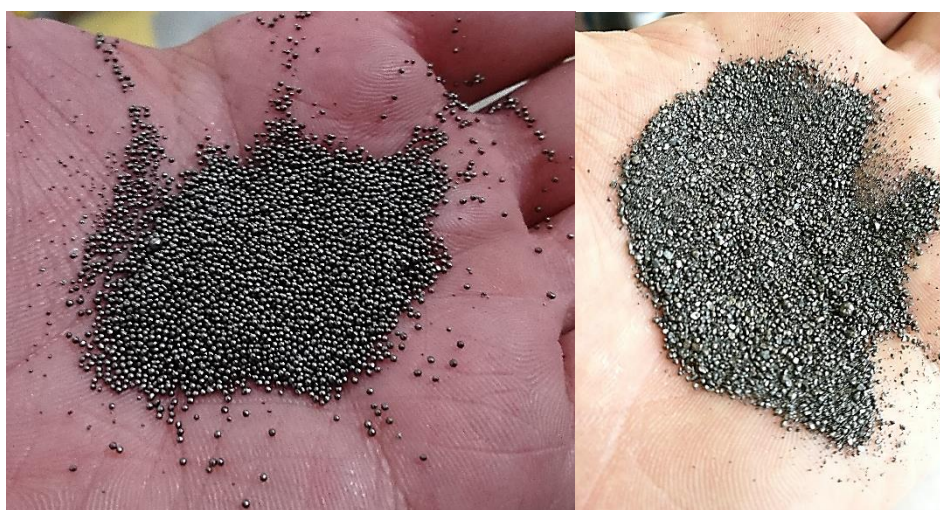
třída	kulaté
kód produktu	WS230
tvrdost	46–51 HRc
hustota	7000 Kg/m ³
chemické složení	C 0,85-1,2 % - Si 0,4-1,2 % - 0,6 % ≤ Mn ≤ 1,2 % - S ≤ 0,05 % - P ≤ 0,05 %
tvar	granulát

Tabulka 5 tabulka parametrů abraziva SM130

třída	směs Stainium
název produktu	stainium 130
kód produktu	SM130
tvrdost	47–56 HRc
hustota	7500 Kg/m ³
chemické složení	C ≥ 0,85 % - Si ≥ 0,4 % - 0,6 % ≤ Mn ≤ 1,2 % - S ≤ 0,05 % - P ≤ 0,05 %
tvar	směs drtě a granulátu

Tabulka 6 Seznam testovaných vzorků a nastavení tryskových parametrů.

abrazivo	vzorek číslo	otáčky [1/min]	čas [s]	rychlost abraziva [m/s]
WS 230	1	2770	90	68
SM 130	2	2650	90	68
	3	1800	60	42
	4	2700	60	63
	5	3150	60	73
S280	6	2350	90	68
S 230/MG 40	7	2350	90	68
MG40	8	2000	90	68
	9	1750	90	58
S 170 34%/MG 40 66%	10	2350	90	68
	11	2000	90	58



Obrázek 33 abrazivo (vlevo) WS230; (vpravo) stainium SM130.



Obrázek 34 abrazivo (vlevo) směs 50 % S230 + 50 % MG40 (vpravo) směs 34 % S170 + 66 % MG40

"The World's Standard for Quality."

S.A.E SPECIFICATIONS FOR SHOT AND GRIT SCREENINGS

SAE Size No.	SAE J444 SHOT Tolerances	Screen Opening In-mm	SAE Size No.	SAE J444 GRIT Tolerances	Screen Opening In-mm
S780	All Pass No. 7 Screen.....	1110 - 2.80	G10	All Pass No. 7 Screen.....	1110 - 2.80
	85% Min on No. 10 Screen.....	.0787 - 2.00		80% Min on No. 10 Screen.....	.0787 - 2.00
	97% Min on No. 12 Screen.....	.0661 - 1.70		90% Min on No. 12 Screen.....	.0661 - 1.70
S660	All Pass No. 8 Screen.....	.0937 - 2.36	G12	All Pass No. 8 Screen.....	.0937 - 2.36
	85% Min on No. 12 Screen.....	.0661 - 1.70		80% Min on No. 12 Screen.....	.0661 - 1.70
	97% Min on No. 14 Screen.....	.0555 - 1.40		90% Min on No. 14 Screen.....	.0555 - 1.40
S550	All Pass No. 10 Screen.....	.0787 - 2.00	G14	All Pass No. 10 Screen.....	.0787 - 2.00
	85% Min on No. 14 Screen.....	.0555 - 1.40		75% Min on No. 14 Screen.....	.0555 - 1.40
	97% Min on No. 16 Screen.....	.0469 - 1.18		90% Min on No. 16 Screen.....	.0469 - 1.18
S460	All Pass No. 10 Screen.....	.0787 - 2.00	G16	All Pass No. 12 Screen.....	.0661 - 1.70
	5% Max on No. 12 Screen.....	.0661 - 1.70		75% Min on No. 16 Screen.....	.0469 - 1.18
	85% Min on No. 16 Screen.....	.0469 - 1.18		85% Min on No. 18 Screen.....	.0394 - 1.00
	96% Min on No. 18 Screen.....	.0394 - 1.00	G18	All Pass No. 14 Screen.....	.0555 - 1.40
S390	All Pass No. 12 Screen.....	.0661 - 1.70		75% Min on No. 18 Screen.....	.0394 - 1.00
	5% Max on No. 14 Screen.....	.0555 - 1.40		85% Min on No. 25 Screen.....	.0278 - 0.710
	85% Min on No. 18 Screen.....	.0394 - 1.00	G25	All Pass No. 16 Screen.....	.0469 - 1.18
	96% Min on No. 20 Screen.....	.0331 - 0.850		70% Min on No. 25 Screen.....	.0278 - 0.710
S330	All Pass No. 14 Screen.....	.0555 - 1.40		80% Min on No. 40 Screen.....	.0165 - 0.425
	5% Max on No. 16 Screen.....	.0469 - 1.18	G40	All Pass No. 18 Screen.....	.0394 - 1.00
	85% Min on No. 20 Screen.....	.0331 - 0.850		70% Min on No. 40 Screen.....	.0165 - 0.425
	96% Min on No. 25 Screen.....	.0278 - 0.710		80% Min on No. 50 Screen.....	.0117 - 0.300
S280	All Pass No. 16 Screen.....	.0469 - 1.18	G50	All Pass No. 25 Screen.....	.0278 - 0.710
	5% Max on No. 18 Screen.....	.0394 - 1.00		65% Min on No. 50 Screen.....	.0117 - 0.300
	85% Min on No. 25 Screen.....	.0278 - 0.710		75% Min on No. 80 Screen.....	.0070 - 0.180
	96% Min on No. 30 Screen.....	.0234 - 0.600	G80	All Pass No. 40 Screen.....	.0165 - 0.425
S230	All Pass No. 18 Screen.....	.0394 - 1.00		65% Min on No. 80 Screen.....	.0070 - 0.180
	10% Max on No. 20 Screen.....	.0331 - 0.850		75% Min on No. 120 Screen.....	.0049 - 0.125
	85% Min on No. 30 Screen.....	.0234 - 0.600	G120	All Pass No. 50 Screen.....	.0117 - 0.300
	97% Min on No. 35 Screen.....	.0197 - 0.500		60% Min on No. 120 Screen.....	.0049 - 0.125
S170	All Pass No. 20 Screen.....	.0331 - 0.850		70% Min on No. 200 Screen.....	.0029 - 0.075
	10% Max on No. 25 Screen.....	.0278 - 0.710			
	85% Min on No. 40 Screen.....	.0165 - 0.425			
	97% Min on No. 45 Screen.....	.0139 - 0.355			
S110	All Pass No. 30 Screen.....	.0234 - 0.600			
	10% Max on No. 35 Screen.....	.0197 - 0.500			
	80% Min on No. 50 Screen.....	.0117 - 0.300			
	90% Min on No. 80 Screen.....	.0070 - 0.180			
S70	All Pass No. 40 Screen.....	.0165 - 0.425			
	10% Max on No. 45 Screen.....	.0139 - 0.355			
	80% Min on No. 80 Screen.....	.0070 - 0.180			
	90% Min on No. 120 Screen.....	.0049 - 0.125			

ERVIN INDUSTRIES

Ervin Industries, Inc. • P.O. Box 1168 • Ann Arbor, MI 48106-1168
 Toll Free: 800-748-0055 • Telephone: 734-769-4600 • Fax: 734-663-0136
www.ervinindustries.com

Screen Opening Sizes and Screen Numbers with Max and Min Cumulative Percentages Allowed on Corresponding Screens. ASTM E-11 and ISO 565 Test Sieves.

Obrázek 35 Vzorník abrazivního materiálu

Interní norma Doosan Bobcat EMEA PS-102

Jako většina podniků i Bobcat se řídí interními normami, které se dále odkazují na certifikované normy ISO. Většina ze zkoušek a testování v této práci se primárně řídí interní normou PS-102, ale pokud není v normě něco specifikováno, pokračuje se podle norem ISO.

Tato norma se výhradně zaměřuje na povrchové úpravy a udává, jaké minimální tloušťky se musí dodržovat v případě tříd kvality povlaku, jestli se jedná o pohledový díl, nebo díl zakrytý, viditelný například při servisu, který tedy není vystaven UV záření. Tyto třídy kvality se rozdělují do tříd A–F s tím, že A = pohledový díl a F - díl není vystavený UV záření a viditelný pouze při servisních operacích. Dále norma určuje hodnotu odlesku výsledného povlaku, přesně charakterizuje odstíny barev, či popisuje toleranci defektů.

Tryskací zařízení v Doosan Bobcat EMEA Dobříš

Popis stroje:

Jedná se o typ stroje - závěsné tryskací zařízení – průběžné (průchozí)

Každá funkce stroje je nezávisle kontrolována a řízena programovou sekvencí. Poté co je obsluhou navěšen opracovávaný předmět, je podvěsným dopravníkem (Power&Free) přenesen do stroje, jehož otvory jsou kryty gumovými clonami a posuvnými dveřmi. Filtrační jednotka a elevátor jsou již v provozu, protože většinou se spouštějí na začátku každé směny stiskem tlačítka start.

Obsluha zvolí předem definovaný program pro každý díl pomocí načtení QR kódu před odesláním do linky. Kontrolka ukazuje, kdy je který motor v provozu, a poté co dosáhne metací kolo maximální rychlosti, je otevřen přívod abraziva a kontrolka indikuje, že abrazivo proudí ze zásobníku na kolo. Na konci nastaveného času se tryskání automaticky zastaví a doba trvání cyklu je zaznamenána na počítadle. Motor kola je také automaticky zastaven, poté co je zastaven přívod abraziva a kontrolka na ovládacím panelu signalizuje konec každého pracovního cyklu. V dalším kroku se automaticky otevírají dveře do místnosti, kde se ofukuje usazené abrazivo, či je možno ruční dotryskávání zastíněných míst, kam se nedostane abrazivo z metacích kol.



Obrázek 36 Tryskací zařízení ve firmě Doosan Bobcat TOR16x23/12W1E

Tabulka 7 Technické parametry tryskacího zařízení

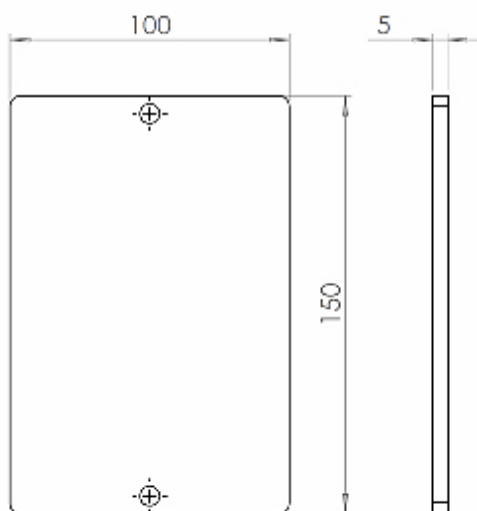
Počet kol	12	ks
Typ kola	W1E	
Průměr kola	364	mm
Otáčky kola	2 900	rpm
Průchod abraziva na kolo	210	$kg \cdot min^{-1}$
Počáteční dávka abraziva	11 000	kg
Nosnost dopravníku	1 600	kg/traverza
Max. Velikost předmětu šířka x výška	1300x2600	mm
Max. Délka předmětu	6 000	mm
Vyprodukované množství vzduchu	13 500	$m \cdot h^{-1}$
Spotřeba stlačeného vzduchu (6 bar)	1 023,5	$Nm^3 \cdot min^{-1}$

Tabulka 8 Instalovaný výkon

Turbíny	12x15	kW
Ventilátor	2x5,5	kW
Elevátor	15,00	kW
Šrouby	18,10	kW
Osvětlení stroje	3,00	kW
Klimatizace	2,50	kW
Vibrační transportér	2x1,6	kW
Posunovací transportér	3x1,5	kW
Celkem instalovaný výkon	237,30	kW

Testovací vzorky

Jedná se o testovací vzorky, na kterých byly všechny druhy abrazivního média zkoušeny. Plechové dílce standardizovaných rozměrů viz Obrázek 37 *Výkres testovaných vzorků*. Tyto dílce byly voleny ze stejného materiálu, ze kterého se vyrábí většina strojů v závodě, tedy z konstrukční oceli S355J0 se starším ekvivalentním označením 11 523. Všechny destičky byly páleny kyslíkovým laserem ve výrobním závodě Doosan Bobcat EMEA.

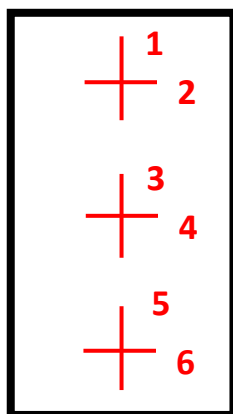


Obrázek 37 *Výkres testovaných vzorků.*

Závislost rychlosti dopravníku na drsnosti povrchu

Experiment slouží ke zjištění závislosti mezi rychlostí průjezdu výrobků tryskací jednotkou a drsností. Byly nastaveny tři hodnoty, a to minimální používaná rychlost $1,6 \text{ m. min}^{-1}$, dále hodnota $2,5 \text{ m. min}^{-1}$ a maximální možná hodnota $3,2 \text{ m. min}^{-1}$. Bylo testováno devět vzorků plechových tabulí, které byly bez předchozí ochrany vystaveny venkovní expozici po dobu 6 měsíců a byla na nich patrná rozsáhlá koroze viz Obrázek 39.

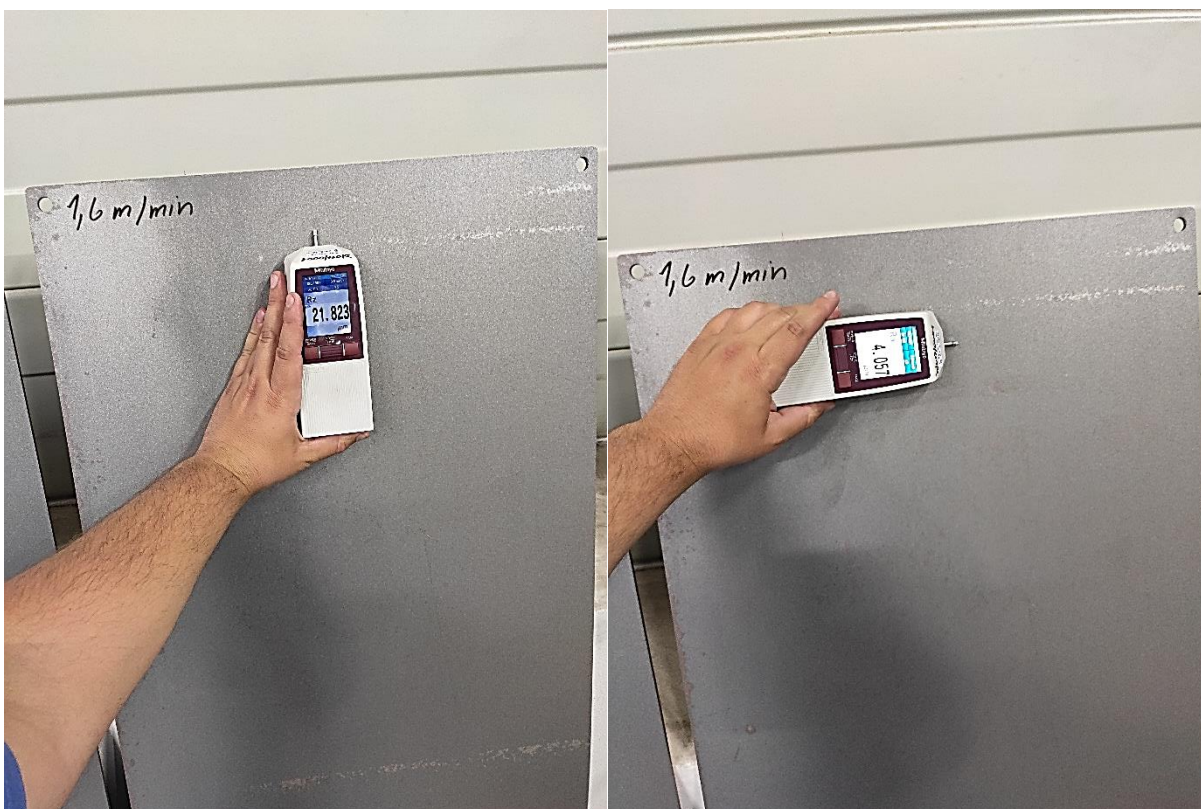
Každou nastavenou rychlostí byly tryskány tři vzorky. Na těchto vzorcích byla měřena drsnost ve dvou vzájemně kolmých směrech, na třech různých místech, viz Obrázek 38, a bylo tedy provedeno šest měření na každém testovaném plechu. Z těchto měření byla drsnost povrchu měřena pomocí parametru Ra a Rz. Plechové tabule měly rozměry 2000 x 500 mm.



Obrázek 38 schématické znázornění míst měření drsností.



Obrázek 39 Testované vzorky plechů před vjezdem do tryskací jednotky (vlevo) a po otryskání (vpravo).

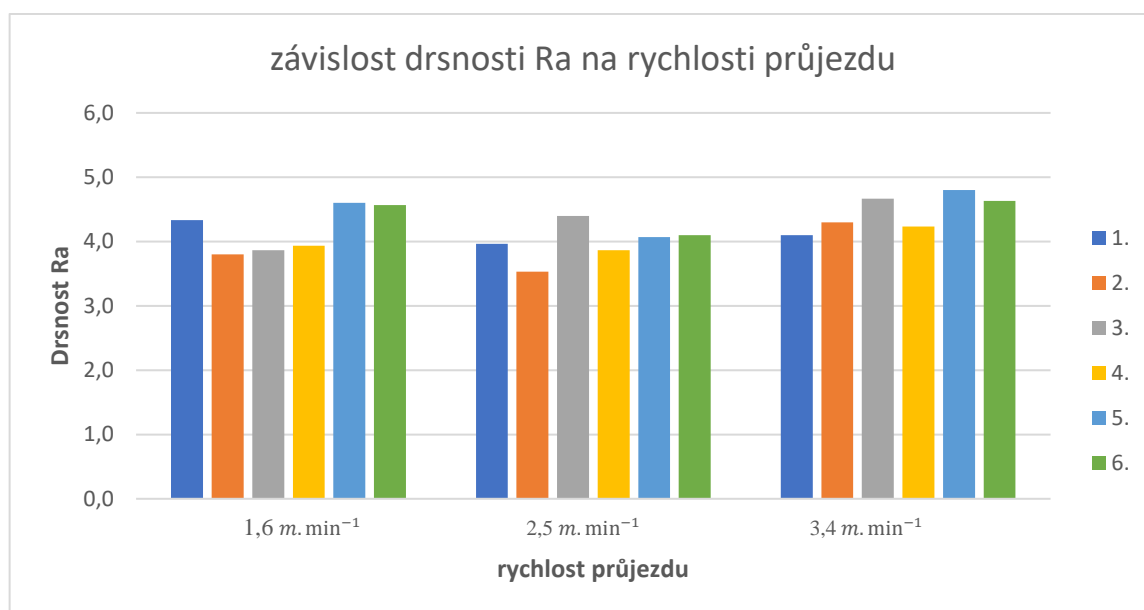


Obrázek 40 Názorné zobrazení měření drsností ve vzájemně kolmém směru.

Dále probíhalo vyhodnocení dle parametru Rz a parametru Ra. Tyto hodnoty jsou znázorněny v Tabulka 9 a promítnuty do Graf 1.

Tabulka 9 drsnost – vyhodnocení metodou Ra.

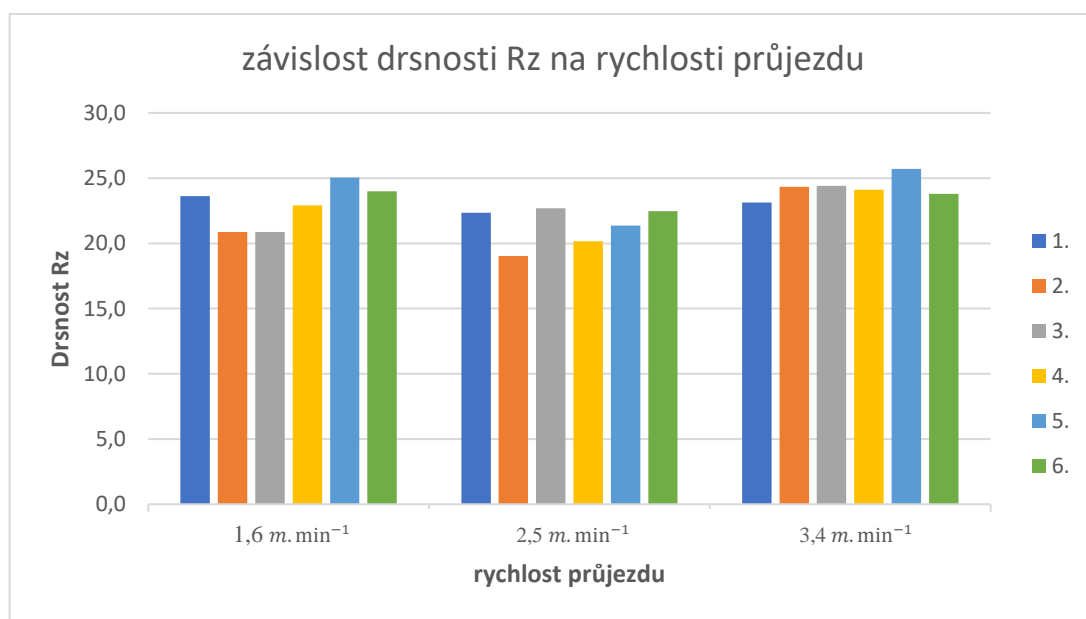
		Drsnost – vyhodnocení metodou Ra						
		vzorek číslo	pozice měření					
			1.	2.	3.	4.	5.	6.
rychlost dopravníku	1,6 $m. min^{-1}$	1	4,4	3,6	3,2	4,2	5,3	4,8
		2	4,2	3,9	4,6	4,0	3,7	4,4
		3	4,4	3,9	3,8	3,6	4,8	4,5
		průměr	4,3	3,8	3,9	3,9	4,6	4,6
	2,5 $m. min^{-1}$	1	3,5	2,3	3,7	4,2	3,8	3,8
		2	5,2	4,0	5,4	4,0	4,3	4,5
		3	3,2	4,3	4,1	3,4	4,1	4,0
		průměr	4,0	3,5	4,4	3,9	4,1	4,1
	3,2 $m. min^{-1}$	1	4,5	5,0	4,0	4,4	4,3	4,6
		2	5,1	4,5	4,8	3,8	4,7	4,6
		3	2,7	3,4	5,2	4,5	5,4	4,7
		průměr	4,1	4,3	4,7	4,2	4,8	4,6



Graf 1 závislost drsnosti Ra na rychlosti průjezdu dopravníku.

Tabulka 10 drsnost – vyhodnocení metodou Rz.

		Drsnost – vyhodnocení metodou Rz						
		vzorek číslo	pozice měření					
			1.	2.	3.	4.	5.	6.
rychlost dopravníku	1,6 <i>m. min⁻¹</i>	1	24,5	19,9	17,5	24,9	29,1	24,1
		2	22,9	21,9	26,1	21,8	21,7	23,1
		3	23,5	20,8	19,0	22,0	24,3	24,8
		průměr	23,6	20,9	20,9	22,9	25,0	24,0
	2,5 <i>m. min⁻¹</i>	1	20,6	12,9	21,0	22,7	21,1	21,9
		2	26,8	20,7	25,6	20,3	22,3	24,2
		3	19,6	23,5	21,5	17,5	20,7	21,3
		průměr	22,3	19,0	22,7	20,2	21,4	22,5
	3,2 <i>m. min⁻¹</i>	1	24,0	26,5	23,1	25,7	24,0	24,8
		2	27,8	25,9	24,8	22,0	23,8	23,3
		3	17,6	20,6	25,3	24,6	29,3	23,3
		průměr	23,1	24,3	24,4	24,1	25,7	23,8



Graf 2 závislost drsnosti Rz na rychlosti průjezdu dopravníku.

Dílčí závěr:

Z naměřených hodnot je patrné, že rychlost nemá vliv na drsnost povrchu v námi zvoleném intervalu posuvu dopravníku. Zvýšená rychlost se může promítnout do čistoty povrchu, nicméně z důvodu nerovnoměrnosti oxidické vrstvy nelze jednoznačně posuzovat.

Kritéria hodnocení

Odtrhová zkouška – ČSN EN ISO 4624

Tato zkouška zkoumá pevnostní charakteristiku přilnavosti nanesených vrstev povlaků vůči sobě či vůči základnímu materiálu. K provedení zkoušky se využívá zařízení zvané odtrhoměr. Samotná zkouška a celý postup jsou popsány ve výše zmiňované normě. V první řadě je potřeba testovaný povrch odmastit a zbavit nečistot, poté se povrch zdrsňuje brusným papírem a aplikuje se tenká vrstva dvousložkového lepidla. Na nanesené lepidlo se umístí zkušební terčič, který je poté ponechán minimálně 24 hodin do potřebného vytvrzení. Po uplynutí minimální vytvrzovací doby je v okolí terčiču standardizovaným nástrojem proříznuta vrstva až na základní materiál, a to z důvodu odstranění testovaného místa od zbytku povlaku a zároveň odstranění přebytečného lepidla. V posledním kroku se připevní na terčič odtrhoměr a postupným zatěžováním v podobě zvyšování tlaku se terčič s povlakem utrhne a odečte se tlak vynaložený k oddělení vrstvy. Maximální zaznamenaný tlak na odtrhoměru je považován za přilnavost povlaku. Tato hodnota nicméně není rozhodující parametr, další ze zkoumaných parametrů je charakter odtrhové plochy, kde je vyhodnoceno procentuální porušení mezi jednotlivými vrstvami.

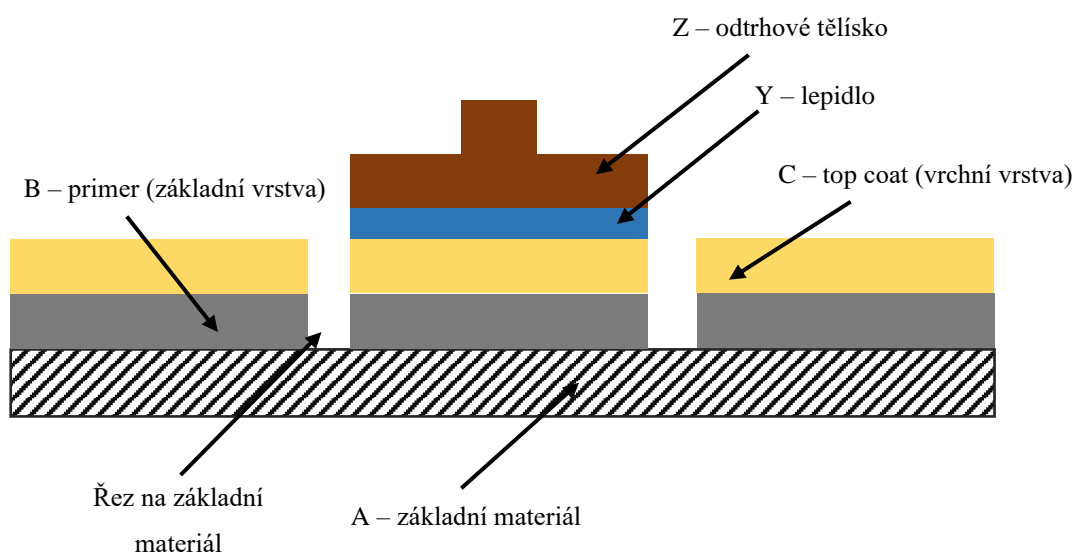


Obrázek 41 Odtrhové zařízení COMTEST® OPI

Při vyhodnocování byly pořizovány fotografie za pomoci lupy, viz Obrázek 42, a tedy expozice odtrhové plochy je 10x zvětšena.



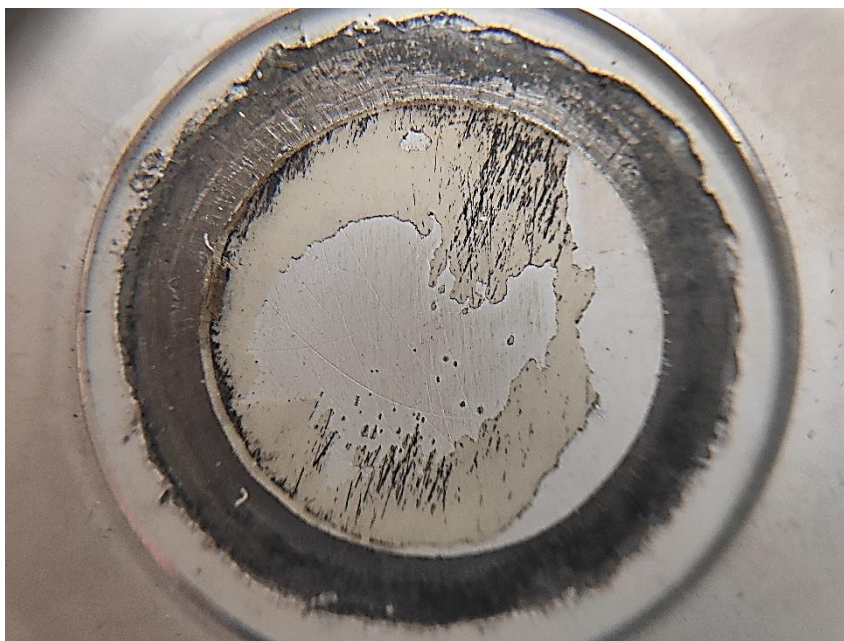
Obrázek 42 Lupa pro zvětšení vyhodnocení odtrhové zkoušky



Obrázek 43 schéma odtrhové zkoušky.

Tabulka 11 Tabulka odtrhové zkoušky.

abrazivo	vzorek číslo	odtrhová síla [MPa]	porušení %			
			C/Y	Y/Z	B/C	A/B
WS 230	1	7,92	18	82	0	0
SM 130	2	3,72	57	43	0	0
	3	6,38	26	74	0	0
	4	4,07	51	49	0	0
	5	8,67	9	91	0	0
S280	6	4,9	28	72	0	0
S 230/MG 40	7	5,52	2	98	0	0
MG40	8	5,98	74	26	0	0
	9	7,74	93	7	0	0
S 170 34%/MG 40 66%	10	5,39	29	71	0	0
	11	3,72	3	97	0	0



Obrázek 44 Příklad plochy odtrhu u jednoho ze vzorků.

Dílčí závěr:

Při odtrhové zkoušce se vyhodnocuje v první řadě síla odtrhu. Pokud nedojde k porušení nanesených vrstev (v našem případě primer a topcoat – práškové plasty) a odtrh proběhne pouze mezi zkušebním tělískem (terčíkem) a lepidlem, tedy dojde pouze k porušení vrstvy lepidla, znamená to, že otryskaný povrch splnil požadavky na dostatečně kotvící profil. Na porušení mezi lepidlem a horní vrstvou práškových plastů už v našem případě nemá drsnost povrchu vliv. Vliv má pórovitost vrstvy, která není v této práci zkoumána. Všechna abrazivní média utvořila povrch, který vyhověl požadavkům.

Zkouška v solné mlze – ČSN EN ISO 9227

Tato zkouška v našem případě nese největší kriteriální váhu. Zkouška v umělé atmosféře, tedy v neutrální solné mlze, představuje urychlený proces koroze materiálu. Zkouška probíhá v zařízení zvaném solná komora, v našem případě zařízení značky Liebisich CONSTAMATIC. Je velice obtížné najít ekvivalentní čas expozice v solné komoře k času v běžné atmosféře, proto tato zkouška není brána obecně jako rozhodující kritérium korozní odolnosti, nicméně v našem případě se jedná o nejdůležitější aspekt.

Zkouška probíhá tak, že jsou testované vzorky umístěny do prostoru komory takovým způsobem, aby se vzájemně nedotýkaly a nebyly ve směru proudění trysek vpravujících roztok.

Před vložením se do vzorků provede normalizovaný vryp dle normy „ČSN EN ISO 17872“, viz Obrázek 45. Tato norma definuje tři prostředí, ve kterých expozice probíhá:

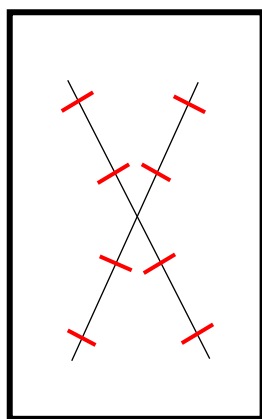
- **Solná mlha v neutrálním roztoku chloridu sodného (NSS)** – vhodné pro kovové materiály a jejich slitiny. Dále se využívá k testování konverzních, kovových povlaků či organických povlaků na kovových podkladech. Výše zmiňované zařízení značky Liebisch CONSTAMATIC je uzpůsobeno pouze pro tento typ solné mlhy.
- **Solná mlha okyseleného roztoku chloridu sodného (AASS)** - je zvláště užitečná pro testování dekorativních povlaků mědi + niklu + chromu nebo niklu + chromu. Bylo také zjištěno, že je vhodná pro testování anodických a organických povlaků na hliníku.
- **Solná mlha okyseleného roztoku chloridu měďnatého (CASS)** – stejné využití jako prostředí AASS. [47]

Norma nedefinuje čas, po který by měly být vzorky vystaveny působení solné mlhy, a proto byly stanoveny hodnoty 500 h, 750 h a 1000 h, které vycházejí z interní normy Bobcat standard PS-102. Po dovršení konkrétní doby v solné komoře se nechají vzorky oschnout, dále jsou opláchnuty vodou z řádu a vyhodnoceny dle norem ČSN EN ISO 4628-2 (Hodnocení stupně puchýřkování), ČSN EN ISO 4628-3 (Hodnocení stupně prorezavění) a ČSN EN ISO 4628-8 (Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu).



Obrázek 45 Šablona k provedení křížového řezu před vkládáním do solné komory.

Na obrázku je vidět šablona, podle které je proveden řez X, a poté je vzorek umístěn do prostoru solné komory.



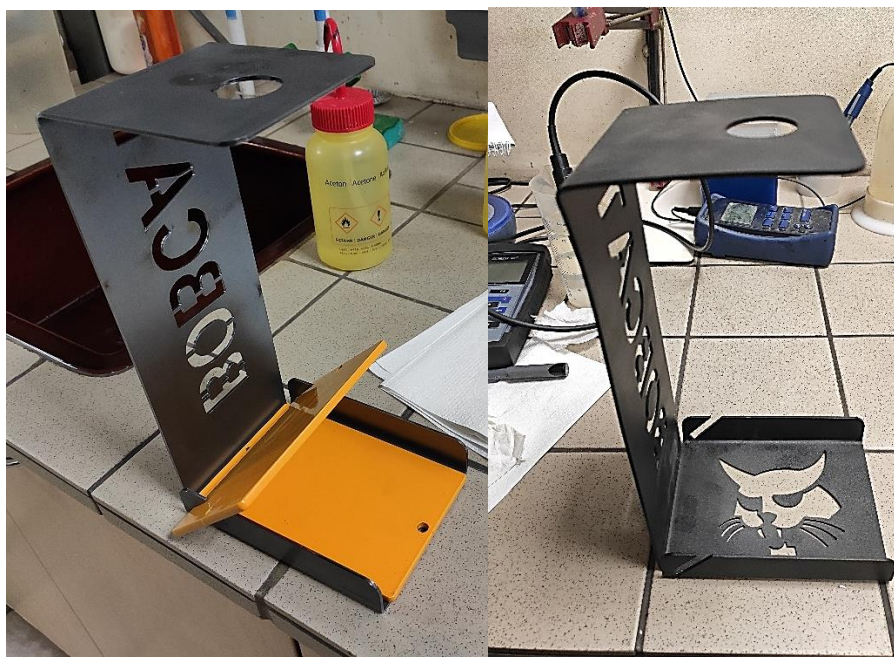
Obrázek 46 Znáznornění měření delaminace po vyhodnocení zkoušky v solné mlze.

Na obrázku je znázorněno vyhodnocení vzorků, které prošly předepsanou dobou expozice v solné mlze. Tyto vzorky jsou dále dle normy opláchnuty, mechanicky namáhány, a poté byla měřena velikost delaminace. Delaminace byla měřena v osmi místech znázorněných na Obrázek 46. Následovně byla vyhodnocena největší, nejmenší a průměrná delaminace.



Obrázek 47 Zařízení (solná komora) značky Liebisht CONSTAMATIC

Vyhodnocení a následné pořízení snímku bylo provedeno na stojanu sestrojeném pro tyto účely. Tento stojan viz Obrázek 48, je využíván ve firmě Doosan Bobcat.



Obrázek 48 Stojan pro pořizování snímků pro zkoušku v solné mlze.

Tabulka 12 Výsledky korozní zkoušky při expozici 500 h.

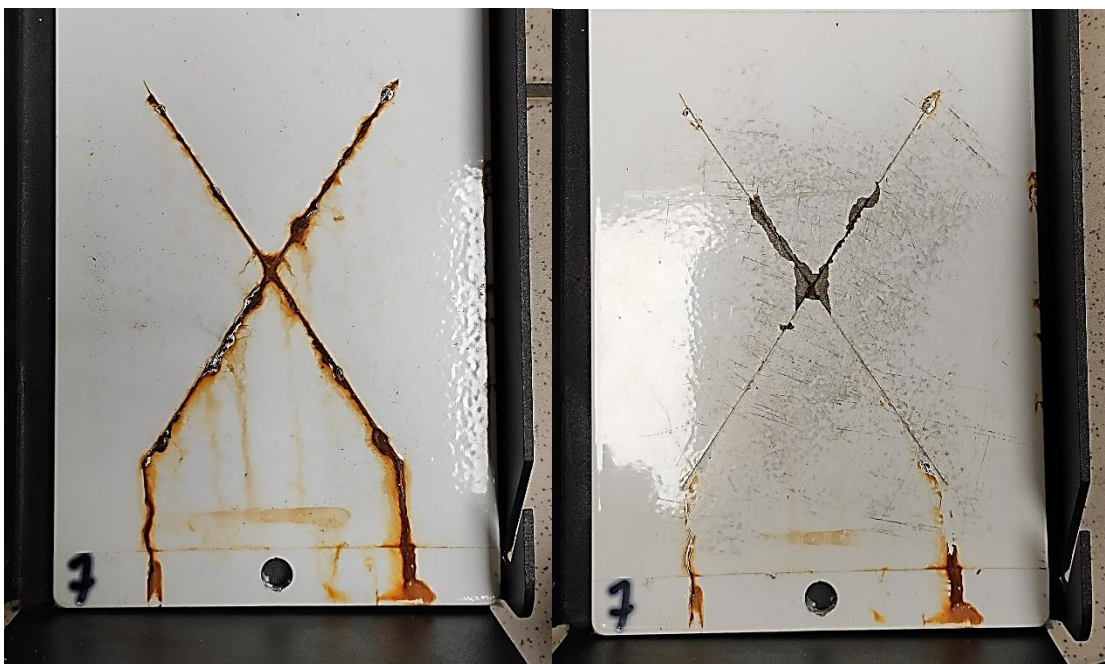
délka expozice [hod]	abrazivo	vzorek číslo	Stupeň puchýřování	Delaminace
			ČSN EN ISO 4628-2	mm (od-do-prům)
500	WS230	1	0(S0)	0-0-0
500	SM130	2	0(S0)	0-0-0
500		3	0(S0)	0-1,5-0,4
500		4	0(S0)	0-1-0,3
500		5	0(S0)	0-0-0
500		S280	6	0(S0)
500	S230/MG40	7	0(S0)	0-0-0
500	MG40	8	0(S0)	0-0-0
500		9	0(S0)	0-0-0
500	S170 34%/MG40 66%	10	0(S0)	0-0-0
500		11	0(S0)	0-0-0

Tabulka 13 Výsledky korozní zkoušky při expozici 750 h.

délka expozice [hod]	abrazivo	vzorek číslo	Stupeň puchýřování	Delaminace
			ČSN EN ISO 4628-2	mm (od-do-prům)
750	WS230	1	0(S0)	0-0-0
750	SM130	2	0(S0)	0-0-0
750		3	0(S0)	0-3-0,6
750		4	0(S0)	0-2-0,2
750		5	0(S0)	0-2-0,4
750		S280	6	0(S0)
750	S230/MG40	7	0(S0)	
750	MG40	8	0(S0)	
750		9	0(S0)	
750	S170 34%/MG40 66%	10	0(S0)	
750		11	0(S0)	

Tabulka 14 Výsledky korozní zkoušky při expozici 1000 h.

délka expozice [hod]	abrazivo	vzorek číslo	Stupeň puchýřování	Delaminace
			ČSN EN ISO 4628-2	mm (od-do-prům)
1000	WS230	1	0(S0)	0-0-0
1000	SM130	2	0(S0)	0-0-0
1000		3	0(S0)	0-12-3
1000		4	0(S0)	0-6-2
1000		5	0(S0)	0-9-2,1
1000		S280	6	0(S0)
1000	S230/MG40	7	0(S0)	
1000	MG40	8	0(S0)	
1000		9	0(S0)	
1000	S170 34%/MG40 66%	10	0(S0)	
1000		11	0(S0)	



Obrázek 49 Příklad vzorku z korozní zkoušky v solné mlze (vlevo) po vytažení z komory, (vpravo) po vyhodnocení.

Dílčí závěr:

Z výsledků v tabulkách je vidět, že aktuální abrazivo WS 230 nevykazuje žádné delaminace, stejně tak jako abrazivo SM 130 vzorek 2. Ostatní volené nastavení abraziva SM 130 dopadla hůře, protože byly patrné značné delaminace v okolí řezu X. Vzorky s označením 6-11 po vyhodnocení nevykazovaly žádné delaminační poruchy.

Bohužel vzorky abraziv 6–11 s expozicí v solné komoře 750 hodin a 1000 hodin nebylo možné z důvodu COVID-19 situace vložit do komory dostatečně včas, tudíž budou představeny až u obhajoby diplomové práce. V době prezentace práce budou vzorky hotové a budou zařazeny do experimentu.

Měření tloušťky povlaku – ČSN EN ISO 2808

Měření tloušťky povlaku, jež definuje norma ČSN EN ISO 2808 proběhlo pomocí přístroje Elcometer 456. Tento přístroj dokáže z naměřených hodnot vypočítat průměrnou tloušťku povlaku, zobrazit maximální či minimální hodnotu, vypočítat směrodatnou odchylku, anebo

variační koeficient. Další z užitečných funkcí je automatické rozpoznání kovového materiálu, a tedy přepínání mezi feromagnetickým a neferomagnetickým režimem. Tato metoda patří mezi nedestruktivní měření tloušťky povlaku. Vyhodnocení probíhá prakticky okamžitě a po naměření několika hodnot, které se ukládají do paměti zařízení, je zobrazena aktuální hodnota všech výše zmiňovaných hodnot. Elcometer 456 využívá magnetoinduktivní metodu snímání tloušťky povlaků.

Přístroje na měření tloušťky neboli tloušťkoměry se dělí do 3 skupin a těmi jsou:

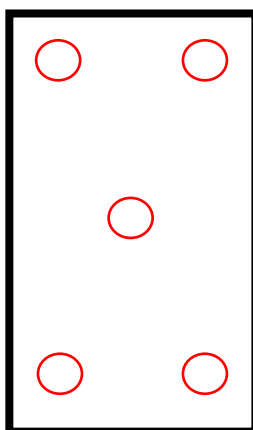
- **Metoda vířivých proudů** – využívána na nemagnetické, nicméně vodivé materiály. Na druhou stranu povlaky musí být nevodivé. Největší uplatnění nachází při měření povlaků na barevné kovy.
- **Magnetoinduktivní metoda** – využívána na magnetické materiály, převážně na železné materiály. Měřený povlak musí být nemagnetický. V průmyslovém strojírenství nejběžnější.

Ultrazvuková metoda – tato metoda je nejuniverzálnější a lze ji aplikovat na téměř všechny druhy materiálu. Jak už název napovídá, funguje na principu ultrazvukového rozeznávání rozhraní materiálů, tedy není závislá na vodivosti či magnetismu. Nevýhodou je vyšší cena, a proto se užívá tam, kde se nedají využít předchozí metody anebo je sortiment měřeného materiálu tak rozmanitý, že se nevyplatí mít obě předchozí zařízení. [46]

Na testovaných vzorcích byla tloušťka povlaku měřena pokaždé pěti body znázorněnými na obrázku, viz Obrázek 51. Z naměřených hodnot byl vypočten aritmetický průměr a tato hodnota byla brána jako referenční hodnota tloušťky povlaku konkrétního vzorku. Hodnoty byly získány přiložením sondy kolmo k povrchu a dle postupů popsanych ve výše zmiňované normě.



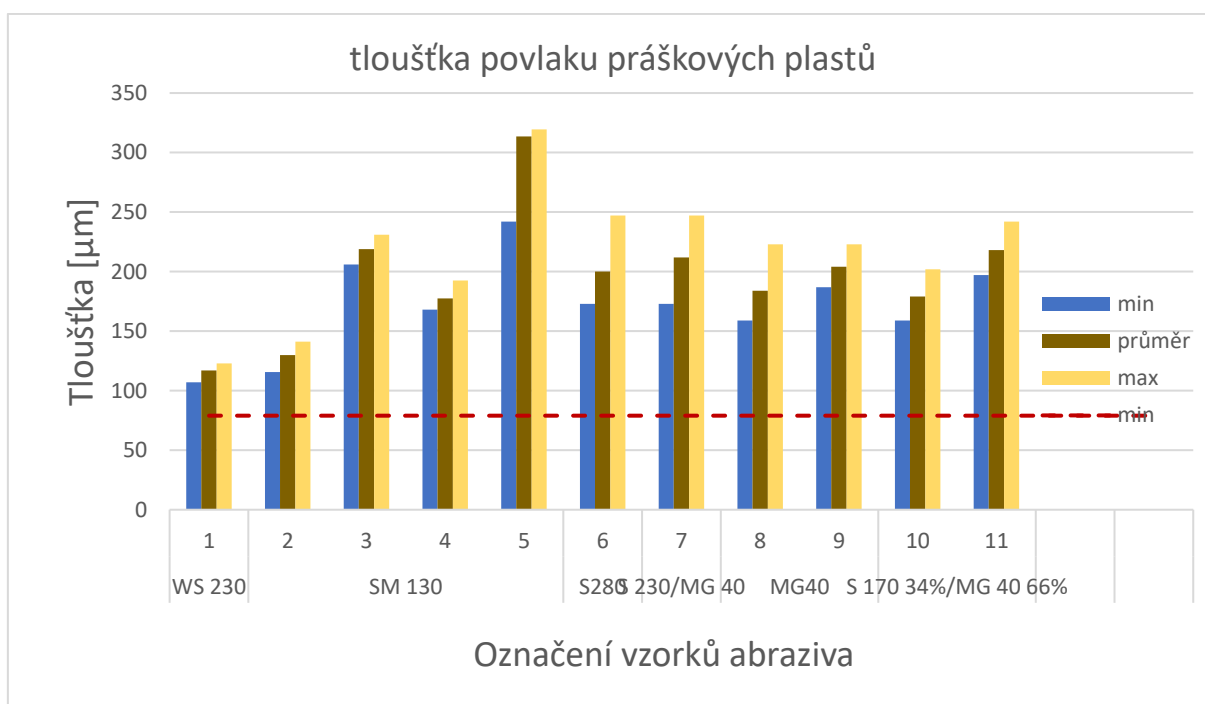
Obrázek 50 Tloušťkoměr Elcometer 456.



Obrázek 51 Znáznornění umístění sondy na testovaných vzorcích.

Tabulka 15 naměřené tloušťky povlaků.

vzorek číslo	tloušťka povlaku [μm]		
	min	průměr	max
1	107	117	123
2	116	130	141
3	206	219	231
4	168	178	193
5	242	314	320
6	173	200	247
7	173	212	247
8	159	184	223
9	187	204	223
10	159	179	202
11	197	218	242



Graf 3 naměřená tloušťka povlaku

Dílčí závěr:

Měření tloušťky povrchu je zkouška spíše informativní a na samotný tryskaný povrch nemá v našem případě vliv. Pouze pokud by byla na některém vzorku naměřena tloušťka nižší, než je povolená mez stanovená Bobcat standard normou, pak by tento vzorek nemohl být brán jako validní a musel by být vyřazen z testu. Z grafu je patrné, že tloušťka není pokaždé stejná, toto je zapříčiněno tím, že práškovou barvu nenanáší stroj, nýbrž lidé. Proto může být rozdíl

způsoben například jinou směnou lakýrníků. Každopádně tloušťka povrchu všech vzorků byla nad minimální požadovanou tloušťkou, a tedy vyhovující.

Měření drsnosti povrchu

Měření povrchu probíhalo vždy na všech vzorcích a ve dvou vzájemně kolmých směrech, tyto hodnoty byly zprůměrovány a dosazeny do následující tabulky a vyneseny do grafu.

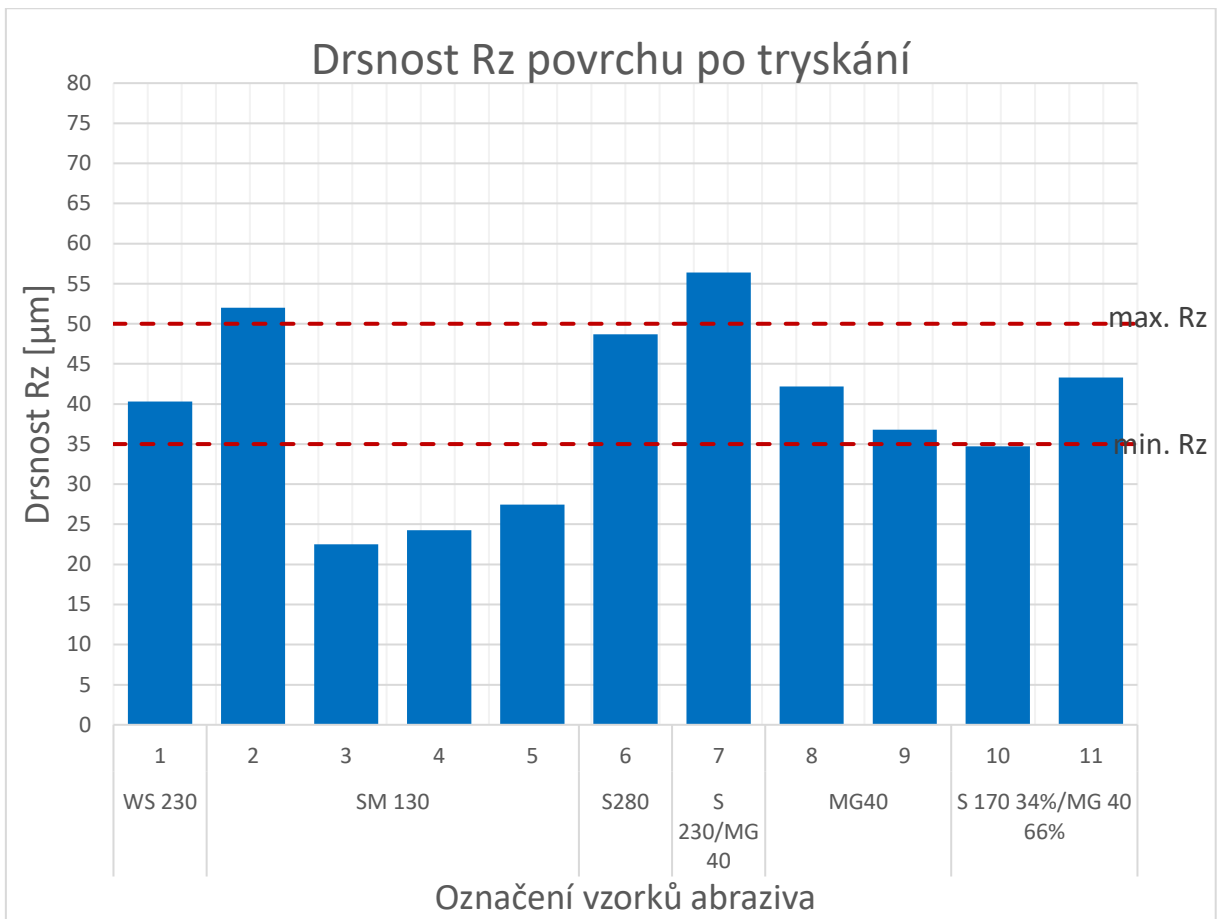
Zvolené metody vyhodnocení byly:

- Ra – střední aritmetická hodnota drsnosti,
- Rz – střední hloubka drsnosti,
- R_{pc} – počet výstupků.

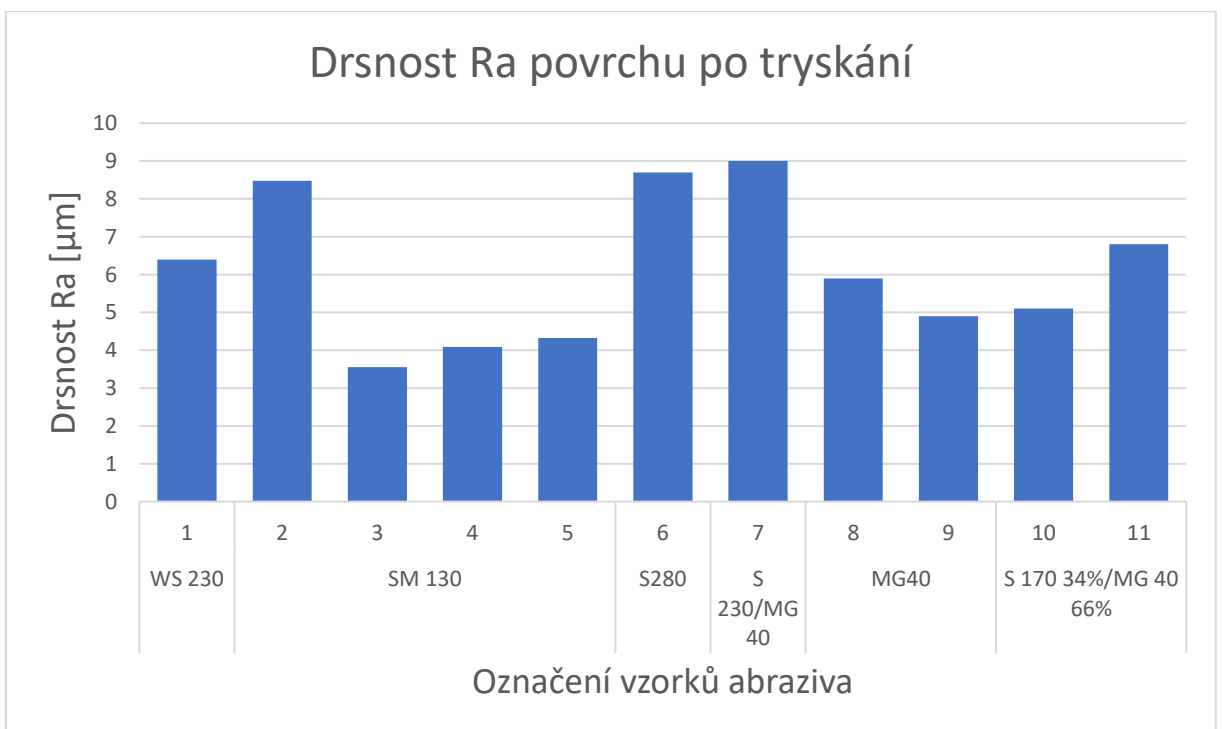
V našem výzkumu je nejdůležitější parametr Rz, tedy střední hloubka drsnosti. Tento parametr může alespoň orientačně napovědět, jaké množství nátěrové hmoty bude potřeba v dalších krocích nanést. V první řadě se jedná o takzvanou „mrtvou tloušťku“, což je tloušťka vrstvy, která se musí nanést, aby se zakryly všechny nerovnosti způsobené tryskáním. Jinými slovy, tloušťka vrstvy musí sahat až po nejvyšší výstupek z měřené drsnosti. Dále se nanáší vrstva, která má stálou tloušťku a funkční charakter. V případě přesného výpočtu spotřeby nátěrové hmoty na 1 m² se dělá otisk povrchu, ze kterého program vyhodnotí 3D mapu a spočítá potřebné množství nátěrové hmoty.

Tabulka 16 Neměřené hodnoty drsností povrchu po otryskání.

abrazivo	vzorek číslo	drsnost	
		Ra [μm]	Rz [μm]
WS230	1	6,4	40,3
SM130	2	8,5	52,0
	3	3,6	22,5
	4	4,1	24,3
	5	4,3	27,5
S280	6	8,7	48,7
S 230/MG 40	7	9,0	56,4
MG40	8	5,9	42,2
	9	4,9	36,8
S170 34%/MG40 66%	10	5,1	34,7
	11	6,8	43,3



Graf 4 drsnost Rz povrchu po tryskání.



Graf 5 Drsnost Ra povrchu po tryskání.

Dílčí závěr:

Z měření a následně z Graf 4 je patrné, že tryskáci materiál označený SM130, tedy vzorky 2-5, nesplňují základní požadavky na drsnost povrchu, stejně tak materiál S280 (vzorek 6) a směs S230 s MG40 (vzorek číslo 7). Vzorek číslo 10 se pohybuje těsně pod minimální hranicí drsnosti Rz. Tyto hodnoty jsou stanoveny interní normou Bobcat standard. Nejlépe ze zkoušky vyšly vzorky tryskané abrazivem WS230 spolu se vzorky číslo 8 (MG40) a 11 (směs S170 a MG40). Drsnost těchto vzorků se pohybovala ideálně v předepsaném poli intervalu drsnosti Rz.

Hrany

Zkouška kontroly hran nepatří mezi běžné zkoušky nátěrových hmot. Zkouška probíhala stejným způsobem jako zkouška v solné mlze, jen s tím rozdílem, že vzorky nebyly nařezány křížovým řezem X. Po stanovené expoziční době (v našem případě se jednalo o 500 h, 750 h a 1000 h) byly vzorky vytaženy a hodnocen byl pouze stav hran.

Na obrázku (Obrázek 52) je ukázka vzorku s okujemi a ostrou hranou před vstupem do tryskáčeho zařízení a po otryskání. Toto srovnání probíhalo později pod mikroskopem, nicméně nebylo možné najít kritérium, podle něhož rozhodnout, které abrazivo vytvoří nejideálnější profil hrany. Bylo možné pouze pozorovat, zdali byly okuje odstraněny, a to ve všech případech byly. Z tohoto důvodu jsme museli přejít na zkoušku v solné mlze a zde se nám ukázalo, jakou je abrazivo schopné vytvořit strukturu hrany. Díky členitosti hrany docházelo k tomu, že některé vzorky měly výstupky vyčnívající skrz nanesenou práškovou barvu, a tím pádem v solné mlze viditelně korodovaly.



Obrázek 52 Příklad hrany s okujemi před (vlevo) a po otryskání bez okují (vpravo).



Obrázek 53 Příklad vzorku vytaženého ze solné komory (vlevo) a vyhodnocení hrany (vpravo).

Dílčí závěr:

Vzorky tryskané médiem SM 130 (vzorky číslo 2) před nanesením práškových plastů vizuálně i pod mikroskopem působily jako nejideálněji otryskané. Hrany se jevíly zakulacené, což je žádaný předpoklad pro nanášení pomocí elektrostatického nanášení práškových plastů. Povrch na první pohled taktéž působil dojmem ideálně otryskaného. Nicméně měření drsnosti povrchu bylo mimo toleranční pole, viz Graf 4 drsnost Rz povrchu po tryskání. Dále po nanesení práškových plastů a provedení zkoušky v solné mlze byla patrná velice zkorodovaná místa přímo na hraně, která s sebou nesla podkorodování velké části boční strany (tloušťky) vzorků. Hrana navzdory správnému tvaru po otryskání vykazovala velké množství ostrých výčnělků, které byly s největší pravděpodobností způsobeny ostrými tvary abraziva. Tento fakt pro nás byl klíčový k rozhodnutí a prohlášení, že médium SM 130 není v našem případě vhodné.

Ostatní vzorky se s tímto problémem nepotýkaly a nebylo u nich patrné větší množství koroze.

Finanční náklady abraziva

Finanční stránka je vždy velice významný aspekt a často vyhraje levnější položka i navzdory tomu, že existuje dražší a lepší položka. Proto je velice důležité si obhájit a odůvodnit koupi dražšího (např. materiálu). V dnešní době je vše tlačeno finančními odděleními ve firmách na co nejnižší možnou úroveň i za cenu hraniční kvality. Nicméně jak se přesvědčíme výsledkem celé práce, nemusí vždy dražší znamenat více vyhovující. Občas se může jednat o zbytečně vysokou kvalitu, která s sebou většinou nese i vyšší cenu. Toto je samozřejmě problém, který je potřeba si odůvodnit, zdali je to opravdu nezbytné, tedy je důležité zvážit i tento aspekt.

Veškeré ceny byly vztaženy pro měsíc červenec roku 2020. K těmto cenám byl připočten šrotovný poplatek, který ačkoliv se většinou neudává k ceně abraziva, tak je nedílnou přírůžkou k nákupu. Šrotovný poplatek má každá firma obchodující s abrazivem trochu jiný a každým měsícem se poplatek liší, jedná se o službu zprostředkovanou dodavatelem, která zahrnuje odvoz a likvidaci použitého znehodnoceného abraziva. Některé z hodnot byly přepočítány na české koruny z eura přepočtem „1,- euro rovná se 26,40,- českých korun“. Náklady jednotlivých druhů abraziv jsou znázorněny v Tabulka 17.

Tabulka 17 tabulka srovnání ceny abraziva.

abrazivo	vzorek číslo	cena [Kč/t]	šrotovné [Kč/t]	celkem [Kč]
WS230	1	13 200,00	7 144,00	20 344,00
SM130	2	14 000,00	7 144,00	21 144,00
	3	14 000,00	7 144,00	21 144,00
	4	14 000,00	7 144,00	21 144,00
	5	14 000,00	7 144,00	21 144,00
	S280	6	12 249,60	6 230,40
S 230/MG 40	7	12 249,60	6 230,40	18 480,00
MG40	8	12 249,60	6 230,40	18 480,00
	9	12 249,60	6 230,40	18 480,00
S170 34%/MG40 66%	10	14 388,00	6 230,40	20 618,40
	11	14 388,00	6 230,40	20 618,40

Dílčí závěr:

Nejlépe finančně vychází abrazivo S280 (vzorek číslo 6), směs abraziva S230 a MG40 v poměru 1:1 (vzorek číslo 7) a abrazivo MG40 (vzorky číslo 8 – 9). Cena některých abraziv se mohla zvýšit z důvodu dopravy z velké vzdálenosti. Všechny ceny byly počítány na 1 tunu materiálu s dopravou do Dobříše.

Energetická náročnost

Tato kapitola byla nazvána energetická náročnost, i když se nebude jednat pouze o počítání elektrické či jiné energie. Jedná se o srovnání energetického zatížení všech metacích kol v daném tryskacím zařízení, které bylo použito. Srovnání bylo provedeno v myšlence větší energetická náročnost, obnáší vyšší finanční náklady.

Do této kapitoly byl zakomponován i materiální průtok abraziva. Průtok abraziva skrz metací kola, a tedy množství média dopadající na tryskaný povrch. Tento aspekt je těžké srovnávat, a to z důvodu, že některé firmy, ve kterých byl experiment prováděn, neměly stejné podmínky. Nicméně byla snaha přiblížit se podmínkám v závodě Bobcat jinou cestou. Tyto podmínky se snažily napodobit například, limitní maximální rychlost metání abraziva vyřešit zmenšením vzdáleností od metacího kola či délku komory nahradit rychlejším průjezdem.

Další z věcí, které je náročné srovnávat, je fakt, že někdy se jednalo o komorové tryskací jednotky a někdy se jednalo o průchozí jednotku. Tento rozdíl je patrné pozorovat v Tabulka 18: tok abraziva pohybující se v řádech tisíců kilogramů za minutu značí průchozí tryskací

jednotky, kdy je v činnosti více jak jedno metací kolo (WS230 – Dobříš 12 metacích kol), zatímco v případě toku v řádech stovek kilogramů za minutu se jedná o komorové tryskací jednotky, kdy bylo v chodu vždy pouze jedno nebo dvě metací kola. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že srovnání proběhne pouze mezi stejnými typy jednotek a opět se stejnou úvahou „méně abraziva za minutu = úspornější řešení“.

Tabulka 18 tabulka energetické náročnosti

abrazivo	vzorek číslo	otáčky [1/min]	zatížení [A]	čas [s]	rychlost abraziva [m/s]	rychlost dopravníku [m/s]	tok abraziva [kg/min]
WS230	1	2770	312	90	68	1,6	2040
SM130	2	2650	14	90	68	1,6	150
	3	1800	176	60	42	2,4	1920
	4	2700	208	60	63	2,4	1440
	5	3150	234	60	73	2,4	1520
S280	6	2350	41	90	68	1,6	500
S230/MG40	7	2350	41	90	68	1,6	500
MG40	8	2000	38	90	68	1,6	414
	9	1750	36	90	58	1,6	360
S170 34%/MG40 66%	10	2350	41	90	68	1,6	500
	11	2000	38	90	58	1,6	414

Dílčí závěr:

V tomto srovnání byly porovnány dva parametry na dvou různých typech strojů. Srovnával se hmotnostní průtok abraziva přes metací kola a zatížení tryskacího zařízení při plném chodu v nastavených parametrech. Mezi dvojici srovnávaných typů patřily průchozí tryskací jednotky (zelenou barvou) a komorové tryskací jednotky (žlutou barvou).

Nejhůře z testovaných průchozích tryskacích zařízení vycházelo abrazivo WS230, a to z důvodu vysoké spotřeby jednak abraziva, tak i elektrické energie. Mezi komorovými tryskacími jednotkami na tom byla nejhůře tato abraziva: S280, směs S230/MG40 a směs S170/MG40 při otáčkách metacího kola $2350 \text{ ot. min}^{-1}$.

Nejúspornějším řešením z průchozích jednotek vychází abrazivo vzorek číslo 3, protože byl nejnižší příkon. Navzdory nízkému příkonu má toto nastavení poměrně vysoký průtok abraziva, z toho důvodu bude v závěrečném zhodnocení srovnávána zvlášť elektrická zátěž stroje a průtok abraziva. Mezi komorovými tryskacími jednotkami bylo rozhodování jasné, protože zde platila úměra čím větší průtok, tím více elektrické energie. Jako nejméně finančně náročné řešení zde vychází abrazivo SM130 (vzorek číslo 2).

Tabulka hodnot kritérií

O nejvhodnějším tryskacím prostředku je rozhodováno podle tabulky hodnot kritérií, kde tato kritéria určují důležitost jednotlivých měření či zkoušek. Hodnocení položky zkoušky v solné mlze probíhalo pouze mezi vzorky, které byly vystaveny 500 hodin v solné komoře. Ostatní vzorky, které měly být vystaveny 750 hodin a 1000 hodin v solné komoře, nebylo možné vyhodnotit z důvodu koronavirové krize, neboť nebylo dosaženo požadované doby expozice.

Tabulka 19 Výsledky vyhodnocení zkoušek.

zkouška	váha kritéria	WS230		SM130									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
odtrhová zkouška	6	10	60	10	60	10	60	10	60	10	60	10	60
zkouška v solné mlze	8	10	80	10	80	9	72	9	72	10	80	10	80
měření tloušťky povrchu	5	10	50	10	50	10	50	10	50	10	50	10	50
měření drsnosti	6	10	60	6	36	4	24	4	24	4	24	4	24
hrany	7	10	70	2	14	9	63	9	63	9	63	9	63
finanční náklady-pořizovací	10	8	80	6	60	6	60	6	60	6	60	6	60
spotřeba abraziva	9	7	63	10	90	8	72	10	90	9	81	9	81
energetická náročnost – zatížení	9	7	63	10	90	10	90	9	81	8	72	8	72
vážený součet		526		480		491		500		490			
pořadí		5		11		9		7		10			

Tabulka 20 Výsledky vyhodnocení zkoušek.

zkouška	váha kritéria	S280		S230/MG40		MG40				S170 34%/MG40 66%					
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
odtrhová zkouška	6	10	60	10	60	10	60	10	60	10	60	10	60	10	60
zkouška v solné mlze	8	10	80	10	80	10	80	10	80	10	80	10	80	10	80
měření tloušťky povrchu	5	10	50	10	50	10	50	10	50	10	50	10	50	10	50
měření drsnosti	6	8	48	6	36	10	60	8	48	7	42	10	60	10	60
hrany	7	10	70	10	70	10	70	10	70	10	70	10	70	10	70
finanční náklady-pořizovací	10	10	100	10	100	10	100	10	100	7	70	7	70	7	70
spotřeba abraziva	9	7	63	7	63	8	72	9	81	7	63	8	72	8	72
energetická náročnost – zatížení	9	7	63	7	63	8	72	9	81	7	63	8	72	8	72
vážený součet		534		522		564		570		498		534			
pořadí		3-4		6		2		1		8		3-4			

Závěr

V závěrečné práci byly porovnávány různé druhy abrazivních materiálů v kombinaci s nastavením tryskacích parametrů. Tento projekt vznikl především na základě zmapování současného stavu tryskání ve firmě Doosan Bobcat EMEA, s.r.o., a případných možností podobných abrazivních médií na trhu. Porovnání proběhlo za pomoci vícekritériálního rozhodování a následně byly hodnoty zaneseny do tabulky vah kritérií.

Většina vyhodnocení probíhala na základě interní normy Doosan Bobcat EMEA standard PS-102. Tato norma je nastavená pro potřeby firmy a dále se odkazuje na další normy ISO a ASTM. Do výzkumu byla zvolena následující abraziva: WS230, SM130, S280, S 230/MG 40, MG40, 34% S170/66% MG40. Tato abraziva byla užitá při různých nastaveních tryskací jednotky, lišila se v množství metaného abraziva za jednotku času či počtem otáček metacího kola a rychlosti metání média. Některé ze vzorků byly tryskány v komorové tryskací jednotce a některé v průchozím tryskači. Obě varianty se snažily maximálně přiblížit podmínkám, za kterých se tryská ve výrobním závodě Doosan Bobcat EMEA. Výsledky testování byly stanoveny za užití více kritérií, která čítala: zkoušku v neutrální solné mlze, drsnost povrchu, tloušťku povlaku, speciální zkoušku korodování na hranách, pořizovací finanční náklady abraziva, energetickou náročnost procesu a odtrhovou zkoušku.

Vedle samotného vyhodnocení byl vytvořen experiment zkoumající závislost rychlosti průjezdu dopravníku tryskacím zařízením na drsnosti povrchu. Experiment ukázal, že rychlost průjezdu tryskací jednotkou v námi zvoleném intervalu nemá na drsnost povrchu vliv.

V poslední řadě byla sestavena tabulka vah kritérií, kde byly jednotlivým aspektům (zkouškám) přiřazeny hodnoty. Aspekty s větší hodnotou váhy kritéria znamenají, že při rozhodování hrají větší roli než aspekty s nižší hodnotou. Po vynesení všech hodnot do tabulky vychází jako nejlépe vyhovující abrazivo MG40 (vzorek 9) s nastavením stroje $1750 \text{ ot.} \text{min}^{-1}$, průtokem abraziva metacím kolem $360 \text{ kg.} \text{min}^{-1}$. V případě abraziva MG40 se jednalo o komorové tryskací zařízení, tudíž o jiný typ stroje, než je užíván ve firmě Doosan Bobcat EMEA.

Navzdory snaze přiblížit se podmínkám a nastavením užívaných v průchozích jednotkách, nelze jednoznačně říci, že se abrazivo značky MG40 bude na konkrétních dílech z produkce chovat stejně. Z výsledků, které byly získány, a za předpokladu stejného chování abraziva v obou typech stroje, je možné navrhnout změnu abraziva z WS230 na MG40. Každopádně bude potřeba abrazivo MG40 podrobit podrobnějšímu testování.

Zdroje:

- [1] Pomoc při výběru pískovačky a kompresoru. Trytech - Vše pro tryskání a pískování na jednom místě [online]. Copyright © [cit. 30.12.2019]. Dostupné z: <https://www.trytech.cz/o-tryskani/tryskani-metacimi-koly/>
- [2] Kudlacek, Jan. Povrchové úpravy. Předúprava povrchu, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011-3-7
- [3] Brezinová, J.;Guzanová,A.;Draganovská, D.; Abrasive blast cleaning and its application. Switzerland: TTP, 2015. ISBN 978-3-03835-995-1
- [4] Kreibich, V.; Teorie a technologie povrchových úprav. Praha: ČVUT, 1999
- [5] The Inventor of Sandblasting was a Real, American Hero. Medium – Get smarter about what matters to you. [online]. Dostupné z: https://medium.com/@PSC_TaylorWest/the-inventor-of-sandblasting-was-a-real-american-hero-83dc67c20e97
- [6] Just a moment.... Just a moment... [online]. Dostupné z: <https://www.maria-online.us/home/article.php?lg=cs&q=Otrysk%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD>
- [7] Martin Rauch; Bakalářská práce - Vliv tryskání na korozní odolnost oceli, ČVUT 2018.
- [8] ČSN EN ISO 8501-1 (038221). Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků.
- [9] Abrasive blasting systems - ScienceDirect. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © 1999 Elsevier Inc. All rights reserved. [cit. 30.12.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026057699807582?via%3Dihub>
- [10] Hylák, Kamil. Mechanické předúpravy zinkových povlaků před aplikací nátěrové hmoty. ČVUT FS, v Praze, 2017. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
- [11] S.A.F. Praha – webové stránky, www.saf.cz
- [12] Povrcháři.cz - online časopis Povrcháři, povrchové úpravy, informace z oboru povrchových úprav [online]. Copyright ©eB [cit. 31.12.2019]. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201010_povrchari.pdf

- [13] Eluc. Eluc [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1391>
- [14] Povrcháři.cz - online časopis Povrcháři, povrchové úpravy, informace z oboru povrchových úprav [online]. Copyright © [cit. 13.02.2020]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201901_povrchari.pdf
- [15] odkaz na oficiální Facebook FCHT [online]. Copyright © [cit. 13.02.2020]. Dostupné z: <https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/mater-vstrojar-vyrobe.pdf>
- [16] Kalendová, Andrea. Technologie nátěrových hmot II.: povrchové úpravy a způsoby předúpravy materiálů. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Ústav polymerních materiálů, 2003. ISBN 80-7194-555-2.
- [17] Abraziva - Abrasiva - Abrazivum - Abrasivum - Inertní brusné, řezné a tryskácké materiály - organické, minerální, kovové ... materiál do pískovačky a pro řezání vodním paprskem ... také speciální přísady / příměsi (inhibitory) pro udržení čistoty, tedy vysoké kvality a životnosti abraziv zejména při renovačním tryskání s důsledky kontaminace v kabinových a komorových pískovačkách / tryskačích. [online]. Copyright © 2012 RENO [cit. 16.03.2020]. Dostupné z: <https://www.abraziva.cz/>
- [18] Tryskácké materiály - 1.Toušeňská s.r.o.. Home - 1.Toušeňská s.r.o. [online]. Copyright © 2016 [cit. 16.03.2020]. Dostupné z: <https://www.tryskaci-zarizeni.cz/tryskaci-materialy/>
- [19] Alexandr Kedra; Bakalářská práce - Technologie tryskání metacími jednotkami, ČVUT 2015.
- [20] Ocelová drť a granulát - vše co o tomto pískovacím abrazivu hledáte | Pískovačka. Jsme specialisté na pískování a pískovačky | Pískovačka [online]. Copyright © Pískovačka.cz, všechna práva vyhrazena [cit. 16.03.2020]. Dostupné z: <https://www.piskovacka.cz/ocelova-drt-a-granulat/>
- [21] Šulc, radek. Dělení koroze podle druhu napadení. In: FS.CVUT.CZ [ONLINE]. Praha: FS ČVUT, 2008 [CIT. 2020-03-13]. DOSTUPNÉ Z: http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_predn13-Ko.pdf
- [22] Stavební chemie SIKA CZ - Úvod - Eshop Michal Pokorný [online]. Copyright © [cit. 25.03.2020]. Dostupné z: <http://stavchemshop.cz/files/cz-con-bro-ochrana-oceli.pdf>

- [23] Střední průmyslová škola Ostrava - Vítkovice, příspěvková organizace - Úvod [online]. Copyright © [cit. 26.03.2020]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/ZAV/ZAV1-Povrchove_uprav y.pdf
- [24] Document Moved [online]. Copyright © [cit. 11.05.2020]. Dostupné z: https://www.unipetrolrpa.cz/CS/sluzby-areal/chempark-zaluzi/N_normy/N%2010/N10051.pdf
- [25] http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_uprav y_tryskani_2018_kubicek.pdf
- [26] ČSN EN ISO 8501-1. Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků.
- [27] ČSN EN ISO 2409. Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška.
- [28] ASTM D3359 - 97. Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.
- [29] Interní materiály společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.
- [30] Novotný, Jiljí. Technologie I: slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1996, 227 s. ISBN 80-01-01420-7.
- [31] Drsnost povrchu dle DIN EN ISO. Hommel-etamic [online]. Jenoptik, b.r. [cit. 13.5.2020]. Dostupné z: <https://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>
- [32] [online]. Copyright ©L [cit. 14.05.2020]. Dostupné z: http://www.sps-prosek.cz/soubory/M/TD/TD-struktura_povrchu.pdf
- [33] Co je pískování? čím se pískuje? | Pískovačka. Jsme specialisté na pískování a pískovačky | Pískovačka [online]. Copyright © Pískovačka.cz, všechna práva vyhrazena [cit. 14.05.2020]. Dostupné z: <https://www.piskovacka.cz/info-82-co-je-piskovani-cim-se-piskuje/>
- [34] Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright ©U [cit. 14.05.2020]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=148091
- [35] Predúprava povrchu. Univerzita Pardubice [online]. Pardubice [cit. 14.05.2020]. Dostupné z: <http://www.upce.cz/fcht/uchtml/12-onhop/studijni-materialy/mater-vstrojar-vyrobe.pdf>
- [36] Shot peening applications. Curtis-wright [online]. Paramus: Metal Improvement Company, 2005 [cit. 14.05.2020]. Dostupné z:

- http://464zwc173g4e34of4m82crnq.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2015/08/MIC_Green_Book_9th_Edition.pdf
- [37] Corrosion Inhibitors | IntechOpen. IntechOpen - Open Science Open Minds | IntechOpen [online]. Copyright © 2019 The Author [cit. 17.06.2020]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/corrosion-inhibitors/corrosion-inhibitors>
- [38] Kubátová, Hana. Nátěry kovů. 1. vyd. Praha: Grada, 2000, 101 s. Profi. ISBN 80-247-9035-1
- [39] Kreibich, Viktor a Karel HOCH. Koroze a Technologie Povrchových úprav 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1984. 270 s.
- [40] Prášková lakovna v Trnave | BJ POWDER | bjpowder.sk. Povrchová úprava kovov | Prášková lakovna BJ POWDER Trnava [online]. Copyright © 2020 bjpowder.sk. [cit. 19.06.2020]. Dostupné z: <http://www.bjpowder.sk/technologia/>
- [41] Kovo Staněk, s.r.o.. Kovo Staněk, s.r.o. [online]. Dostupné z: <http://www.kovostanek.cz/tryskaci-zarizeni/>
- [42] Lánc, Kryštof. Problematika tryskání povrchů. VUT FSI, v Brně, 2017. Bakalářská práce, VUT, Fakulta strojního inženýrství. vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
- [43] Kreibich, Viktor. "Povlaky z práškových plastů": Shrnutí studia. Centrum pro povrchové úpravy. Praha, 2015.
- [44] Comexinternational. Comexinternational [online]. Dostupné z: <https://comexinternational.webnode.cz/>
- [45] Home. PantaTec - Fast Metal Cleaning System [online]. Dostupné z: <https://www.pantatec.de/en/>
- [46] Měření tloušťky povlaků TECHNOTEST. Přehled služeb TECHNOTEST [online]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/mereni_tloustky_povlaku
- [47] ISO - ISO 9227:2017 - Corrosion tests in artificial atmospheres — Salt spray tests. [online]. Copyright © All Rights Reserved [cit. 26.06.2020]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/63543.html>

Seznam obrázků:

Obrázek 1 první loader (nakladač) nesoucí název Bobcat. [29].....	10
Obrázek 2 Logo firmy Doosan Bobcat. [29]	11
Obrázek 3 Možnosti příslušenství a různé typy nakladačů. [29].....	12
Obrázek 4 Schéma rozdělení druhu nečistot [15].....	13
Obrázek 5 Dělení koroze dle druhu napadení.[21].....	14
Obrázek 6 První stroje určené k tryskání. [5].....	18
Obrázek 7 Počátky tryskání. [6]	18
Obrázek 8 Schéma principu kuličkování [13]	20
Obrázek 9 Rozdělení tryskání [19].....	21
Obrázek 10 Tlakové pneumatické tryskání – schéma. [33].....	22
Obrázek 11 Sací pneumatické (injektorové) tryskání – schéma [33].....	22
Obrázek 12 Detail metací jednotky (kola.) [34]	23
Obrázek 13 Kompenzačně gravitační separátor – schéma [42]	24
Obrázek 14 Schéma kabinového tryskacího zařízení. [34]	25
Obrázek 15 Ukázka efektivní plochy metacího kola [1]	25
Obrázek 16 Ocelová drť [18].....	27
Obrázek 17 Ocelové kuličky – granulát [18].....	28
Obrázek 18 Ukázka srovnání ocelového granulátu a ocelové drti [20].....	29
Obrázek 19 Sekaný drát [18].....	30
Obrázek 20 Tabulka klasifikace výsledků zkoušek. [27]	34
Obrázek 21 Schématické znázornění vyhodnocení Ra. [32].....	35
Obrázek 22 Schématické znázornění vyhodnocení Rz a Rt. [31]	35
Obrázek 23 Schématické znázornění vyhodnocení R _{Pc} . [31].....	36
Obrázek 24 Vryp ostrohranného abraziva [35]	37
Obrázek 25 Vryp sférického abraziva [35].....	37
Obrázek 26 Závislost rychlosti na drsnosti tryskaného povrchu	38
Obrázek 27 Příklady práškových plastů [40].	40
Obrázek 28 Obrázek složení velikosti zrna abraziva WS 230.....	44
Obrázek 29 Obrázek složení velikosti zrna abraziva S 280.	44
Obrázek 30 Obrázek složení velikosti zrna abraziva MG 40.	44
Obrázek 31 Obrázek složení velikosti zrna abraziva S 230.	45
Obrázek 32 Obrázek složení velikosti zrna abraziva S 170.	45
Obrázek 33 abrazivo (vlevo) WS230; (vpravo) stainium SM130.....	46

Obrázek 34 abrazivo (vlevo) směs 50 % S230 + 50 % MG40 (vpravo) směs 34 % S170 + 66 % MG40.....	46
Obrázek 35 Vzorník abrazivního materiálu	47
Obrázek 36 Tryskací zařízení ve firmě Doosan Bobcat TOR16x23/12W1E.....	49
Obrázek 37 Výkres testovaných vzorků.....	50
Obrázek 38 schématické znázornění míst měření drsností.....	51
Obrázek 39 Testované vzorky plechů před vjezdem do tryskací jednotky (vlevo) a po otryskání (vpravo).	52
Obrázek 40 Názorné zobrazení měření drsností ve vzájemně kolmém směru.....	52
Obrázek 41 Odtrhové zařízení COMTEST® OP1	55
Obrázek 42 Lupa pro zvětšení vyhodnocení odtrhové zkoušky.....	56
Obrázek 43 schéma odtrhové zkoušky.	56
Obrázek 44 Příklad plochy odtrhu u jednoho ze vzorků.	57
Obrázek 45 Šablona k provedení křížového řezu před vkládáním do solné komory.....	58
Obrázek 46 Znázornění měření delaminace po vyhodnocení zkoušky v solné mlze.....	59
Obrázek 47 Zařízení (solná komora) značky Liebisch CONSTAMATIC	59
Obrázek 48 Stojan pro pořizování snímků pro zkoušku v solné mlze.	60
Obrázek 49 Příklad vzorku z korozní zkoušky v solné mlze (vlevo) po vytažení z komory, (vpravo) po vyhodnocení.....	62
Obrázek 50 Tloušťkoměr Elcometer 456.	64
Obrázek 51 Znázornění umístění sondy na testovaných vzorcích.	64
Obrázek 52 Příklad hrany s okujemi před (vlevo) a po otryskání bez okují (vpravo).	69
Obrázek 53 Příklad vzorku vytaženého ze solné komory (vlevo) a vyhodnocení hrany (vpravo).	69

Seznam tabulek

Tabulka 1 Stupně korozní agresivity atmosféry a příklady typických prostředí. [22]	16
Tabulka 2 Orientační složení ocelového granulátu [14].....	28
Tabulka 3 Orientační chemické složení sekaného drátu [14].....	29
Tabulka 5 tabulka parametrů abraziva WS230.....	45
Tabulka 6 tabulka parametrů abraziva SM 130.....	45
Tabulka 7 Seznam testovaných vzorků a nastavení trykacích parametrů.....	46
Tabulka 8 Technické parametry trykacího zařízení.....	49

Tabulka 9 Instalovaný výkon	50
Tabulka 10 drsnost – vyhodnocení metodou Ra.	53
Tabulka 11 drsnost – vyhodnocení metodou Rz.	54
Tabulka 12 Tabulka odtrhové zkoušky.	56
Tabulka 13 Výsledky korozní zkoušky při expozici 500 h.	60
Tabulka 14 Výsledky korozní zkoušky při expozici 750 h.	61
Tabulka 15 Výsledky korozní zkoušky při expozici 1000 h.	61
Tabulka 16 naměřené tloušťky povlaků.	65
Tabulka 17 Neměřené hodnoty drsností povrchu po otryskání.	66
Tabulka 18 tabulka srovnání ceny abraziva.	71
Tabulka 19 tabulka energetické náročnosti	72
Tabulka 20 Výsledky vyhodnocení zkoušek.	73
Tabulka 21 Výsledky vyhodnocení zkoušek.	73

Seznam grafů

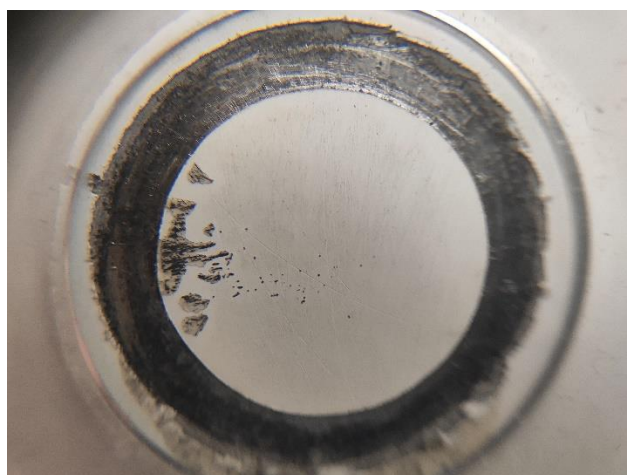
Graf 1 závislost drsnosti Ra na rychlosti průjezdu dopravníku.	53
Graf 2 závislost drsnosti Rz na rychlosti průjezdu dopravníku.	54
Graf 3 naměřená tloušťka povlaku	65
Graf 4 drsnost Rz povrchu po tryskání.	67
Graf 5 Drsnost Ra povrchu po tryskání.	67

Seznam příloh

Příloha 1 Odtrh - WS230 vzorek 1(vlevo), SM130 vzorek 2 (vpravo)	83
Příloha 2 Odtrh - SM130 vzorek 3 (vlevo), SM130 vzorek 4 (vpravo).	83
Příloha 3 Odtrh - SM130 vzorek 5 (vlevo), S280 vzorek 6 (vpravo).	83
Příloha 4 Odtrh - S230/MG40 vzorek 7 (vlevo), MG40 vzorek 8 (vpravo).	84
Příloha 5 Odtrh - MG40 vzorek 9 (vlevo), S170/MG40 vzorek 10 (vpravo).	84
Příloha 6 Odtrh - S170/MG40 vzorek 11.	84
Příloha 7 Korozní zkouška 500h - WS230 vzorek 1 (vlevo), SM130 vzorek 2 (vpravo).	85
Příloha 8 Korozní zkouška 500h - SM130 vzorek 3 (vlevo), SM 130 vzorek 4 (vpravo).	85
Příloha 9 Korozní zkouška 500h - SM130 vzorek 5 (vlevo), S280 vzorek 6 (vpravo).	86

Příloha 10 Korozní zkouška 500h -S230/MG40 vzorek 7 (vlevo), MG40 vzorek 8 (vpravo).	86
Příloha 11 Korozní zkouška 500h – MG 40 vzorek 9 (vlevo), S170/MG40 vzorek 10 (vpravo).	87
Příloha 12 Korozní zkouška 500h - S170/MG40 vzorek 11	87
Příloha 13 Koroze na hranách – SM130 vzorek 2 (vlevo), SM 130 vzorek 3 (vpravo).....	88
Příloha 14 Koroze na hranách – SM130 vzorek 4 (vlevo), SM130 vzorek 5 (vpravo).....	88
Příloha 15 Koroze na hranách – S280 vzorek 6 (vlevo), S230/MG40 vzorek 7 (vpravo).	89
Příloha 16 Koroze na hranách – MG40 vzorek 8 (vlevo), MG40 vzorek 9 (vpravo).	89
Příloha 17 Koroze na hranách – S170/MG40 vzorek 10 (vlevo), S170/MG40 vzorek 11 (vpravo).	90

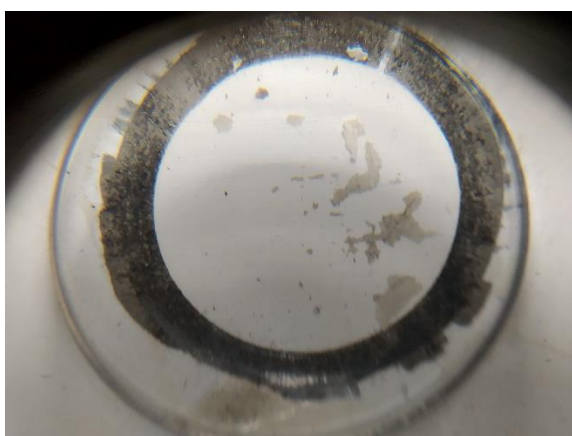
Přílohy



Příloha 1 Odtrh - WS230 vzorek 1 (vlevo), SM130 vzorek 2 (vpravo)



Příloha 2 Odtrh - SM130 vzorek 3 (vlevo), SM130 vzorek 4 (vpravo).



Příloha 3 Odtrh - SM130 vzorek 5 (vlevo), S280 vzorek 6 (vpravo).



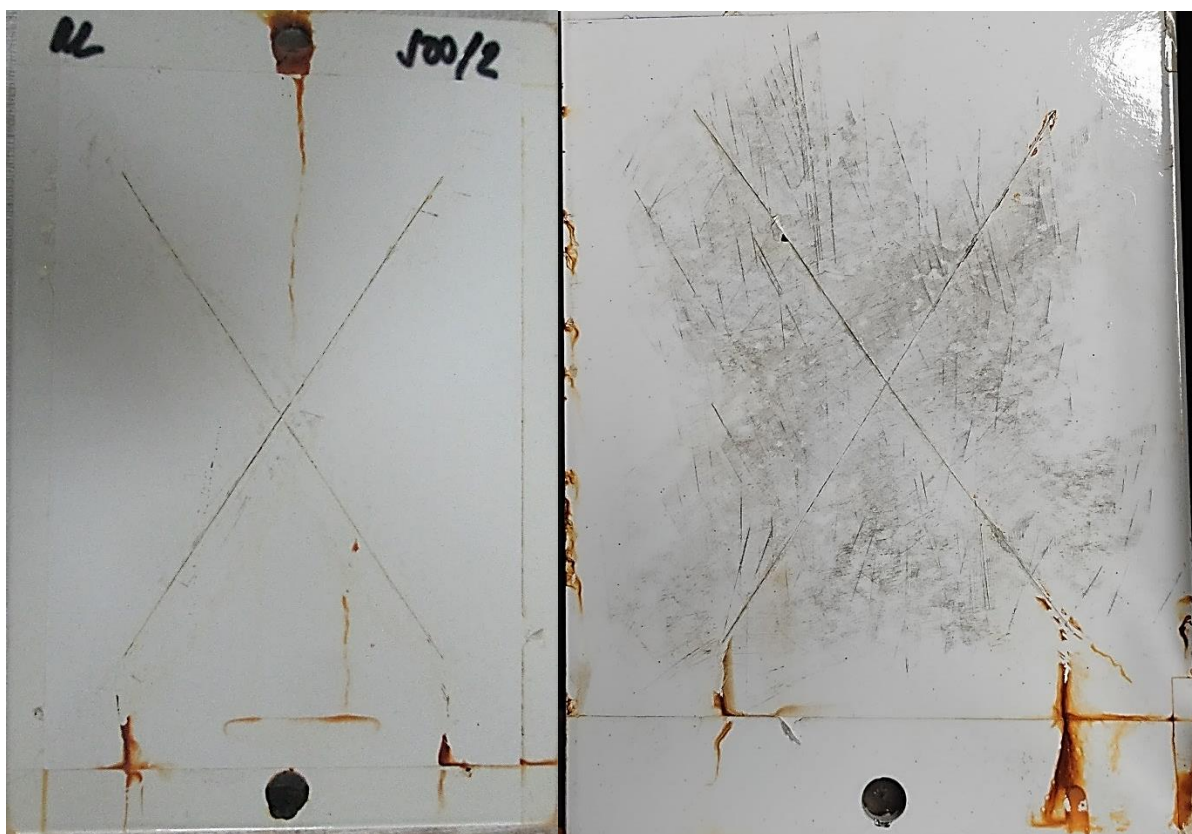
Příloha 4 Odtrh - S230/MG40 vzorek 7 (vlevo), MG40 vzorek 8 (vpravo).



Příloha 5 Odtrh - MG40 vzorek 9 (vlevo), S170/MG40 vzorek 10 (vpravo).



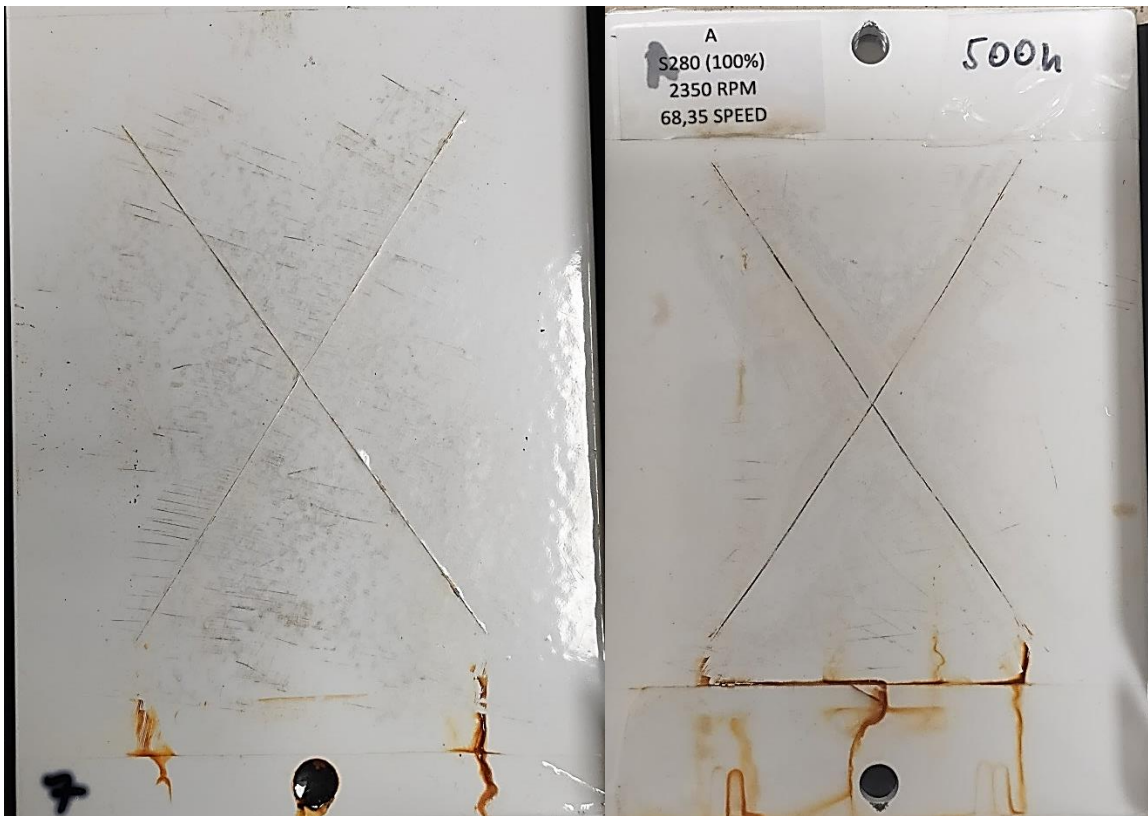
Příloha 6 Odtrh - S170/MG40 vzorek 11.



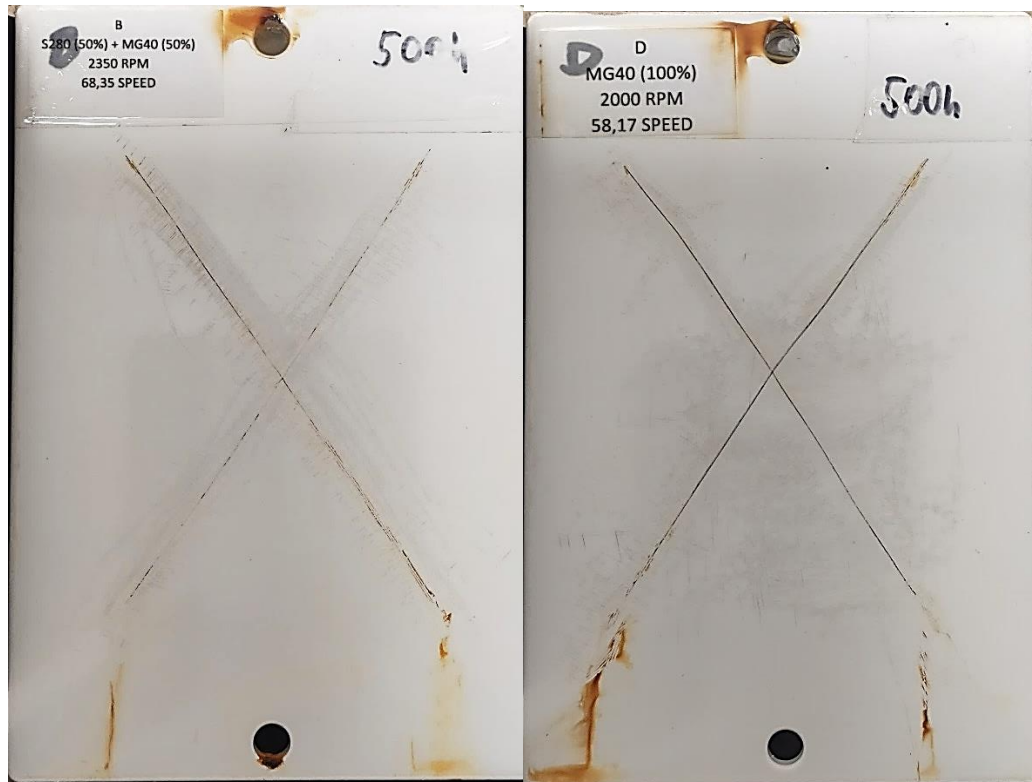
Příloha 7 Korozní zkouška 500h - WS230 vzorek 1 (vlevo), SM130 vzorek 2 (vpravo).



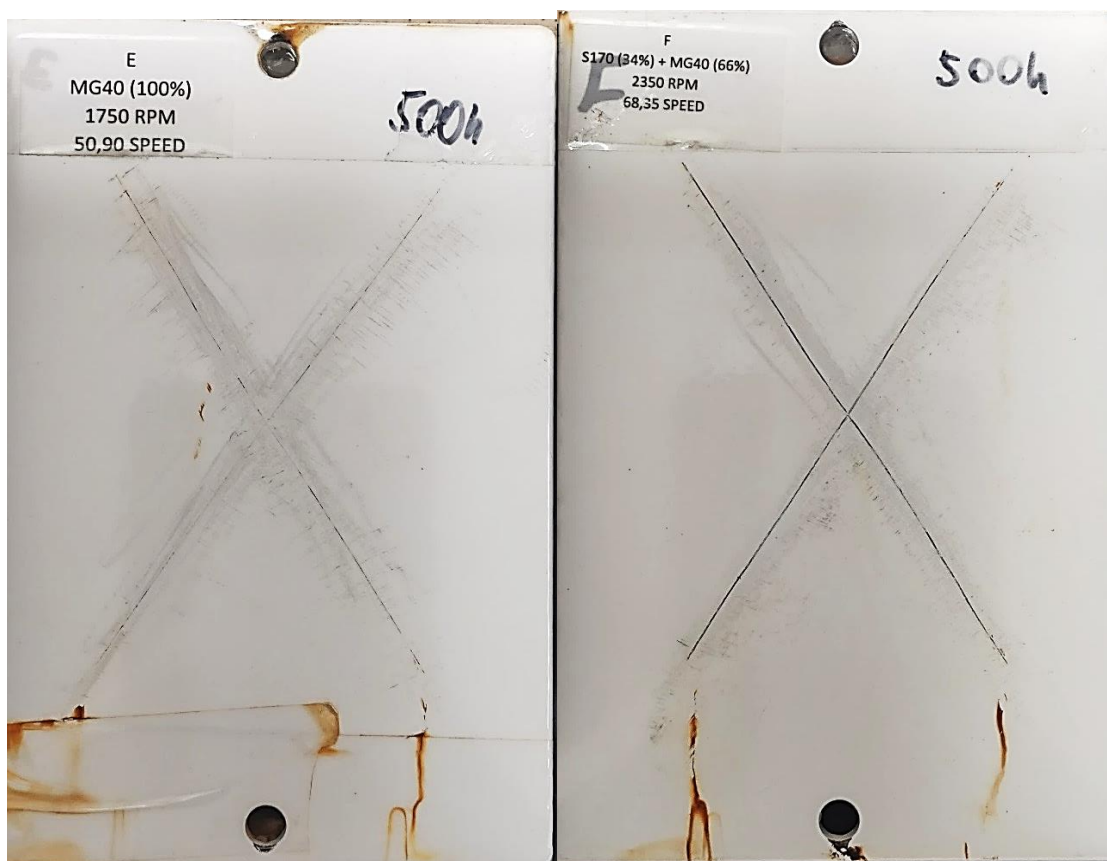
Příloha 8 Korozní zkouška 500h - SM130 vzorek 3 (vlevo), SM 130 vzorek 4 (vpravo).



Příloha 9 Korozní zkouška 500h - SM130 vzorek 5 (vlevo), S280 vzorek 6 (vpravo).



Příloha 10 Korozní zkouška 500h - S230/MG40 vzorek 7 (vlevo), MG40 vzorek 8 (vpravo).



Příloha 11 Korozní zkouška 500h – MG 40 vzorek 9 (vlevo), S170/MG40 vzorek 10 (vpravo).



Příloha 12 Korozní zkouška 500h - S170/MG40 vzorek 11



Příloha 13 Koroze na hranách – SM130 vzorek 2 (vlevo), SM 130 vzorek 3 (vpravo)



Příloha 14 Koroze na hranách – SM130 vzorek 4 (vlevo), SM130 vzorek 5 (vpravo).



Příloha 15 Koroze na hranách – S280 vzorek 6 (vlevo), S230/MG40 vzorek 7 (vpravo).



Příloha 16 Koroze na hranách – MG40 vzorek 8 (vlevo), MG40 vzorek 9 (vpravo).



Příloha 17 Koroze na hranách – S170/MG40 vzorek 10 (vlevo), S170/MG40 vzorek 11 (vpravo).