

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: 6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu,
logistiky a kvality

Problematika povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu

Bakalářská práce

Vladimír PELINKA

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Vladimír Pelinka**

Studijní program: **Ekonomika a management**

Obor: **Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality**

Název tématu: **Problematika povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu**

Cíl: Cílem bakalářské práce je shrnutí aktuálních trendů v rámci povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu, provedení potřebných analýz různých druhů povrchových úprav s ohledem na jejich vlastnosti a následné vyhodnocení jejich vhodnosti, výhod a nevýhod vybraných typů povrchových úprav, které jsou používány v automobilovém průmyslu.

Rámcový obsah:

1. Shrnutí aktuálních trendů v rámci povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu.
2. Analýza současného stavu využití povrchových úprav ve společnosti Škoda Auto a.s.
3. Provedení potřebných analýz k vyhodnocení vlastností různých typů povrchových úprav.
4. Vyhodnocení sledovaných dat z hlediska vhodnosti, výhod a nevýhod daných typů povrchových úprav.

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

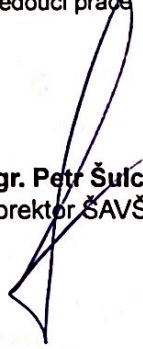
1. BATCHELOR, A. – STACHOWIAK, G. *Engineering tribology*. Oxford: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2014. 852 s. ISBN 978-0-12-397047-3.
2. GROYSMAN, A. *Corrosion for Everybody*. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2009. 377 s. ISBN 978-90-481-3477-9.
3. LENFELD, P. *Technologie II*. 3. vyd. Technická univerzita v Liberci, 2016. 110 s. ISBN 978-80-7494-304-1.
4. TULKA, J. *Povrchové úpravy materiálů*. Brno: VUT v Brně, 2005. 136 s. ISBN 978-80-214-3062-4.

Datum zadání bakalářské práce: prosinec 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2020

L. S.


Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.
Vedoucí práce


Mgr. Petr Šulc
Prorektor SAVŠ


doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.
Garant studijního oboru


Vladimír Pelinka
Autor práce

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Sobotkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady a čas, který mi věnoval.

Mé srdečné poděkování patří mé mamince a bráškově, kteří jsou mojí životní motivací a nadevše je miluji.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Al_2O_3	oxid hlinitý
BH	Bake Hardening (zvýšení meze kluzu tepelným zpracováním)
CO_2	oxid uhličitý
ČSN	česká technická norma
EG	Electro Galvanizing (elektrolytické pokovování)
EN	evropská norma
Fe_3C	cementit
H_2SO_4	kyselina sírová
H_3PO_4	kyselina fosforečná
HCl	kyselina chlorovodíková
HDG	Hot-Dip Galvanizing (žárové pokovování)
HDP	hrubý domácí produkt
IF	Interstitials Free steels (oceli bez intersticií)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
MgSO_4	síran hořečnatý
MPa	megapascal
N_2	molekulární dusík
NaCl	chlorid sodný
NH_3	amoniak
NIT	New Inorganic Treatment (nový anorganický povlak)
NO_x	oxidy dusíku
O_2	molekulární kyslík
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu
SiC	karbid křemíku
SO_x	oxidy síry
ŠA	Škoda Auto
TRIP	Transformation-Induced Plasticity (transformačně indukovaná plasticita)
TWIP	Twinning-Induced Plasticity (plasticita indukovaná dvojčatěním)
$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	fosforečnan zinečnatý
ZnSO_4	síran zinečnatý
μ	koeficient tření
μm	mikrometr

Obsah

Úvod.....	8
1 Materiály pro stavbu automobilové karoserie.....	9
1.1 Ocel.....	11
1.2 Hlubokotažné oceli.....	11
1.2.1 Nízkouhlíkové oceli.....	12
1.2.2 Oceli bez intersticií (IF oceli).....	12
1.2.3 Oceli s BH efektem.....	13
1.3 Další materiály pro stavbu karoserie.....	13
1.3.1 Vysokopevnostní oceli.....	13
1.3.2 Slitiny Al-Mg.....	13
1.3.3 Kompozity.....	13
2 Vliv okolního prostředí na použitý materiál.....	14
2.1 Koroze.....	15
2.1.1 Definice a rozdělení.....	15
2.1.2 Druhy korozního napadení.....	16
2.1.3 Atmosferická koroze.....	16
3 Aktuální trendy povrchových úprav plechů.....	18
3.1 Přípravné operace.....	18
3.1.1 Mechanické úpravy povrchu.....	18
3.1.2 Chemické úpravy povrchu.....	20
3.2 Nekovové anorganické povrchové úpravy.....	21
3.2.1 Fosfátování.....	22
3.2.2 Pasivace povrchu.....	22
3.3 Kovové povlaky.....	23
3.3.1 Zinkové povlaky.....	23
3.3.2 Chromové povlaky.....	23
3.4 Organické povrchové úpravy.....	23
4 Praktická část.....	25
4.1 Představení povrchových úprav plechů ve Škoda Auto.....	25
4.2 Drsnost povrchu.....	26
4.2.1 Základní parametry drsnosti povrchu dle technických norem.....	27
4.2.2 Měření drsnosti povrchu.....	28
4.2.3 Morfologie pracovních válců při válcování.....	29
4.3 Žárové zinkování HDG.....	29

4.4	Elektolytické zinkování EG	30
4.5	Tribologická zkouška protahováním pásku	31
4.5.1	Popis zařízení SOKOL 400.....	32
4.5.2	Popis zkoušky.....	33
4.5.3	Příprava zkušebních vzorků	34
4.5.4	Měření drsnosti povrchu zkušebních vzorků.....	35
4.5.5	Vstupní parametry zkoušky	36
4.5.6	Typy naměřených tažných sil	37
4.5.7	Naměřené hodnoty pro HDG zkušební vzorky	38
4.5.8	Naměřené hodnoty pro EG+PH zkušební vzorky	39
4.6	Vyhodnocení tribologické zkoušky protahováním pásku.....	40
	Závěr	46
	Seznam literatury	47
	Seznam obrázků a tabulek.....	51
	Seznam příloh	53

Úvod

Automobily přinášejí do dnešního světa užitek, bez kterého si běžný život již nedokážeme představit. Dávají nám svobodu, šetří nám čas, vydělávají peníze a pro některé znamenají životní vášeň. Pro maximalizaci tohoto užitku je zapotřebí, aby automobily plnily své funkce zodpovědně. Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících správné fungování automobilů je bezesporu kvalita použitých konstrukčních materiálů.

Konstrukční materiály procházejí v souvislosti s bouřlivě rostoucími požadavky automobilového průmyslu neustálým a důkladným vývojem. K zajištění vynikajících užitečných vlastností a konkurenceschopnosti konstrukčních materiálů jsou výrobní podniky nuceny přistupovat k jejich vývoji zodpovědně.

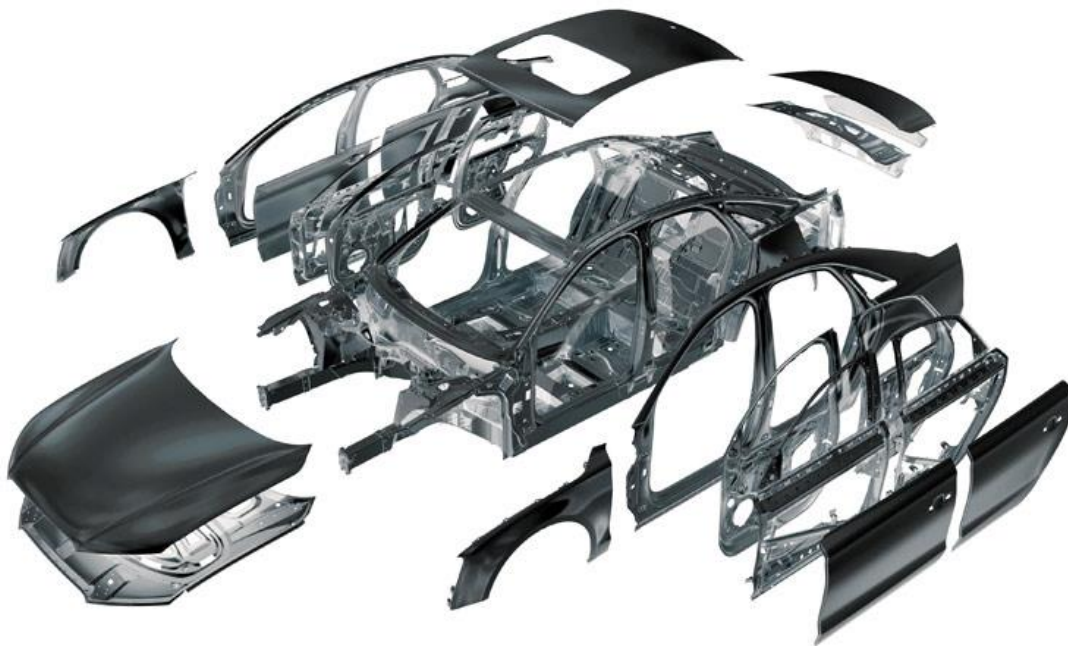
Neopominutelnou součástí konstrukčních materiálů jsou jejich povrchové úpravy. Povrchové úpravy představují pro základní materiál jakéhosi pomocníka v boji proti negativním vlivům působícím na materiál v důsledku jeho užívání v okolním prostředí, určují jeho finální vzhled a v neposlední řadě ovlivňují jeho technologické zpracování.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část vychází z odborné literatury. První kapitola pojednává o materiálech pro stavbu automobilové karoserie, jejich vlastnostech a použití. Kapitola druhá se zabývá problematikou vlivu okolního prostředí na materiál. Třetí kapitola je zaměřena na současné trendy povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu.

V praktické části této bakalářské práce je nejprve představena současná situace využití povrchových úprav plechů ve společnosti Škoda Auto (dále jen ŠA). Následně přináší informace o drsnosti povrchu jako parametru vlastnosti povrchu. Cílem praktické části je provedení analýzy vybraných druhů povrchových úprav plechů na základě tribologické zkoušky s ohledem na jejich vlastnosti a následné vyhodnocení těchto druhů povrchových úprav pro použití v automobilovém průmyslu z hlediska jejich vhodnosti, výhod a nevýhod.

1 Materiály pro stavbu automobilové karoserie

Před samotným počátkem výroby jakýchkoli výrobků je vždy zapotřebí věnovat pozornost volbě materiálů. Na současném trhu je k dispozici obrovské množství nejrůznějších druhů materiálů s určitými vlastnostmi, které významně předurčují směr jejich použití. Totéž platí také pro výrobu automobilové karoserie (viz Obr. 1).



Zdroj: (Fourtitude, 2010)

Obr. 1 Ukázka karoserie automobilu Audi A8

Automobilová karoserie je složena z mnoha druhů jednotlivých dílů, které jako celek utvářejí vizuální podobu daného automobilu. Vnitřní část karoserie tvoří tzv. nepohledové díly, které mnohdy nemají nutné požadavky na povrchové úpravy. Využívá se zejména jejich pevnostních vlastností. Jsou to např. výztuhy či nosníky. Vnější část karoserie se skládá z tzv. pohledových dílů, které se obecně nazývají výlisky, neboť se jejich konečného požadovaného tvaru dosahuje výrobní technologií lisováním plechů. Mezi pohledové díly se řadí např. přední kapota, dveře, boční stěny, blatníky a další díly, které již mají vysoké požadavky na povrchové úpravy, neboť se nacházejí v rámci karoserie v korozně rizikových zónách.

Vzhledem k trendu stále se zvyšujících požadavků na vlastnosti karoserie automobilů, představují pohledové díly svým tvarem mnohdy velice složité součásti. V praxi to znamená potřebu použití konstrukčních materiálů se specifickými fyzikálními, mechanickými i technologickými vlastnostmi.

Stejně tak důležitá je znalost a dostupnost výrobních technologií. Konstrukční materiály společně s výrobními technologiemi by měly být schopné zajistit produkci výrobků vysoké jakosti, a to co možná nejefektivněji s využitím minimálních nákladů.

Na pohledové díly jsou velmi často kladeny protichůdné požadavky. Zejména pak požadavky na vysokou pevnost a zároveň nízkou hmotnost. Nejvýznamnějším požadavkem s ohledem na výrobu pohledových dílů je výborná tvářitelnost, která se vyznačuje schopností materiálu významně měnit svůj tvar působením vnější síly bez porušení soudržnosti. Této vlastnosti se využívá zejména při operacích plošného tváření, díky kterým materiál získává svůj požadovaný tvar (viz Obr. 2). Zároveň je třeba, aby konstrukční materiál splňoval vysoké požadavky na svařitelnost, která se definuje jako způsobilost materiálu vytvářet trvalý, nerozebíratelný spoj dvou a více součástí.



Zdroj: (Metalimex, 2015)

Obr. 2 Ukázka plechu ve svítku jako polotovaru pro následné zpracování

1.1 Ocel

Ocel je jedním z předních konstrukčních materiálů používaných nejen v automobilovém průmyslu¹. Díky své snadné dostupnosti a široké využitelnosti je ocel stále masově využívaným materiálem, a to i přes to, že v posledních letech dochází k bouřlivému vývoji např. kompozitů, nanomateriálů nebo biomateriálů.

Patřičná využitelnost pramení především ze skutečnosti, že ocel dosahuje vysoké variability vlastností. Finálních vlastností ocel dosahuje legováním, tedy přidáváním legujících prvků do slitiny. Nejvýznamnějšími legujícími prvky jsou Cr, Ni, Mn, Si, V, Mo, Al, Ti, Cu, Co a jiné. Podstatně jsou vlastnosti oceli ovlivněny také tepelně mechanickým zpracováním (Němeček, 2011).

Z metalurgického hlediska je ocel slitina Fe-C a dalších legujících prvků do obsahu 2,11 hm% C. Ocel se vyskytuje v řadě fázových složení, které se popisují podle metastabilního diagramu Fe-Fe₃C. Pomocí tohoto diagramu lze definovat mikrostrukturu oceli, která může být složena z feritu, cementitu, perlitu, austenitu, martenzitu či jejich kombinací a modifikací (Machek, 2015).

Z hlediska využití, zpracování a důležitých vlastností rozlišuje Vojtěch (2006) následující nejdůležitější druhy ocelí:

- hlubokotažné k tváření za studena,
- pro svařované konstrukce,
- automatové,
- se zvláštními magnetickými vlastnostmi,
- žáruvzdorné a žárupevné,
- s vysokou pevností,
- korozi vzdorné,
- nástrojové a jiné.

1.2 Hlubokotažné oceli

Zvláštním druhem ocelí pro výrobu plechů jsou tzv. hlubokotažné oceli. Vyznačují se především vynikající tvářitelností a svařitelností. Z mechanických vlastností mají však relativně nízkou pevnost i tvrdost.

¹ Dle Ocelářské unie (2020) činila spotřeba oceli za rok 2019 v Evropě 172 mil. tun.

V následujících podkapitolách jsou charakterizovány nejčastější druhy hlubokotažných ocelí používaných k výrobě výlisků karosářského typu.

1.2.1 Nízkouhlíkové oceli

Obsah C v oceli má významný vliv na její mechanické i technologické vlastnosti. S klesajícím podílem C v oceli se snižuje pevnost a zvyšuje se tažnost, tvářitelnost i svařitelnost. Z této závislosti vyplývá, že pro výrobu hlubokotažných plechů je zapotřebí ocel s nízkým obsahem C (tj. do 0,25 hm% C) (Vojtěch, 2006).

1.2.2 Oceli bez intersticií (IF oceli)

Podstatou IF ocelí (Interstitials Free Steels) je snížený obsah tzv. intersticiálních prvků ve struktuře oceli, čehož se dosahuje legováním Al a Ti. Přítomnost intersticiálních prvků (zejména atomů C a N) totiž zvyšuje pevnost oceli a zároveň dochází ke snížení její plasticity a tvařitelnosti za studena, což jsou vzhledem ke zpracovávání hlubokým tažením vlastnosti nežádoucí. Oceli bez intersticií (viz Obr. 3) tedy dosahují vynikajících hlubokotažných vlastností. Pevnostní vlastnosti mají však velmi nízké (Machek, 2015).



Zdroj: (ArcelorMittal, S.A., 2020)

Obr. 3 Přední kapota automobilu vyrobená z IF oceli

1.2.3 Oceli s BH efektem

Základním principem BH ocelí (Bake Hardening Steels) je dodatečné zvýšení jejich mechanických vlastností. BH ocel je dodávána se zvýšenou koncentrací C a N ve feritické matici. Jako taková má nízkou hodnotu meze kluzu a je dobře tvářitelná. Následným lisováním a vypalováním laku při teplotách 170 °C po dobu 20 minut dochází ke zvýšení pevnosti BH oceli (Janovec et al., 2008).

1.3 Další materiály pro stavbu karoserie

Napříč celou řadou dostupných materiálů lze mimo hlubokotažných ocelí využít pro konstrukci automobilové karoserie i další významné materiály. Jedná se zejména o vysokopevnostní oceli, slitiny Al-Mg, a v neposlední řadě o kompozitní materiály. Právě o těchto materiálech pro stavbu karoserie stručně pojednávají následující podkapitoly.

1.3.1 Vysokopevnostní oceli

Materiály s hodnotami smluvní meze kluzu $R_{p0,2} > 1400$ MPa, mnohdy až do 2000 MPa, se označují jako vysokopevnostní. Vynikajících pevnostních vlastností se u těchto ocelí dosahuje specifickou volbou chemického složení a tepelně mechanickým zpracováním. Mezi vysokopevnostní oceli se řadí zejména oceli martenzitické, dvoufázové, dále také TRIP a TWIP oceli (Machek, 2015).

1.3.2 Slitiny Al-Mg

Pro stavbu karoserie lze použít slitiny lehkých kovů, především pak slitiny Al-Mg. Duraly, jako slitiny s chemickým složením AlCu4Mg, vynikají dobrými mechanickými vlastnostmi při zachování nízké hustoty. Podstatně hůře však duraly odolávají atmosferické korozi, proto se dodatečně pokrývají vrstvou čistého Al, která zvyšuje jejich protikorozi ochranu (Vojtěch, 2006).

1.3.3 Kompozity

Kompozit se skládá ze dvou fází: matrice a výztuže. Pro konstrukční aplikace se využívají dlouhovláknové kompozity s polymerní maticí, kde jako výztuž slouží zejména skelná a uhlíková vlákna. Synergickým efektem je velmi nízká hmotnost za vysokých hodnot pevnosti a tuhosti (Janovec et al., 2008).

2 Vliv okolního prostředí na použitý materiál

Při uvažování o použití určitého materiálu v daném prostředí je nasnadě předem znát vlastnosti materiálu a jeho interakce s prostředím, ke kterým bude v závislosti na existenci základních činitelů systému znehodnocování materiálu docházet (viz Tab. 1).

Tab. 1 Přehled základních činitelů systému znehodnocování materiálu

Činitelé materiálu	Činitelé konstrukce	Činitelé prostředí	Časový součinitel
Chemické složení materiálu	Materiálová skladba	Chemické složení	Čas interakce
Struktura materiálu	Kombinace materiálů	Přítomnost stimulatorů	Četnost intervalů interakce
Nehomogenity struktury	Konstrukční uspořádání	Přítomnost inhibitorů	Čas a četnost bez interakce
Obsah příměsí	Spoje materiálů	Oxidačně-redukční vlastnosti	
Vnitřní pnutí	Povrchové úpravy materiálů	Teplota a teplotní změny	
Jakost povrchu	Opracování povrchu	Mechanické vlivy	
Čistota povrchu		Hydrodynamické podmínky	
		Hodnota pH a její změny	

Zdroj: (Tulka, 2005)

Jak píše Tulka (2005, str. 9) „U technicky významných materiálů dochází znehodnocováním vlivem okolního prostředí především ke snižování nebo ztrátě užitečných vlastností.“ V ideálním případě je tedy třeba vhodně zvolit a modifikovat použitý materiál i dané prostředí tak, aby mohlo být dosaženo maximálního užitku, bezpečnosti a životnosti materiálu.

Automobily jsou provozovány v atmosferickém prostředí, které se vyznačuje specifickými podmínkami. Mezi takové podmínky patří změny teploty a vlhkosti vzduchu a jeho znečištění. Dále pak změny počasí (sluneční záření, déšť, sněžení). Atmosferické podmínky jsou proměnlivé a nelze je ovlivnit. V atmosferickém prostředí je jedinou možností k potlačení znehodnocování materiálu vlivem okolního prostředí vhodně zvolit a modifikovat použitý materiál (Tulka, 2005).

2.1 Koroze

Naprosto zásadním a nejdůležitějším faktorem znehodnocování kovových materiálů je koroze². V následujících podkapitolách je pojem koroze definován a rozdělen dle různých hledisek. Vzhledem k provoznímu prostředí automobilů je pozornost této kapitoly zvláště věnována atmosferické korozi.

2.1.1 Definice a rozdělení

Korozi lze definovat jako znehodnocení materiálu způsobené vlivem reakce tohoto materiálu s okolním prostředím. Výsledkem korozní reakce je korozní produkt, který lze v pokročilém stádiu znehodnocení materiálu pozorovat přímo na povrchu napadeného materiálu např. ve formě rzi (viz Obr. 4).

Koroze kovů může probíhat v mnoha prostředích. Za zmínku stojí koroze ve vodách, vodných roztocích solí, v kyselinách, dále pak v půdě, atmosféře, a v dalších (Groysman, 2010).

Korozní reakce je zpravidla chemického nebo elektrochemického charakteru. Chemická korozní reakce vzniká v plynných prostředích za vyšších teplot a také v elektricky nevodivých kapalných prostředích. Zatímco elektrochemická reakce probíhá zejména ve vodivých kapalných prostředích za přítomnosti elektrolytu. Jedním z druhů elektrochemické koroze je právě koroze atmosferická (Míšek a Hrstka, 1982).

² Asociace korozních inženýrů (2020) uvádí, že ve vyspělých ekonomikách jsou náklady způsobené korozi kovů odhadovány na 3-5 % HDP. Pro Českou republiku to znamená náklady ve výši přes 200 miliard Kč ročně, v přepočtu pak přibližně 20 000 Kč na obyvatele za rok.



Zdroj: (Shur-Way Auto Body, 2017)

Obr. 4 Ukázka korozního napadení karoserie automobilu

2.1.2 Druhy korozního napadení

Za základní selekci korozního napadení z hlediska mechanismu vzniku lze považovat korozi rovnoměrnou (plošnou) a korozi nerovnoměrnou (lokální). Plošná koroze probíhá rovnoměrně v rámci celého povrchu vystaveného koroznímu prostředí, a to poměrně stejnou rychlostí. Koroze nerovnoměrná napadá povrch pouze na určitých místech, nicméně agresivněji, než je tomu při korozi plošné (Hluchý a Haněk, 2001).

2.1.3 Atmosferická koroze

Atmosféra³ je složena z molekul N_2 (78 %), molekul O_2 (21 %) a dalších plynů. Hlavními faktory prostředí ovlivňujícími korozi kovů v atmosféře jsou relativní vlhkost, obsah plynů (např. CO_2 , SO_x , NO_x , NH_3), obsah solí ($NaCl$, $MgSO_4$), znečištění atmosféry (částice uhlí, písku, kovů a jejich oxidů) a v neposlední řadě teplota a její změny (Groysman, 2010).

³ Pro zjednodušení je na tomto místě označením atmosféra zamýšlena troposféra, tedy nejnižší vrstva atmosféry a její jediná vrstva, na které existuje lidský život.

Důsledkem existence celé řady faktorů, které korozi podporují je, že veškeré kovové produkty, vystavené atmosférickým podmínkám, podléhají korozi (Groysman, 2010).

Spouštěčem atmosferické koroze je dostatečná vlhkost vzduchu, která nastává již při 60 % relativní vlhkosti. V takovém případě dochází na povrchu kovu ke vzniku tenké vrstvy elektrolytu, za jehož přítomnosti korozní reakce s prostředím vzniká. Následná korozní reakce probíhá právě v této vytvořené vrstvě elektrolytu (Novák).

3 Aktuální trendy povrchových úprav plechů

Povrchové úpravy představují v automobilovém průmyslu, ale i v dalších průmyslových odvětvích, velmi významnou součást výrobních technologií⁴. Základní materiál automobilové konstrukce, jímž je nejčastěji ocel, nedosahuje bez úpravy dostatečných povrchových vlastností. Z tohoto důvodu je třeba povrch základního materiálu vhodně upravit.

Hlavními přínosy povrchových úprav je zvýšení korozní odolnosti, úprava vzhledu a zlepšení technologického zpracování.

První fází procesu povrchových úprav je předúprava povrchu, ke které slouží přípravné operace, jejichž význam je pro nanášení dalších povrchových úprav klíčový (viz kapitola 3.1). Na vhodně upravený povrch se následně nanáší různé druhy povlaků a vrstev s určitými vlastnostmi.

3.1 Přípravné operace

Pro správnou funkci a dlouhotrvající životnost povrchové úpravy vyžadují náležitou přípravu povrchu. V průběhu výroby, dopravy, či skladování se na povrchu součástek zachycují různé nečistoty, jejichž přítomnost je pro povrchové úpravy nežádoucí. Z tohoto důvodu se musí nečistoty z povrchu eliminovat. Dále přípravné operace zajišťují úpravu drsnosti povrchu či dostatečnou přilnavost povrchu pro aplikace různých druhů vrstev a povlaků.

V praxi jsou konečné vlastnosti povrchově upravených konstrukčních dílů volbou přípravných operací významně ovlivněny. Pro dosažení vyhovujících výsledků přípravy povrchu je třeba mnohdy dané předúpravy kombinovat.

Přípravné operace lze rozdělit z hlediska vnějšího působení na úpravy mechanické a chemické.

3.1.1 Mechanické úpravy povrchu

Za nejpoužívanější mechanické úpravy povrchu lze považovat broušení, leštění a otryskávání. V průběhu těchto úprav dochází ke styku opracovávaného povrchu s technologickým nástrojem za působení síly. V následujících podkapitolách jsou o těchto mechanických úpravách podány základní informace.

⁴ Dle Hluchého (2001) znamenají povrchové úpravy automobilu 1/5 jeho vlastních nákladů.

Broušení

Broušení představuje dokončovací operaci technologie obrábění rovinných a válcových ploch. Je vhodné především pro výrobky vyžadující vysoké požadavky na jakost povrchu.

Brusný nástroj je zpravidla opatřen plstěným rotačním kotoučem. Dle typu prováděné operace (hrubování, hlazení, jemné hlazení, předleštění) se volí vhodné brusivo s odlišnou zrnitostí, kterým je po svém obvodu rotační kotouč opatřen (Tulka, 2005).

V praxi bývá broušení prováděno na daném povrchu opakovaně za použití rotačních kotoučů s postupně klesající zrnitostí brusiva. Výsledek po broušení je ovlivněn nejen použitím určitého typu kotouče a brusiva, ale dále také velikostí přítláčné síly působící na broušený povrch či rychlostí otáčení brusného kotouče.

Leštění

V praxi je leštění do jisté míry podobný úkon jako mechanické broušení s hlavními rozdíly v použití značně menší přítláčné síly a nižší rychlosti otáčení rotačního kotouče. Z ekonomické stránky je leštění z hlediska porovnání mechanických úprav povrchu velmi nákladné.

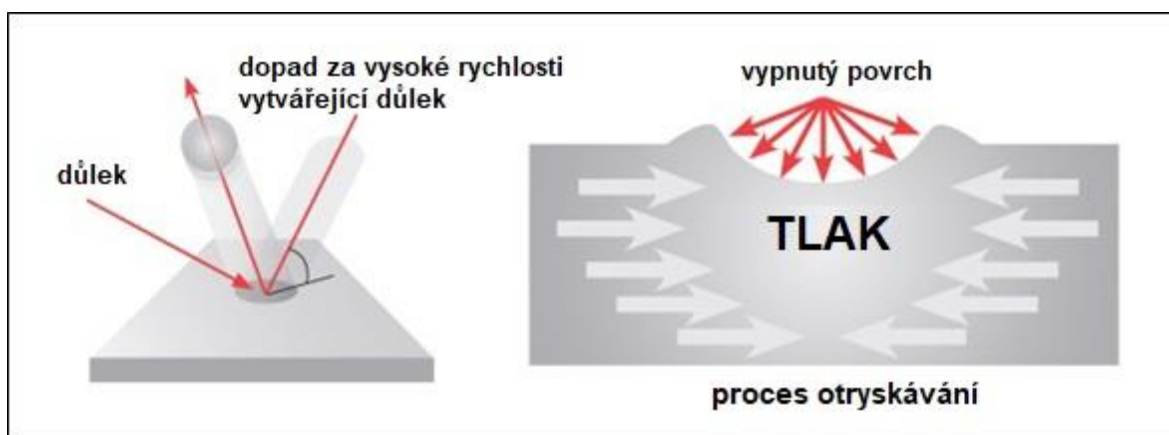
Leštící kotouče jsou obvykle z textilních či plastových materiálů s nanesenými leštícími tukovými pastami. Pro opracovávání odlišných materiálů je využíváno různorodých leštících kotoučů a leštících past. Používáno je brusivo o velmi jemné zrnitosti (Tulka, 2005).

V důsledku mimořádně jemného povrchu s minimální drsností, který po leštění vzniká, se tato metoda využívá mimo jiné jako finální úprava vzhledu hotového výrobku.

Otryskávání

Otryskáváním lze docílit očištění povrchu od nečistot, zpevnění povrchu a do jisté míry dochází ke zvýšení odolnosti proti korozi. Výhodou této technologie je možnost opracovávat i značně členité povrchy a méně dostupné plochy složitých konstrukcí.

Při otryskávání dochází k proudění tryskacího média příhodnou rychlostí na povrch opracovávaného výrobku (viz Obr. 5). Výsledek je ovlivněn především kinetickou energií dopadajícího média, jeho tvarem a materiálem (Tulka, 2005).



Zdroj: (Curtiss Wright Surface Technologies, 2015)

Obr. 5 Schématická ukázka funkce otryskávání povrchu

Jako tryskací médium lze dle Hrstky (1982) použít:

- litinovou drť a broky (do tlaku 0,7 MPa),
- křemičitý písek (do tlaku 0,3 MPa),
- ocelový sekaný drát,
- umělé a speciální materiály – např. skleněné kuličky,
- brusiva – např. SiC, Al₂O₃.

Dle způsobu dodání pohybové energie tryskacímu médiu rozděluje Tulka (2005) otryskávání na:

- pneumatické s využitím stlačeného vzduchu,
- vzducho-kapalinové pomocí kapaliny rozptýlené stlačeným vzduchem,
- tlakovou kapalinou,
- metacími koly nebo lopatkami.

3.1.2 Chemické úpravy povrchu

Zatímco při mechanických úpravách povrchu dochází k působení síly na opracovávaný povrch, v případě chemických úprav je výsledku dosaženo účinkem různých chemických produktů, přesněji chemickými reakcemi mezi produktem a povrchem. Mezi nejčastěji používané chemické úpravy povrchu patří odmašťování a moření, o kterých pojednávají následující podkapitoly.

Odmašťování

Odmašťováním se z povrchu eliminují vodou nesmáčené nečistoty, které se jednoduše nazývají mastnoty. Mezi tyto nečistoty lze zařadit rostlinné či živočišné tuky, minerální oleje, saze a prach (Míšek a Hrstka, 1982).

V praxi existují mnohé metody odmašťování. Mezi základní metody patří odmašťování ve vodných alkalických přípravcích a odmašťování v organických rozpouštědlech. První zmíněnou metodou se odstraňují především rostlinné a živočišné tuky, které se působením alkalických odmašťovadel rozpouštějí. Druhá metoda využívá např. organických uhlovodíků, které snadno rozpouštějí minerální oleje a vosky. Obě zmíněné metody se provádějí ponorem odmašťované součástky do odmašťovací lázně (Soukup a Ruml, 1978).

Moření

Hlavním účelem moření je zejména odstranění rzi a okují z povrchu kovu. Rovněž lze použitím této metody zbavit povrch organických či anorganických nečistot (Šturc a kolektiv, 1985).

Moření se provádí v mořících lázních či postřikem kovu mořícím přípravkem. Působícími látkami jsou koncentráty H_2SO_4 a HCl .

Použití H_2SO_4 se využívá zejména při moření plechů v hutích. Naopak použití HCl je typické pro moření před smaltováním, zinkováním nebo cínováním. Nakonec se mořený povrch očistí tlakovou vodou (Míšek a Hrstka, 1982).

3.2 Nekovové anorganické povrchové úpravy

Konverzní vrstvy oxidů, fosforečnanů či chromanů vytvořené na povrchu základního kovu chemickými nebo elektrochemickými postupy, spadají společně s technologií pasivace povrchu mezi základní druhy nekovových anorganických povrchových úprav (Němec, 2007).

V následujících podkapitolách je věnována pozornost pro ocelové plechy typickým konverzním vrstvám, tedy fosfátovým povlakům a následně technologii pasivace povrchu.

3.2.1 Fosfátování

Fosfátováním se na povrchu základního kovu, především oceli a Zn, vytváří vrstva nerozpustných fosforečnanů. Tato vrstva může být pórovitá, proto je fosfátování vhodné jako podkladová vrstva pod organické nátěrové hmoty, které při aplikaci na daný povrch vyplní pórovitá místa a tím dobře přilnou k povrchu. Fosfátová vrstva zaujímá zejména funkci korozní ochrany základního kovu a zvyšuje přilnavost povrchu, nicméně nachází své využití i v dalších směrech (Kalendová, 2003).

Hlavní látkou fosfátovacího přípravku je směs $Zn(H_2PO_4)_2$ a H_3PO_4 . Fosfátování se provádí buď ponorem základního materiálu do horké lázně za teplot těsně pod bodem varu, anebo za použití speciálních přípravků lze fosfátovat i za studena při teplotách lázně 40–60 °C. Zatímco v horké lázni vzniká na povrchu základního materiálu hrubá krystalická vrstva, ve studené lázni dochází ke vzniku jemnější vrstvy, která se lépe hodí pod nátěry, neboť nátěrovou vrstvu nerozrušuje. Fosfátování lze provádět také nástřikem fosfátovacího přípravku (Kalendová, 2003).

Fosfatizační proces se skládá ze samotného fosfátování a následně je třeba s povrchem dále pracovat. Provádí se chromátový oplach, který pasivuje póry a podporuje odolnost vrstvy. Po oplachu se povrch suší. Nakonec přichází na řadu impregnace povrchu pomocí oleje, vazelíny nebo vosku, což zvyšuje korozní odolnost fosfátové vrstvy (Kraus, 2000).

3.2.2 Pasivace povrchu

Povrch oceli lze také upravovat tzv. pasivací, která má za výsledek vytvoření pasivní vrstvy na povrchu. Tato operace se provádí podobným způsobem jako operace moření, jenže s použitím pasivačních přípravků. Moření a pasivace se často provádějí v řadě, přičemž nejprve se mořením povrch zbaví nečistot a následnou pasivací získává na dobrých protikorozních vlastnostech (Kalný, 2018).

3.3 Kovové povlaky

Pro povrchové úpravy plechů karosářského typu nacházejí svou uplatnitelnost také některé kovy. Jedná se zejména o kovové povlaky Zn a Cr. Jejich význam spočívá jednak v protikorozní ochraně, také však v úpravě vzhledu.

Kovové povlaky se nejčastěji aplikují na povrch plechu elektrolyticky pomocí elektrolýzy, žárově ponořením povlakovaného plechu do lázně s roztaveným kovem nebo případně stříkáním roztaveného kovu na povrch plechu. Povrchové úpravy plechů kovovými povlaky jsou v současnosti běžnou praxí využívanou nejen v automobilovém průmyslu.

3.3.1 Zinkové povlaky

Kovové povlaky Zn se v automobilovém průmyslu využívají jako kvalitní ochrana plechů proti atmosferické korozi. Dojde-li na povrchu plechu k vytvoření vrstvy elektrolytu, pak Zn vytváří tzv. obětovanou anodu. Důvodem je jeho nižší elektroodový potenciál oproti Fe ve vztahu ke standardnímu potenciálu vodíkové elektrody. V takovém případě dochází ke korozi Zn, nikoliv podkladové oceli. Navíc se v případě působení korozního prostředí vytváří na povrchu Zn povlaku stabilní ochranná vrstva. Důsledkem těchto dvou vlastností Zn povlaků je korozní rychlost povlaku významně nižší než korozní rychlost oceli (Tulka, 2005).

3.3.2 Chromové povlaky

Význam Cr povlaků má mimo protikorozních účinků zejména dekorativní účely. Stříbrolesklý vzhled Cr povlaku je vhodný pro aplikace na pohledové díly automobilové karoserie, např. masky chladičů, lišty, znaky a jiné díly, kterým Cr povlak dodává vytríbený vzhled.

3.4 Organické povrchové úpravy

Obecně nejznámější metodou povrchových úprav automobilů je tzv. lakování, které se řadí mezi organické povrchové úpravy.

Lakování je pro pohledové díly automobilové karoserie zcela typickou finální úpravou povrchu. Lze tak na povrchu dosáhnout celé škály barevných odstínů a mimo to má přítomnost lakované vrstvy pozitivní účinek na životnost materiálu především z hlediska korozní odolnosti.

V dnešní době bývá celý proces lakování v sériové výrobě automobilů plně automatizovaný. Provádějí jej průmysloví roboti se speciálními efekty⁵ (viz Obr. 6).

Proces lakování se skládá z mnoha navazujících operací. Nejprve se povrch očistí od nečistot, odmastí se a vytvoří se na něm fosfátová vrstva. Po těchto předúpravách se na povrch nanese základová barva, která vytváří základ pro vrchní lak. Následně se na povrch aplikuje tzv. plnič, který přispívá k adhezi základové a vrchní barvy. Plnič také chrání povrch před nárazy, např. od kamínek dopadajících na povrch v důsledku jízdy automobilu po pozemní komunikaci. Poslední aplikovanou vrstvou je vrchní lak, který se na povrch nanáší nejčastěji ve dvou vrstvách pro podporu životnosti a kvality povrchové úpravy lakování. Poslední fází procesu lakování je sušení (Garage Eastwood, 2014).



Zdroj: (ŠKODA Storyboard, 2019)

Obr. 6 Aplikace vrstvy barevného laku na karoserii pomocí robotů

⁵ Efektor je v robotice označení pro koncový člen robota. V případě lakování je efekterem stříkací pistole.

4 Praktická část

Cílem praktické části této bakalářské práce je vyhodnocení vhodnosti, výhod a nevýhod vybraných druhů povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu. Vyhodnocení těchto hledisek proběhlo na základě provedené analýzy, jejíž nejdůležitější částí byla tribologická zkouška protahováním pásku, která proběhla za daných tribologických podmínek. Testovanými vzorky byly zvoleny dva různé druhy povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu, a to žárový Zn povlak HDG a elektrolytický Zn povlak s vrstvou fosfátu EG+PH.

Navíc, praktická část této bakalářské práce přináší také informace o aktuálním využití povrchových úprav plechů ve společnosti ŠA, pojednává o termínu drsnosti povrchu jako o jednom ze vstupních parametrů tribologické zkoušky a blíže představuje dva různé typy Zn kovových povlaků.

4.1 Představení povrchových úprav plechů ve Škoda Auto

Na úvod představení povrchových úprav plechů využívaných ve ŠA je na místě zjednodušeně nastínit procesy a zvyklosti, které jsou spjaté s výrobou automobilové karoserie ve ŠA.

Technický vývoj ŠA vyvíjí automobilové karoserie, jejichž konstruktéři předepisují na technických výkresech pro dané díly karoserie určité požadavky. Těmito požadavky jsou mimo pevnostních vlastností plechů a jejich technologického zpracování míněny také požadavky na kvalitu povrchu, tloušťku a typ Zn vrstvy. Dále lze zmínit požadavky na dodatečné povlaky, jež zlepšují technologické vlastnosti plechů při zpracování.

Nákup ŠA obstarává od oceláren plechové svitky, které již zmíněné předepsané požadavky splňují. Ve výrobě ŠA se plechové svitky na nástřihové lince stříhají na požadovanou délku (popř. tvar) a následně se plechy lisují. Poté přichází řada na svařování či lepení jednotlivých dílů, čímž vznikne konstrukční celek. Takto zpracovaná karoserie se následně pomocí dopravníku přemísťuje do lakovny. Ještě před samotným lakováním karoserie ve ŠA se využívají předúpravy povrchu. Zejména odmašťování a fosfátování, jež společně zajistí dostatečnou přilnavost nanášeného laku.

Po lakování karoserie přichází řada na montáž, kde se z povrchově upravené a sestavené karoserie stává hotový výrobek – osobní automobil, připravený k prodeji.

Z hlediska povrchových úprav plechů jsou ve ŠA využívány jako hlavní protikorozní ochrana karoserie Zn povlaky. Pohledové díly mají nejvyšší požadavky na kvalitu Zn vrstvy, zatímco na nepohledové díly jsou tyto požadavky podstatně nižší a existují i určité výjimky, pro které se Zn vrstvy nepředepisují. Jedná se o tzv. černé plechy (např. příčníky), které se nacházejí v rámci karoserie v korozně nerizikových zónách.

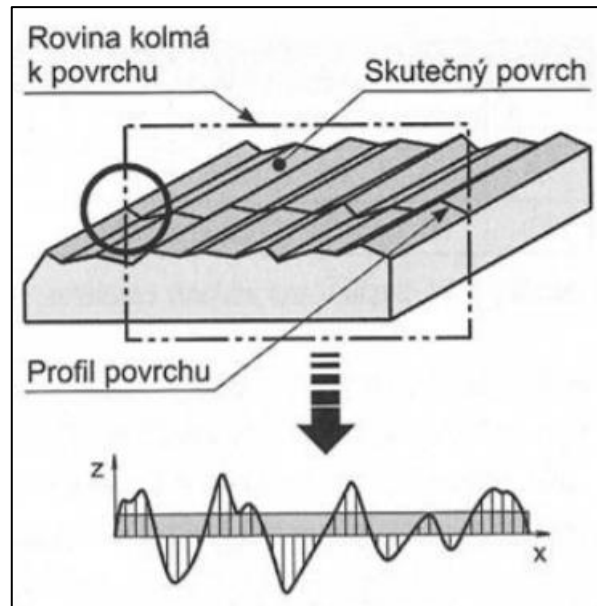
Ve ŠA se využívají k ochraně dílů, vystavených v rámci automobilové karoserie korozně rizikovým zónám, následující druhy Zn povlaků:

- HDG povlaky (viz kapitola 4.3),
- HDG povlaky s přidavkem Mg – povlak Zn-Mg má vyšší korozní odolnost,
- NIT (New Inorganic Treatment) - anorganický povlak, který podporuje tváření zlepšováním tribologických vlastností plechů,
- EG povlaky (viz kapitola 4.4) s vrstvou fosfátu – fosfátová vrstva působí jako tuhé mazivo a chrání Zn povlak před oděrem.

4.2 Drsnost povrchu

Při pohledu na povrch konstrukčního pohledového dílu pouhým okem lze usoudit, že je povrch hladký. Využije-li se však k analýze povrchu přesná měřicí technika operující v jednotkách μm , lze zjistit skutečnost, že povrch z profilu připomíná několik v řadě navazujících vrcholů a prohlubní (viz Obr. 7).

Vyrobít dokonale hladký povrch je nad schopnosti výrobních technologií používaných nejen v rámci automobilového průmyslu. Každý technologický nástroj, se kterým přijde povrch opracovávaného výrobku do styku, totiž zanechává na povrchu výrobku svůj obraz (obtisk), který stejně jako opracovávaný povrch nemůže být dokonale hladký. Z tohoto důvodu se na povrchu vyskytují, v relativně malých vzdálenostech, určité odchylky od dokonale hladkého povrchu. Každý povrch je tak do jisté míry „drsny“ a k popisu této vlastnosti se definuje termín drsnosti povrchu a jeho normalizované parametry (Řasa et al., 2003).



Zdroj: (Řasa et al., 2003)

Obr. 7 Princip promítnutí profilu povrchu

4.2.1 Základní parametry drsnosti povrchu dle technických norem

Technická norma ČSN EN ISO 4287, pojednávající o geometrických požadavcích na výrobky, přináší termíny, definice a parametry struktury profilu povrchu. Zmíněná technická norma definuje následující normalizované parametry sloužící k hodnocení struktury povrchu z profilu:

- P-parametry - parametry, vycházející ze základního profilu,
- W-parametry - parametry vlnitosti, vycházející z profilu vlnitosti,
- R-parametry - parametry drsnosti, vycházející z profilu drsnosti.

S ohledem na význam této podkapitoly je pozornost nadále věnována pouze normalizovaným R-parametrům drsnosti povrchu vycházejícím z profilu drsnosti.

Technická norma ČSN EN ISO 4287 stanovuje následující nejčastěji užívané normalizované R-parametry popisující drsnost povrchu (viz Obr. 8):

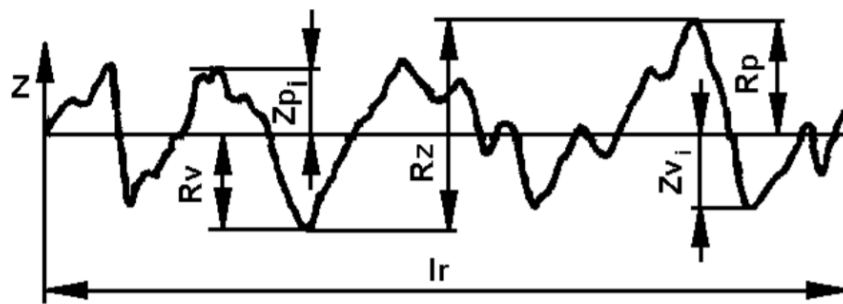
- R_p - největší výška výstupku profilu Z_p v rozsahu základní délky l_r . Z_p je definována jako vzdálenost mezi střední čarou a nejvyšším bodem výstupku profilu.
- R_v - největší hloubka prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky l_r . Z_v je definována jako vzdálenost mezi střední čarou a nejnižším bodem prohlubně profilu.

- R_z - největší výška profilu v rozsahu základní délky l_r . Je to součet nejvyššího výstupku Z_p a nejnižší prohlubně profilu Z_v .
- R_a - průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu. Je to aritmetický průměr absolutních hodnot všech pořadic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . Vypočítá se podle rovnice (1).

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (1)$$

Další technická norma ČSN EN 10049 (422001) zavádí normalizovaný R-parametr drsnosti povrchu RP_c a definuje jej jako počet vrcholů nad určitou výškovou tolerancí na 1 cm povrchu.

Právě hodnoty normalizovaných R-parametrů drsnosti povrchu R_a a RP_c budou vyhodnoceny na zkušebních vzorcích pro tribologickou zkoušku (viz kapitola 4.5.4).



Zdroj: (Petřkovská, 2013)

Obr. 8 Grafické zobrazení parametrů R_p , R_v , a R_z

4.2.2 Měření drsnosti povrchu

Pro přesné měření hodnot normalizovaných R-parametrů drsnosti povrchu se v praxi nejčastěji používá digitální drsnoměr⁶ (viz Obr. 9). Jedná se o mobilní kompaktní zařízení, jehož hlavní součástí je speciální snímač. Měření se provádí pohybem snímače po posuzovaném povrchu. Drsnoměr měří hodnoty normalizovaných R-parametrů v jednotkách μm .

⁶ Firma Metrology s.r.o. jako generální zástupce výrobců přesné měřicí techniky nabízí digitální drsnoměry v cenových relacích od 25 000 Kč do 150 000 Kč.



Zdroj: (Metrology, 2020)

Obr. 9 Digitální drsnoměr TR-200/220 od výrobce INNOVATEST

4.2.3 Morfologie pracovních válců při válcování

Drsnost povrchu představuje významnou roli i pro výrobní technologii válcování plechů. Tečná složka síly při válcování, jejíž hodnota je při válcování klíčová, vzniká právě tehdy, když mezi tvářeným plechem a pracovním válcem vzniká tření. Právě koeficient tření mezi těmito dvěma povrchy je jediným parametrem ovlivňujícím velikost tečné složky síly. Pro záběr pracovního válce při válcování plechu je nutné splnění podmínky, aby hodnota tečné složky síly byla vyšší než hodnota normálové složky síly. Splnění této podmínky lze zajistit vysokou hodnotou drsnosti povrchu pracovního válce.

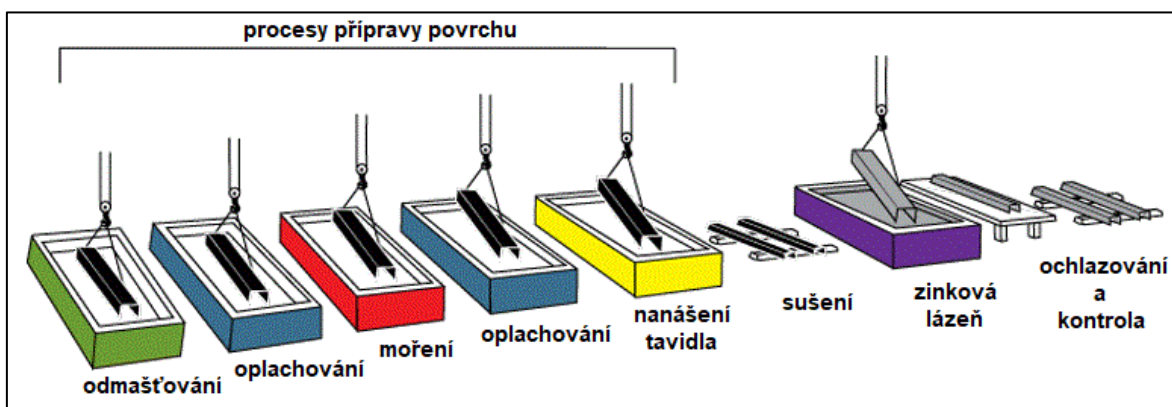
Povrchy pracovních válců lze zdrsňovat nejjednodušeji např. otryskáváním. Avšak pro nejkvalitnější plechy pro pohledové díly používané v automobilovém průmyslu se využívá metoda úpravy drsnosti povrchu pomocí elektronového děla.

4.3 Žárové zinkování HDG

Technologie žárového zinkování HDG (Hot-Dip Galvanizing) má svou hlubokou minulost i perspektivní budoucnost. Využívá se hojně po celém světě, a to zdaleka nejen v automobilovém průmyslu k ochraně kovových materiálů proti korozi. Podstatou technologie HDG je nanášení Zn povlaku na povrch kovu, zejména pak oceli, ponořováním do lázně s roztaveným Zn (viz Obr. 10).

Proces HDG se skládá ze tří fází. Samotnému zinkování předcházejí procesy přípravy povrchu, které zajistí správnou reakci Zn a Fe v roztavené lázni. Ocel se odmašťuje, moří, nanáší se na ni tavidlo, mezi těmito kroky se oplachuje, a nakonec se ocel suší. Po přípravách povrchu přichází na řadu zinkování.

Lázeň s roztaveným Zn je udržována při teplotě přibližně 449 °C. Ponořením oceli do lázně začne roztavený Zn reagovat s Fe a na povrchu oceli se vytváří řada mezikovových vrstev slitiny Zn-Fe. Jakmile ponořená ocel dosáhne teploty lázně, zinkování je u konce a ocel se z lázně vyjme. Po vyjmutí je třeba ocel zchladit např. v pasivačním roztoku či ve vodě. Poslední fází HDG je kontrola Zn povlaků, zejména pak jejich tloušťky a vzhledu (Lindsley, 2020).



Zdroj: (Lindsley, 2020); jazyková úprava autorem

Obr. 10 Proces žárového zinkování HDG

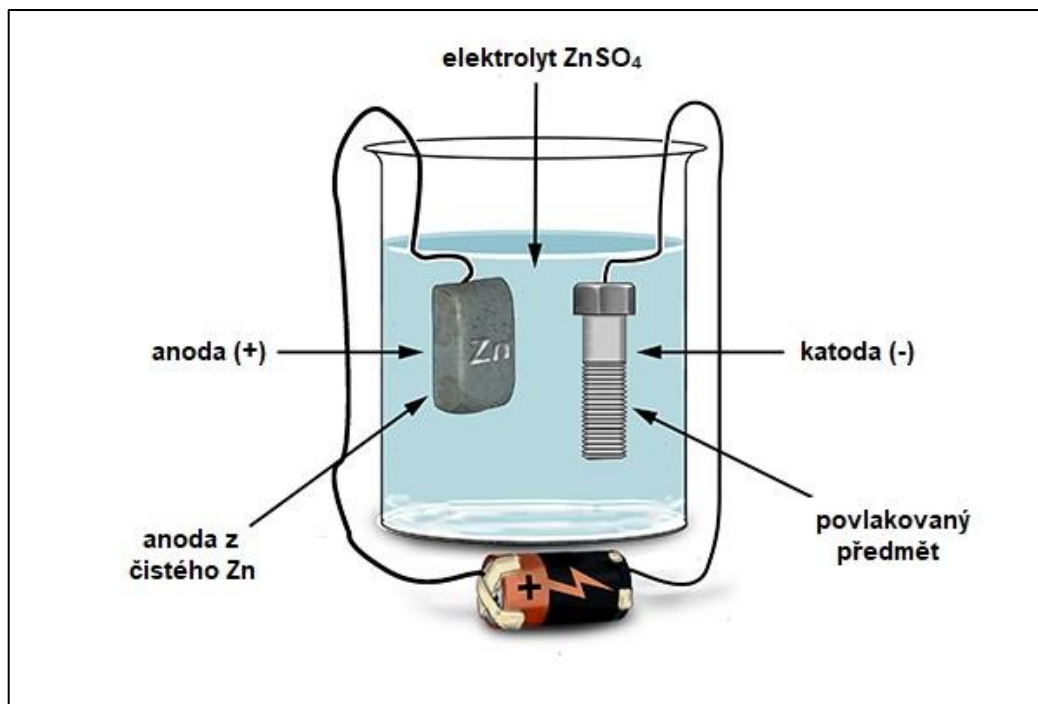
Žárové zinkování ocelí má své výhody ve velmi nízkých počátečních nákladech, snadné proveditelnosti, dostupnosti, udržitelnosti, univerzálnosti použití a v neposlední řadě v životnosti Zn vrstvy, která zajišťuje velmi účinnou ochranu ocelí proti korozi.

4.4 Elektolytické zinkování EG

Další metodou nanášení Zn povlaků na povrch plechu je elektolytické neboli galvanické zinkování. Tato metoda poskytuje plechu lepší tribologické vlastnosti a chrání ho před korozi. V současné době, vzhledem ke zvýšené ochraně životního prostředí, je však využívání EG na ústupu. Důvodem jsou používané kyselinové lázně při výrobě, jejichž likvidace představuje pro životní prostředí velkou ekologickou zátěž.

Samotné fázi zinkování opět předchází příprava povrchu, která zajistí správnou adhezi Zn povlaku k povrchu plechu. Obvykle se používá alkalický roztok k čištění povrchu od nečistot a následně se povrch moří pro odstranění povrchové rzi. Postup při elektolytickém zinkování nadále vychází z podstaty elektrolýzy (viz Obr. 11). Dvěma elektrodami ponořenými v elektrolytu prochází stejnosměrný elektrický proud. Kladně nabitá rozpustná anoda je zhotovená z čistého Zn.

Záporně nabitou katodou je pokovovaný plech. Nejčastěji se používají elektrolyty ZnSO_4 . K tvorbě povlaku dochází, když se kladně nabitě ionty Zn v roztoku elektricky redukuje na kov Zn a ukládají se na záporně nabitou katodu. Nakonec se pokovený plech pokryje vrstvou fosfátu, která chrání Zn povlak před oděrem.



Zdroj: (Mammoth Memory, 2020); jazyková úprava autorem

Obr. 11 Schéma elektrolytického zinkování EG

Po elektrolytickém zinkování vzniká na povrchu plechu velmi tenký povlak čistého Zn pevně přilnutého k povrchu. Povlak zanechává povrch plechu poměrně hladký a lesklý. Povlak je vysoce tvárný a zůstává neporušený i v případě silné deformace plechu.

4.5 Tribologická zkouška protahováním pásku

Jednou z materiálových zkoušek využívaných v automobilovém průmyslu je tribologická zkouška protahováním pásku. Zkouška slouží k vyhodnocení tribologických⁷ vlastností posuzovaného materiálu a je vhodná pro analýzu povrchových úprav plechů. Interpretace výsledků zkoušky slouží v praxi zejména pro posouzení tribologických parametrů při zpracování daného plechu v lisovně.

⁷ Tribologie je vědecký obor nauky o tření.

Tribologické vlastnosti plechů úzce souvisí s jejich povrchovými úpravami. Vyrobené plechy si totiž většinou na svém povrchu nesou již nanesené Zn povlaky HDG a EG. Aby při následném lisování nedocházelo v závislosti na tření k mechanickému narušení⁸ HDG a EG Zn povlaků, čímž by docházelo ke znehodnocování jejich funkce, je nutné předem tribologické vlastnosti plechů vyhodnotit.

4.5.1 Popis zařízení SOKOL 400

K provedení tribologické zkoušky protahováním pásku bylo použito vysokorychlostní zařízení SOKOL 400 (viz Obr. 12). Zařízení díky své konstrukci vycházející z technické praxe a možnosti nastavení vstupních parametrů, umožňuje testovat povrch zkušební vzorku plechu vzhledem k jeho tribologickým vlastnostem.



Obr. 12 Pracoviště vysokorychlostního zařízení SOKOL 400

Konstrukčně se zařízení SOKOL 400 skládá ze dvou čelistí, přičemž jedna čelist je nehybná a druhá, hydraulická čelist, umožňuje vyvodit přednastavený kontaktní tlak na zkušební vzorek, který je mezi čelistmi sevřen. Zařízení je schopné protahovat zkušební vzorek mezi čelistmi rychlostmi posuvu od 1 do 400 mm/s.

⁸ Nejčastěji se jedná o problém tzv. zadírání Zn vrstvy.

Velikost kontaktní plochy mezi zkušebním vzorkem a čelistmi je definována funkční plochou čelistí, jelikož šířka zkušebního vzorku je vždy o něco větší než šířka čelistí.

4.5.2 Popis zkoušky

Tribologická zkouška protahováním pásku spočívá v protažení zkušebního vzorku, sevřeného mezi čelistmi, konstantní rychlostí posuvu za definovaných hodnot vstupních parametrů (viz kapitola 4.5.5).

Čelisti působí na zkušební vzorek konstantní normálovou silou F_N , kterou v závislosti na kontaktní ploše S vytváří na zkušebním vzorku přednastavený kontaktní tlak p dle rovnice (2).

$$p = \frac{F_N}{S} \quad (2)$$

Kde: p - kontaktní tlak [MPa],
 F_N - normálová síla [N],
 S - kontaktní plocha [mm²].

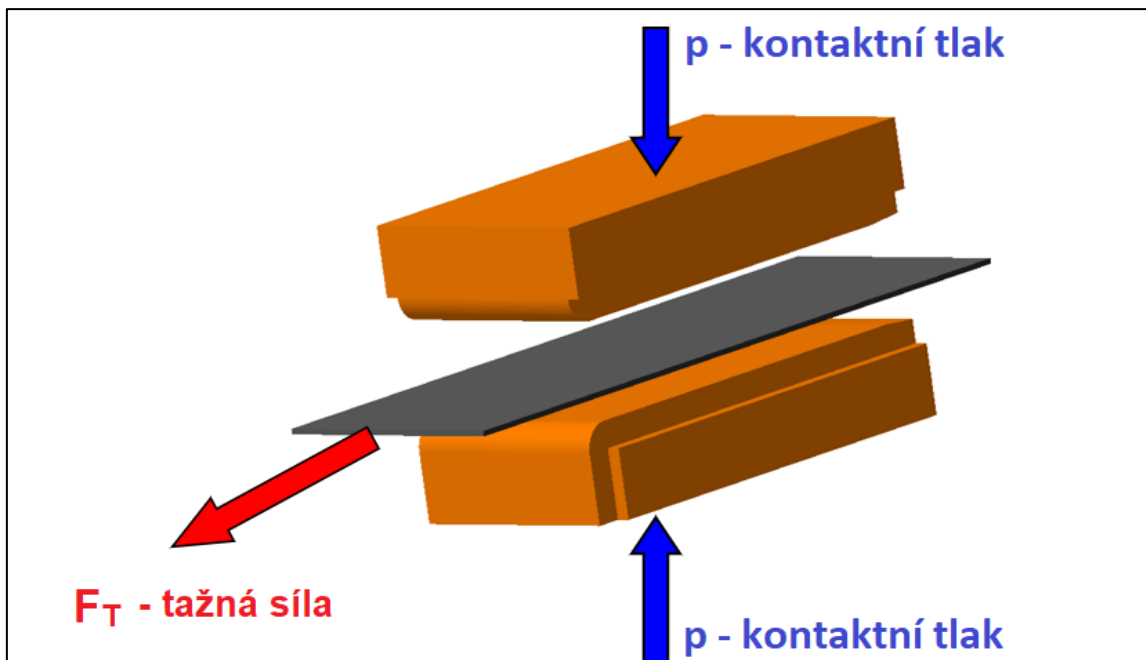
Měřenou hodnotou je tažná síla F_T potřebná k protažení zkušebního vzorku mezi čelistmi (viz Obr. 13). Různé typy tažných sil, které lze vyhodnocovat jsou uvedeny v kapitole 4.5.6. Výsledkem zkoušky je protokol s grafickým záznamem závislosti tažné síly F_T na dráze (viz Přílohy 1, 2).

V závislosti na naměřené hodnotě tažné síly F_T , přednastavených hodnotách kontaktního tlaku p a kontaktní plochy S , lze následně vypočítat dle rovnice (3) hodnotu koeficientu tření μ pro daný zkušební vzorek.

$$\mu = \frac{F_T}{2 \cdot p \cdot S} \quad (3)$$

Kde: μ - koeficient tření [-],
 F_T - tažná síla [N].

Právě koeficient tření μ slouží (vedle různých hodnot naměřených tažných sil) jako hlavní parametr k vyhodnocení tribologických vlastností měřeného systému.



Obr. 13 Schéma principu tribologické zkoušky protahováním pásku

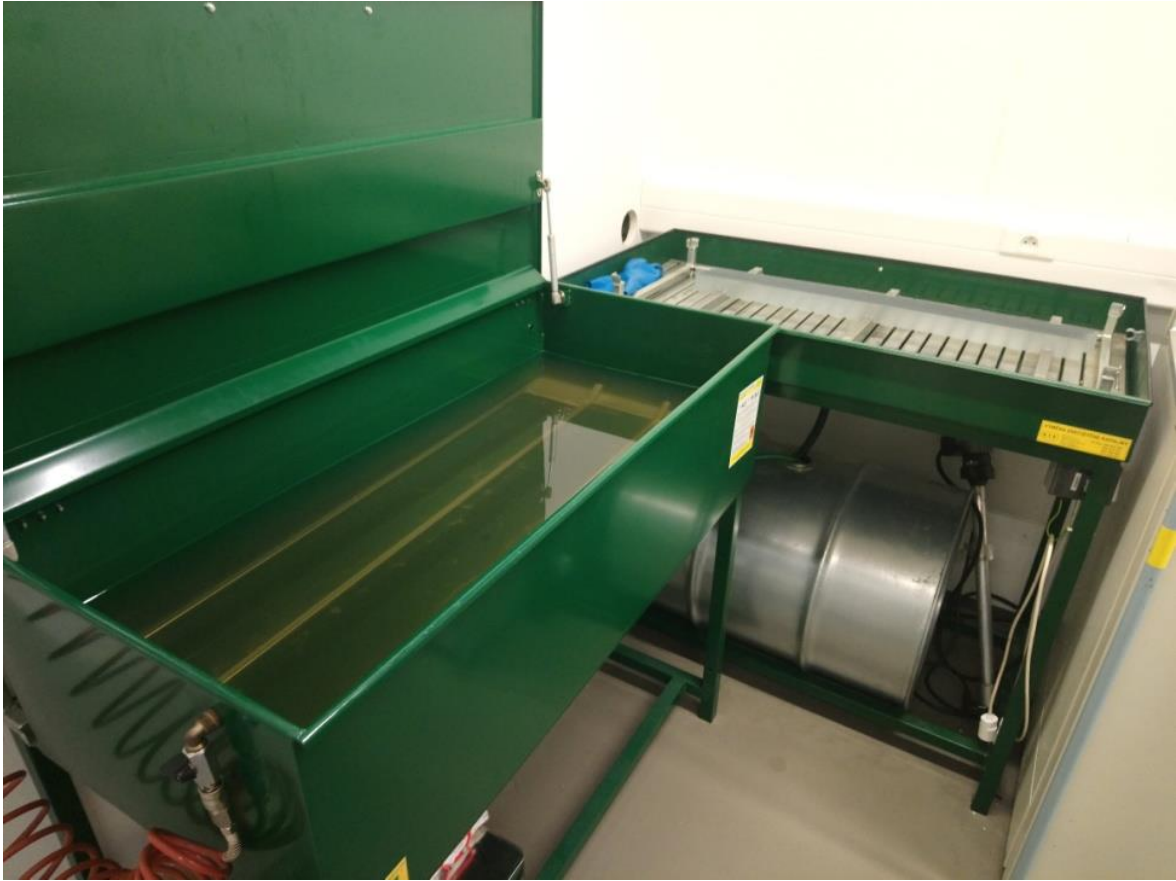
4.5.3 Příprava zkušebních vzorků

Pro tribologickou zkoušku protahováním pásku byly použity dva druhy zkušebních vzorků. Těmito druhy byly plechové pásky z nízkouhlíkové oceli se dvěma různými druhy povrchových úprav. První vzorek plechového pásku byl opatřen HDG Zn povlakem (dále jen HDG). Druhý vzorek byl s EG Zn povlakem s vrstvou fosfátu, proto je dále označován jen jako EG+PH.

Nejprve bylo třeba nastříhat plech s definovanou délkou 1000 mm na pásky s požadovanou šířkou 45 mm. Stříhání bylo provedeno pomocí tabulových nůžek. Testovaná série plechových pásků byla stříhána ve směru válcování plechu z důvodu anizotropie plechu.

Po nastříhání zkušebních vzorků bylo třeba provést předúpravu jejich povrchu pomocí odmašťování a následného sušení. Odmaštění povrchu bylo využito z důvodu výskytu konzervačního oleje na povrchu plechu a možného výskytu povrchových nečistot. Odmaštění bylo provedeno ponořením plechových pásků do odmašťovací lázně s probubláváním. Díky probublávání byl proces odmašťování urychlen na zhruba 15-20 minut.

Po uplynulém čase byly plechové pásky z odmašťovací lázně vyjmuty a přesunuty na sušicí pult, kde došlo k jejich vysušení (viz Obr. 14). Po provedení těchto operací byly zkušební vzorky připraveny k měření drsnosti povrchu a následnému tribologickému zkoušení.



Obr. 14 Odmašťovací lázeň (vpředu) a sušící pult (vzadu)

4.5.4 Měření drsnosti povrchu zkušebních vzorků

Před samotným provedením zkoušky protahováním pásku bylo třeba ještě změřit hodnoty R-parametrů drsnosti povrchu zkušebních vzorků. Měření bylo provedeno za pomoci digitálního drsnoměru, pro každý zkušební vzorek vždy na obou stranách, tedy rub i líc.

Jako sledované R-parametry drsnosti povrchu zkušebních vzorků pro tribologickou zkoušku byly zvoleny parametry R_a a RP_c (viz kapitola 4.2.1). Konkrétní naměřené hodnoty těchto vybraných parametrů drsnosti povrchu zkušebních vzorků jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 Hodnoty R-parametrů drsnosti povrchu zkušebních vzorků

Zkoušební vzorek	R-parametr	
	R_a [μm]	RP_c [1/cm]
HDG	1,512/1,463	90/86
EG	1,165/1,247	89/93

4.5.5 Vstupní parametry zkoušky

Za vstupní parametry tribologické zkoušky protahováním pásku jsou považovány údaje a hodnoty vycházející z tribologických podmínek při vzájemném působení povrchů.

Vstupními tribologickými podmínkami pro zkoušku byly hodnoty drsnosti povrchu zkušebních vzorků dle tabulky 2, parametry čelistí (materiál a teplota), rychlost posuvu, velikost kontaktní plochy S , měřená délka a její ustálená oblast a v poslední řadě použité mazivo a jeho množství. Všechny právě zmíněné vstupní tribologické podmínky byly v celém průběhu zkoušení konstantní. Jedinými proměnnými vstupními tribologickými podmínkami byly hodnoty kontaktních tlaků p a 2 druhy testovaných zkušebních vzorků.

Hodnoty a údaje konstantních a proměnných vstupních parametrů zkoušky jsou uvedeny v následujících odrážkách.

Konstantní vstupní parametry:

- materiál čelistí - kalená litina (GGG 70L),
- teplota čelistí 40 °C,
- rychlost posuvu 1 mm/s,
- velikost kontaktní plochy 3120 mm² (78x40 mm),
- měřená délka 100 mm (ustálená oblast od 30 mm, viz Obr. 15),
- mazivo průmyslového výrobce o množství 1,5 g/m².

Proměnné vstupní parametry:

- hodnoty kontaktních tlaků 4, 6, 8 a 10 MPa
- testované zkušební vzorky HDG a EG+PH

4.5.6 Typy naměřených tažných sil

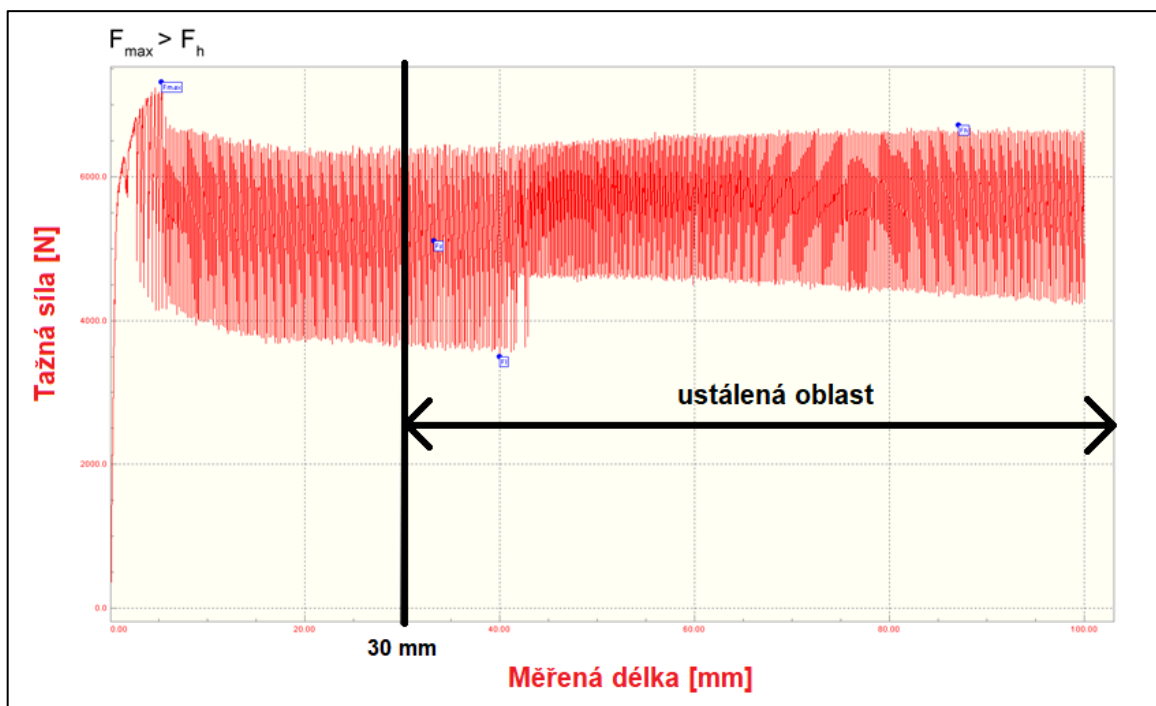
Jak již bylo uvedeno, provedením zkoušky lze naměřit hodnoty pro tažnou sílu F_T v závislosti na dráze. Takový typ síly je však k vyhodnocení zkoušky příliš obecný, a proto se v dalším průběhu praktické části této bakalářské práce analyzují různé typy naměřených tažných sil, které jsou uvedeny včetně označení, popisu a jednotek v následující tabulce 3.

Tab. 3 Typy naměřených tažných sil

Označení	Popis	Jednotky
F_{max}	- maximální síla v celé měřené délce (0-100 mm)	[N]
F_h	- maximální síla v tzv. ustálené oblasti (30-100 mm)	[N]
F_{min}	- minimální síla v tzv. ustálené oblasti (30-100 mm)	[N]
F_{avg}	- průměrná síla v tzv. ustálené oblasti (30-100 mm)	[N]
ΔF	- indikátor zadírání Zn vrstvy ($\Delta F = F_h - F_{min}$)	[N]

Tažná síla s označením ΔF je jakýmsi indikátorem, který se prakticky využívá v lisovně pro zjištění tzv. zadírání Zn vrstvy. V důsledku zadírání se Zn vrstva „škrábe“ z povrchu plechu. Zadírání je v praxi považováno za nedovolenou pohledovou vadu.

Na následujícím obrázku 15 je graficky znázorněna ustálená oblast (30-100 mm) měřené délky zkušební vzorku. Ustálená oblast je při vyhodnocování naměřených hodnot důležitá k vyfiltrování naměřených hodnot na počátku protahování pásku (0-30 mm), protože započtení počátečních hodnot do vyhodnocení by mělo negativní vliv na reliabilitu výsledků. Pro příklad minimální tažná síla F_{min} by se v celé měřené délce zkušební vzorku nacházela vždy v počátku grafu.



Obr. 15 Graf ustálené oblasti měřené délky zkušební vzorku

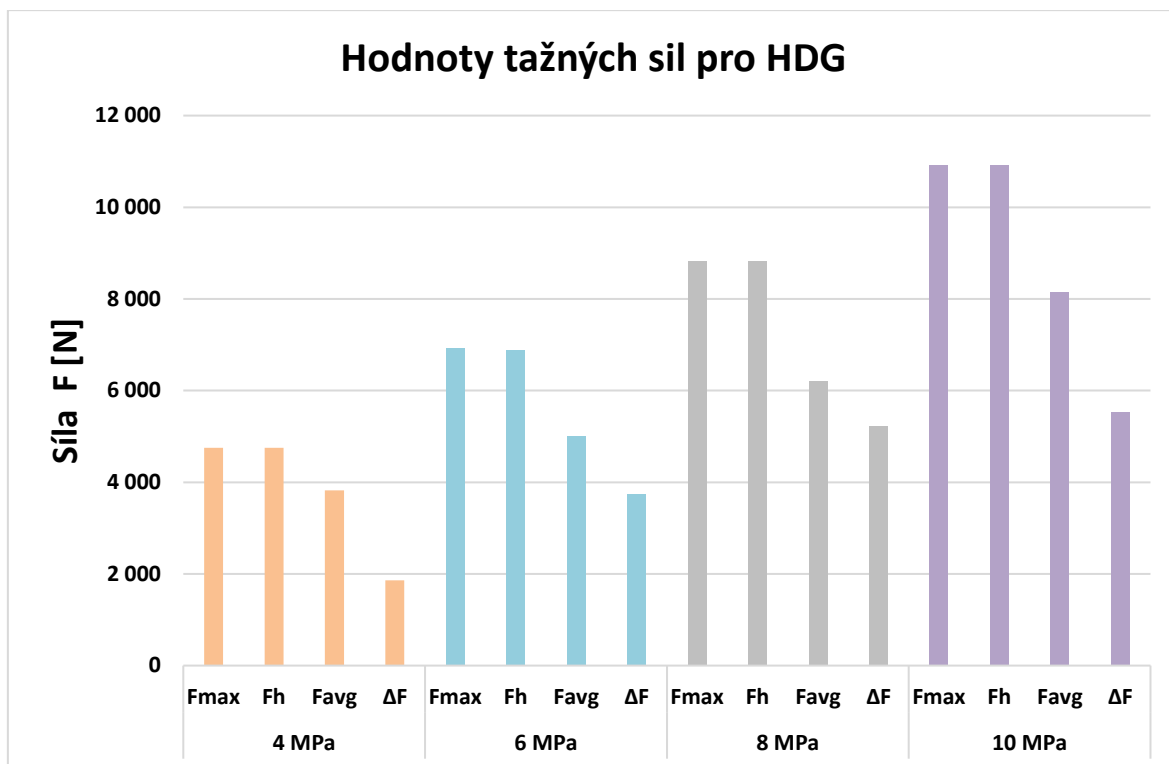
4.5.7 Naměřené hodnoty pro HDG zkušební vzorky

Provedením tribologické zkoušky protahováním pásu pro HDG zkušební vzorky byly za konstantních vstupních parametrů naměřeny již zmíněné typy tažných sil pro kontaktní tlaky 4, 6, 8 a 10 MPa (viz Tab. 4).

Tab. 4 Naměřené hodnoty tažných sil za daných kontaktních tlaků pro HDG

Typy sil	Hodnoty tlaků			
	4 MPa	6 MPa	8 MPa	10 MPa
F_{max}	4 753	6 932	8 822	10 909
F_h	4 753	6 890	8 822	10 909
F_{avg}	3 823	5 014	6 212	8 146
ΔF	1 860	3 752	5 221	5 525

Naměřené hodnoty tažných sil pro HDG jsou nyní z tabulky graficky znázorněny pro dané hodnoty kontaktních tlaků na následujícím obrázku 16.



Obr. 16 Graf naměřených hodnot tažných sil za daných hodnot kontaktních tlaků pro HDG

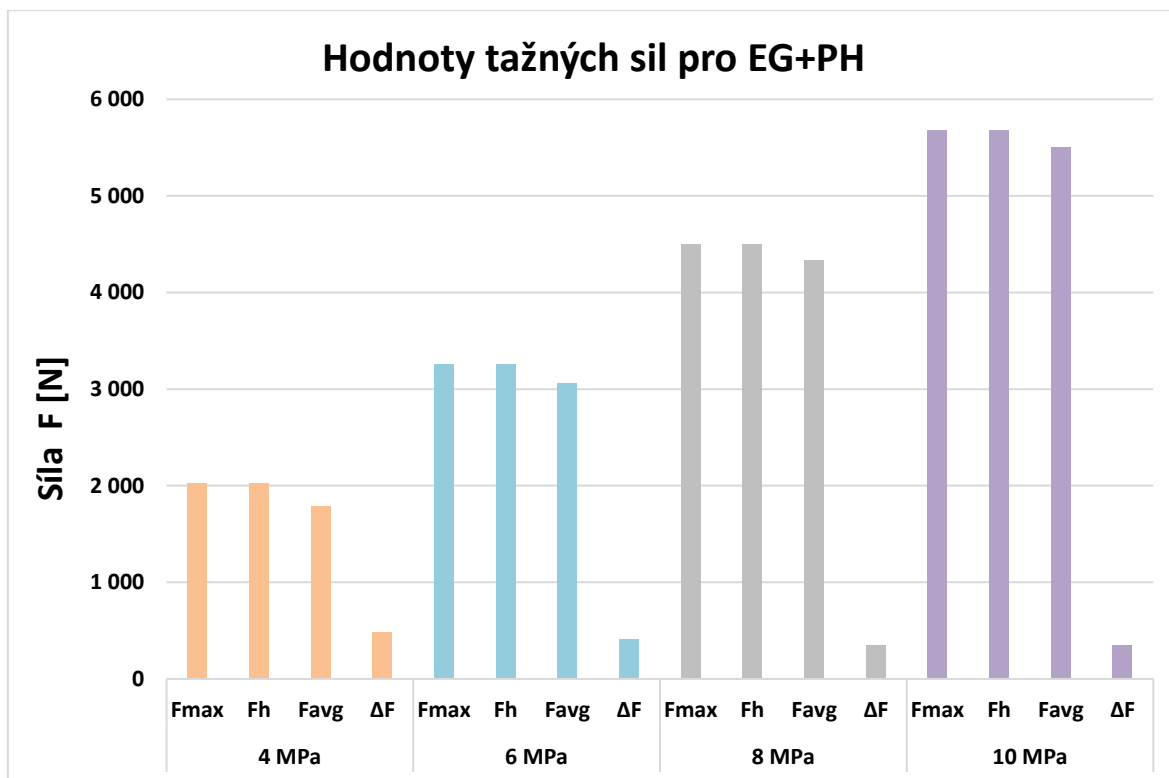
4.5.8 Naměřené hodnoty pro EG+PH zkušební vzorky

Provedením tribologické zkoušky protahováním pásku pro EG+PH zkušební vzorky byly za konstantních vstupních parametrů naměřeny již zmíněné typy tažných sil opět pro kontaktní tlaky 4, 6, 8 a 10 MPa (viz Tab. 5).

Tab. 5 Naměřené hodnoty tažných sil za daných kontaktních tlaků pro EG+PH

Typy sil F [N]	Hodnoty tlaků			
	4 MPa	6 MPa	8 MPa	10 MPa
F_{max}	2 026	3 260	4 501	5 676
F_h	2 026	3 260	4 501	5 676
F_{avg}	1 785	3 055	4 329	5 505
ΔF	483	410	344	342

Naměřené hodnoty tažných sil pro EG+PH jsou nyní z tabulky graficky znázorněny pro dané hodnoty kontaktních tlaků na následujícím obrázku 17.

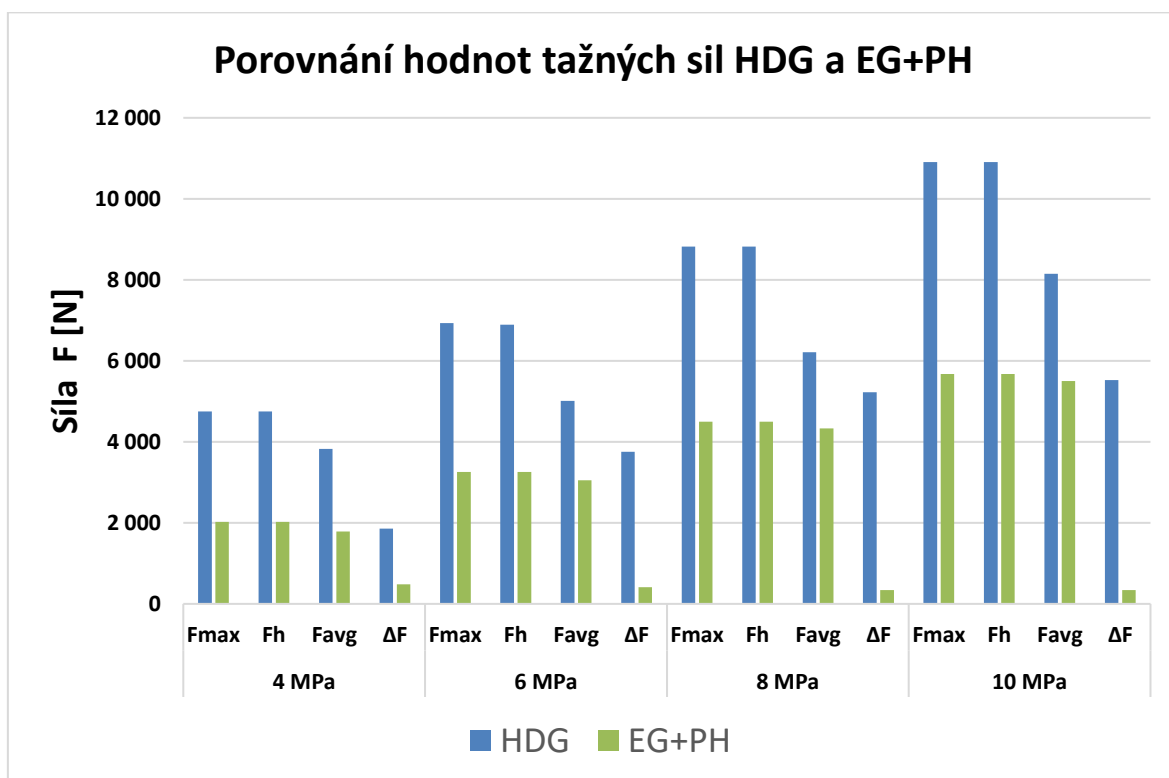


Obr. 17 Graf naměřených hodnot tažných sil za daných hodnot kontaktních tlaků pro EG+PH

4.6 Vyhodnocení tribologické zkoušky protahováním pásku

Následující kapitola se věnuje porovnání HDG a EG+PH zkušebních vzorků a přináší vyhodnocení z hlediska jejich vhodnosti, výhod a nevýhod pro použití v automobilovém průmyslu.

Nejprve lze na obrázku 18 pozorovat odlišné hodnoty naměřených typů tažných sil pro HDG a EG+PH ke každému danému kontaktnímu tlaku.

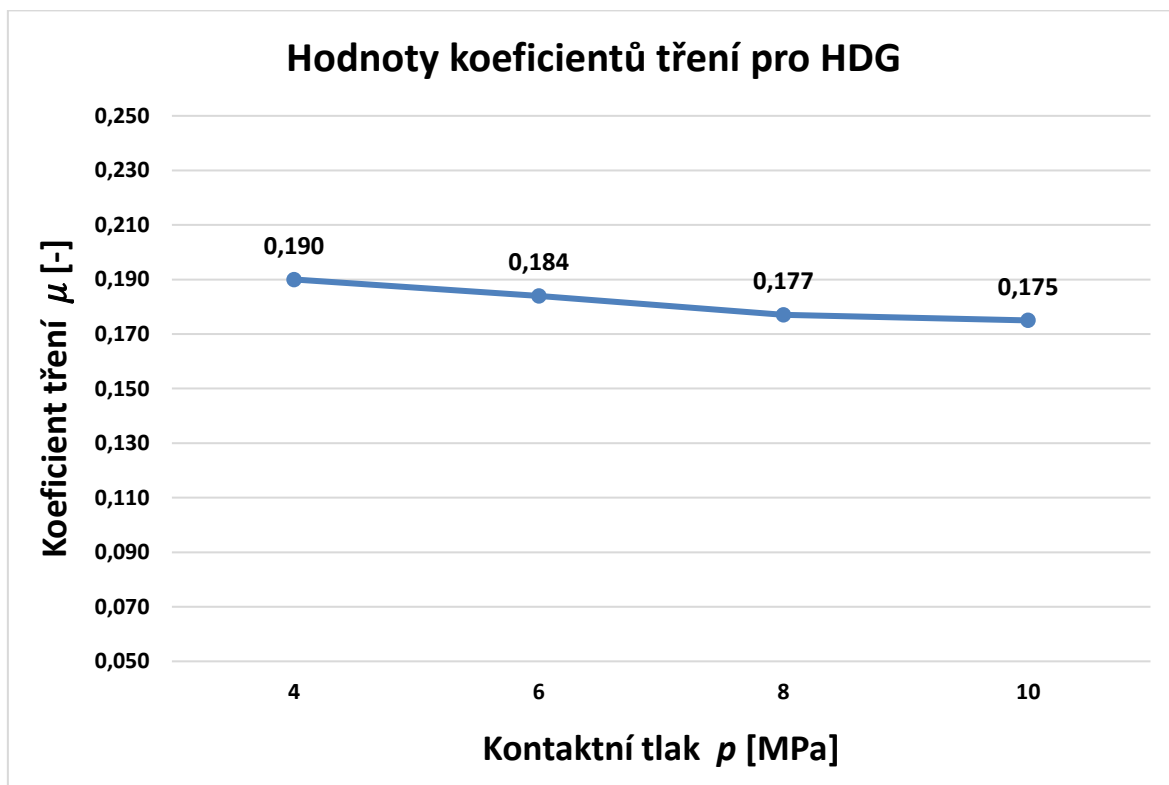


Obr. 18 Graf k porovnání naměřených hodnot tažných sil za daných hodnot kontaktních tlaků pro HDG a EG+PH

Z grafu je patrné, že hodnoty naměřených F_{\max} , F_h a F_{avg} tažných sil pro HDG zkušební vzorek jsou významně vyšší, než hodnoty pro EG+PH zkušební vzorek. Za všech měřených kontaktních tlaků se jedná o zhruba dvojnásobek těchto hodnot. Mnohonásobně vyšší jsou pak za všech měřených kontaktních tlaků hodnoty pro typ tažné síly ΔF , což znamená, že u HDG docházelo k zadíráání Zn vrstvy, zatímco u EG+PH k zadíráání Zn vrstvy nedocházelo.

Mimo právě analyzovaných hodnot naměřených tažných sil pro HDG a EG+PH zkušební vzorky, slouží častěji jako výstup tribologické zkoušky zejména hodnoty koeficientů tření μ , vypočtené dle rovnice (3)⁹.

Z následujícího grafu lze vyčíst vypočtené hodnoty koeficientů tření μ pro HDG zkušební vzorek, a to za všech měřených kontaktních tlaků (viz Obr. 19).

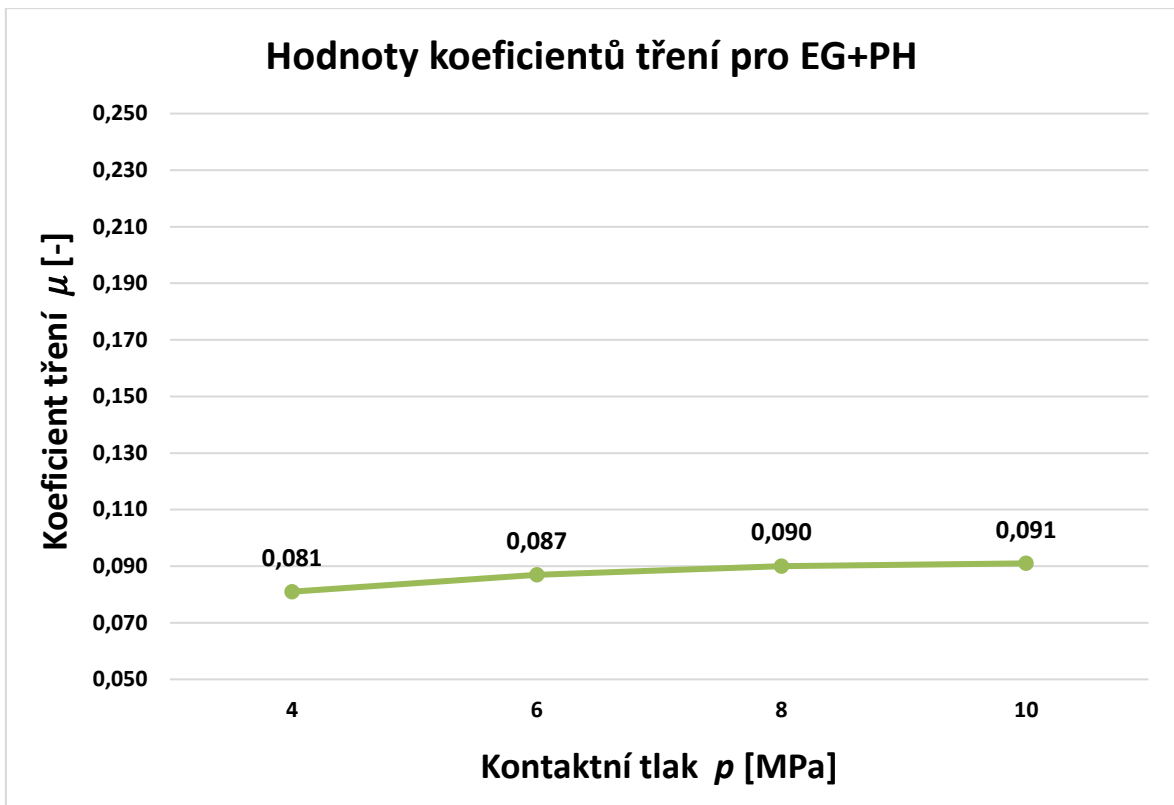


Obr. 19 Hodnoty vypočtených koeficientů tření pro HDG

Na grafu lze, s rostoucí hodnotou kontaktního tlaku, sledovat klesající tendenci hodnot koeficientů tření μ . Nejvyšší hodnota koeficientu tření $\mu = 0,190$ byla naměřena při nejnižším kontaktním tlaku $p = 4 \text{ MPa}$. Zatímco nejnižší hodnoty koeficientu tření $\mu = 0,175$ bylo dosaženo při nejvyšším kontaktním tlaku $p = 10 \text{ MPa}$.

Na dalším obrázku 20 lze opět pozorovat vypočtené hodnoty koeficientů tření μ za všech měřených hodnot kontaktních tlaků, tentokrát však pro EG+PH zkušební vzorek.

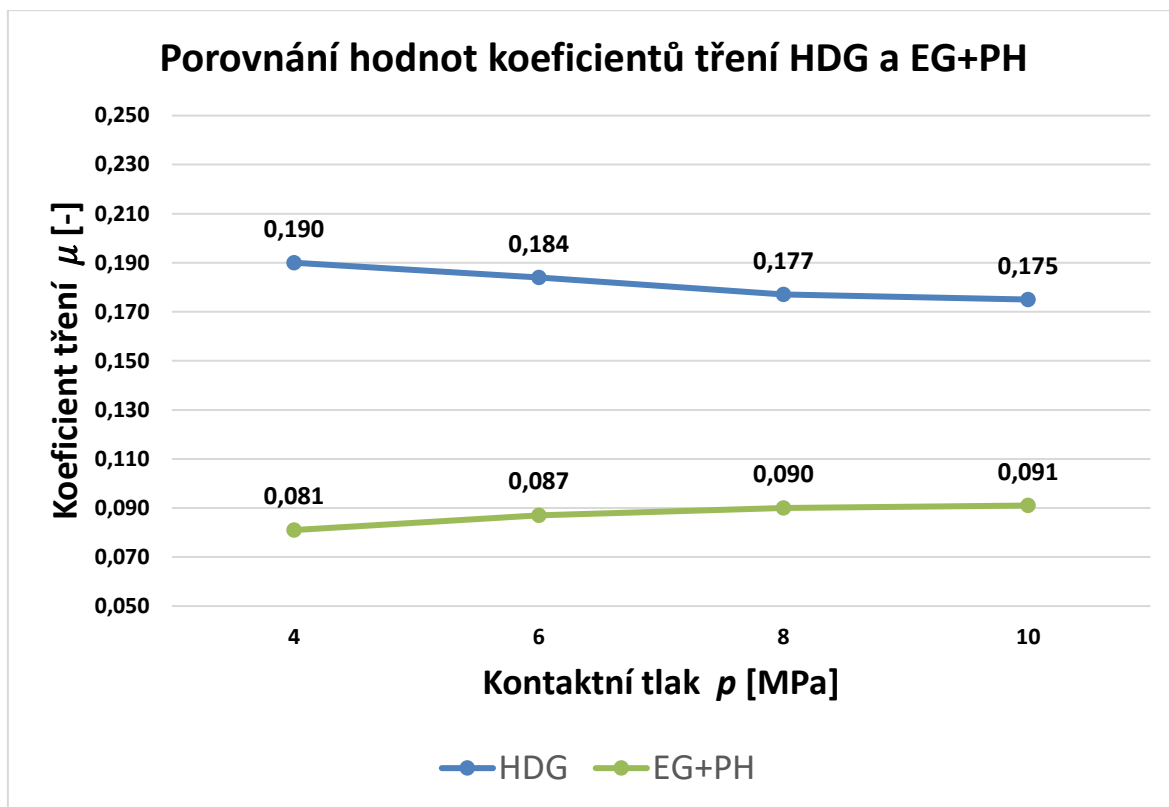
⁹ Pro výpočet hodnoty koeficientu tření dle rovnice (3) se v čitateli počítá s hodnotou tažné síly F_h .



Obr. 20 Hodnoty vypočtených koeficientů tření pro EG+PH

Zde je tendence hodnot koeficientů tření μ oproti HDG opačná. S rostoucím kontaktním tlakem rostou také hodnoty μ . Nejvyšší hodnota koeficientu tření $\mu = 0,091$ byla naměřena při nejvyšším kontaktním tlaku $p = 10 \text{ MPa}$. Zatímco nejnižší hodnoty koeficientu tření $\mu = 0,081$ bylo dosaženo za nejnižšího kontaktního tlaku $p = 4 \text{ MPa}$.

Graf na obrázku 21 znázorňuje porovnání vypočtených hodnot koeficientů tření μ za všech měřených kontaktních tlaků pro HDG a EG+PH.



Obr. 21 Graf porovnání hodnot koeficientů tření pro HDG a EG+PH

Z tohoto grafu lze vyčíst, že vypočtené hodnoty koeficientů tření μ pro HDG jsou při každé hodnotě kontaktního tlaku vyšší, než hodnoty pro EG+PH. Dále lze s rostoucí hodnotou kontaktního tlaku sledovat trend, kdy se k sobě hodnoty vypočtených koeficientů tření μ pro HDG a EG+PH stále více přibližují. Bližší srovnání těchto hodnot přináší tabulka 6.

Tab. 6 Procentuální srovnání hodnot koeficientů tření pro HDG a EG+PH

Zkušební vzorek	Hodnoty tlaků			
	4 MPa	6 MPa	8 MPa	10 MPa
HDG	100 %	100 %	100 %	100 %
EG+PH	42,63 %	47,28 %	50,85 %	52,00 %

V tabulce 6 je každá vypočtená hodnota koeficientu tření μ pro HDG zvlášť vyjádřena jako 100 % podíl. Vůči tomuto podílu byl následně vždy zvlášť vypočten %podíl každé hodnoty koeficientu tření μ pro EG+PH. Z čísel je zřejmé, že hodnoty vypočtených koeficientů tření μ pro EG+PH dosahují za všech kontaktních tlaků zhruba poloviny stejných hodnot pro HDG.

Na základě provedené analýzy zkušebních vzorků s povrchovými úpravami HDG a EG+PH lze přinést následující, již komplexní vyhodnocení z hlediska jejich vhodnosti, výhod a nevýhod pro použití v automobilovém průmyslu.

Povrchová úprava EG+PH dosáhla v rámci tribologické zkoušky protahováním pásku vždy nižších hodnot všech typů tažných sil za všech měřených kontaktních tlaků. Stejně tak dosáhla i nižších hodnot koeficientů tření μ , opět za všech měřených kontaktních tlaků. Vezmou-li se v potaz tyto zkušební výsledky, pak povrchová úprava EG+PH dosáhla vždy lepších tribologických vlastností než povrchová úprava HDG.

Pro použití povrchových úprav HDG a EG+PH v automobilovém průmyslu je však zapotřebí brát v potaz i další významná hlediska. Těmito hledisky jsou zejména finanční náklady na povrchové úpravy, dále pak možnosti jejich technologického zpracování a v neposlední řadě jejich vliv na životní prostředí.

Porovnáním HDG a EG+PH povrchových úprav z hlediska finančních nákladů vychází lépe s nižšími náklady povrchová úprava HDG. Z hlediska technologického zpracování představuje povrchová úprava EG+PH problém v důsledku jejího negativního vlivu na svařitelnost plechu, tedy důležitou technologickou vlastnost plechu při výrobě automobilové karoserie. Dalším negativním faktorem, který s sebou přináší povrchová úprava EG+PH, je její velká zátěž na životní prostředí způsobená použitím kyselinových lázní při její výrobě. Naopak povrchová úprava HDG představuje pro životní prostředí zátěž relativně malou.

Z hlediska kvality jsou si v dnešní době povrchové úpravy HDG a EG+PH již relativně rovnocenné, čemuž tak v minulosti nebylo. Avšak vývojem a správným nastavením parametrů při žárovém zinkování HDG se podstatně zamezilo tepelnému ovlivňování povlakovaného plechu a významně se zlepšila také kvalita povlaku.

Na základě právě zmíněných výhod a nevýhod lze konstatovat, že povrchová úprava HDG je vhodnější než povrchová úprava EG+PH pro použití v automobilovém průmyslu všude tam, kde nejsou na škodu její horší tribologické vlastnosti. V případě vysokých tribologických požadavků na určité konstrukční díly automobilové karoserie je třeba naopak zvolit povrchovou úpravu EG+PH.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo shrnutí aktuálních trendů v rámci povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu, provedení potřebné analýzy vybraných druhů povrchových úprav s ohledem na jejich vlastnosti a následné vyhodnocení jejich vhodnosti, výhod a nevýhod pro použití v automobilovém průmyslu.

Aktuální trendy povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu byly shrnuty v rámci kapitoly 3. Na tomto místě byly zmíněny mechanické a chemické úpravy povrchu, jenž mají svůj význam především jako předúpravy povrchu před nanášením různých povlaků a vrtev. Následně zde byla věnována pozornost také vybraným povrchovým úpravám plechů ve formách povlaků a vrstev, sloužícím především jako protikorozní ochrana, úprava konečného vzhledu hotových karosářských výrobků či jejich úprava k technologickému zpracování.

K analýze posloužila tribologická zkouška protahováním pásku, která byla provedena s definovanými konstantními a proměnnými vstupními parametry pro zkušební vzorky opatřené vybranými HDG a EG+PH povrchovými úpravami. Výsledkem zkoušky byl protokol (viz Přílohy 1, 2) s graficky vyjádřenou závislostí tažné síly F_T na dráze. Následně se pomocí rovnice (3) vypočítaly hodnoty koeficientů tření μ pro každý zkušební vzorek za všech proměnných hodnot kontaktních tlaků. Analyzovány byly jednak naměřené hodnoty tažných sil, zejména však vypočtené hodnoty koeficientů tření μ .

Vyhodnocení HDG a EG+PH povrchových úprav z hlediska jejich vhodnosti výhod a nevýhod bylo reflektováno v kapitole 4.6. Zde byly vzaty v potaz jednak tribologické výsledky plynoucí z provedené tribologické zkoušky protahováním pásku, avšak rozhodujícími se nakonec staly další důležité faktory, které bylo třeba zahrnout do vyhodnocení z důvodu komplexnosti výsledků.

Seznam literatury

Arcelor Mittal, S.A. *High strength IF steels*. [online]. Arcelor Mittal, S.A., 2020 [2020-11-19]. Dostupné z:

<https://automotive.arcelormittal.com/products/flat/HYTSS/IF>

Asociace korozních inženýrů. *O nás*. [online]. Asociace korozních inženýrů, 2020 [2020-12-02]. Dostupné z: <https://aki-koroze.cz/onas.php>

Curtiss Wright Surface Technologies. *Controlled Shot Peening Services*. [online]. Curtiss Wright, 2020 [2020-11-26]. Dostupné z:

<https://www.cwst.co.uk/services/controlled-shot-peening/>

ČSN EN ISO 4287 (014450). *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.

ČSN EN 10049 (422001). *Měření průměrné aritmetické úchyvky profilu drsnosti Ra a počtu vrcholů RpC plochých kovových výrobků*. Praha: Český normalizační institut, 2014.

Fourtitude. *Audi A8 Wins the Euro Car Body Award*. [online] Audi Forum – Fourtitude, 2020 [2020-10-20]. Dostupné z:

<https://www.fourtitude.com/threads/audi-a8-wins-the-euro-car-body-award.9449116/>

GROYSMAN, Alec, 2010. *Corrosion for everybody*. Dordrecht: Springer. ISBN 978-90-481-3477-9.

HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK, 2001. *Strojírenská technologie 2. Díl 2*, Praha: Scientia. ISBN 978-80-7183-245-4.

JANOVEC, Jiří, Jiří CEJP, Josef STEIDL, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a STROJNÍ FAKULTA, 2008. *Perspektivní materiály*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-04167-3.

KALEDOVÁ, Andrea, 2003. *Technologie nátěrových hmot II*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7194-555-0.

KALNÝ, Petr. Moření a pasivace výrobků z nerezových ocelí je dnes již samozřejmostí. *CzechIndustry*. 2018, **17**(1),8-9.

KRAUS, Václav, 2000. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta. ISBN 978-80-7082-668-3.

LINDSLEY, Melissa. *Hot-Dip Galvanizing*. [online]. American Galvanizers Association, 2020 [2020-12-08]. Dostupné z: <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing/what-is-galvanizing/hdg-process>

MACHEK, Václav, 2015. *Kovové materiály 3: speciální kovové materiály*. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05685-1.

Mammoth Memory. *Rule 3: Electroplating*. [online]. Mammoth Memory TM, 2020 [2020-10-13]. Dostupné z: <https://mammothmemory.net/chemistry/electrolysis/rule-3-electroplating/rule-3-electroplating.html>

Metalimex. *Plechý a svítky válcované za studena*. [online]. Metalimex, 2015 [2020-11-19]. Dostupné z: <http://www.metalimex.cz/produkty/hlinikove-plechy-a-pasy/plechy-asvitky-valcovane-za-studena>

Metrology. *Měřicí technika*. [online]. Metrology s.r.o., 2020 [2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.metrology.cz/3-drsnomer-tr-200/220>

MÍŠEK, Bohumil a Jan HRSTKA, 1982. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy - Koroze a povrchová úprava kovů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

NĚMEC, Dobroslav, 2007. *Základy výrobních technologií*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7318-604-3.

NĚMEČEK, Stanislav. *Ocel, materiál pro jednadvacáté století*. [online]. Časopis Vesmír, 2011 [2020-11-02]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2011/cislo-6/ocel-material-pro-jednadvacate-stoleti.html>

NOVÁK, Pavel. *Koroze kovů*. Praha: VŠCHT. Dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kovů.pdf?redirected>

Ocelářská unie. *Výroba oceli v Česku loni klesla o 8 %, výhled pro EU je letos ještě horší*. [online]. Ocelářská unie, 2020 [2020-10-19]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/vyroba-oceli-v-cesku-loni-klesla-o-8-vyhled-pro-eu-je-letos-jeste-horsi/>

PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technická měření a metrologie – v příkladech*. [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2013 [2020-10-18]. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_026/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech%2011%208.%20m%C4%9B%C5%99en%C3%A1%20%C3%BAloha%20%E2%80%93%20Drsnost%20povrchu.pdf

ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK, 2003. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel: zásady montáže*. Praha: Scientia. ISBN 978-80-7183-284-3.

Shur-Way Auto Body. *How to Prevent Rust From Destroying Your Aging Car*. [online]. Shur-Way Auto Body, 2017 [2020-11-12]. Dostupné z: <https://shurwayautobody.com/prevent-rust-destroying-aging-car/>

SOUKUP, Miloslav a Vladimír RUMML, 1978. *Odmašťování v průmyslu a zemědělství* [online]. Praha: Státní nakladatelství technické literatury [vid. 2020-10-29]. Dostupné z: <https://www.technickyantikvariat.cz/Odmastovani-v-prumyslu-a-zemedelstvi-d7541.htm>

ŠKODA Storyboard. *Krok za krokem nejmodernější lakovnou ŠKODA AUTO*. [online]. ŠKODA AUTO a.s., 2019 [2020-11-19]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace-cs/krok-za-krokem-nejmodernejsi-lakovnou-skoda-auto/>

ŠTURC, Josef a KOLEKTIV, 1985. *Moření ocelí*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

TULKA, Jaromír, 2005. *Povrchové úpravy materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. ISBN 978-80-214-3062-4.

VOJTĚCH, Dalibor, 2006. *Kovové materiály*. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 978-80-7080-600-5.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka karoserie automobilu Audi A8.....	9
Obr. 2 Ukázka plechu ve svitku jako polotovaru pro následné zpracování.....	10
Obr. 3 Přední kapota automobilu vyrobená z IF oceli.....	12
Obr. 4 Ukázka korozního napadení karoserie automobilu.....	16
Obr. 5 Schématická ukázka funkce otryskávání povrchu	20
Obr. 6 Aplikace vrstvy barevného laku na karoserii pomocí robotů	24
Obr. 7 Princip promítnutí profilu povrchu	27
Obr. 8 Grafické zobrazení parametrů Rp, Rv, a Rz.....	28
Obr. 9 Digitální drsnoměr TR-200/220 od výrobce INNOVATEST	29
Obr. 10 Proces žárového zinkování HDG	30
Obr. 11 Schéma elektrolytického zinkování EG	31
Obr. 12 Pracoviště vysokorychlostního zařízení SOKOL 400	32
Obr. 13 Schéma principu tribologické zkoušky protahováním pásku	34
Obr. 14 Odmašťovací lázeň (vpředu) a sušící pult (vzadu)	35
Obr. 15 Graf ustálené oblasti měřené délky zkušební vzorku	38
Obr. 16 Graf naměřených hodnot tažných sil za daných hodnot kontaktních tlaků pro HDG	39
Obr. 17 Graf naměřených hodnot tažných sil za daných hodnot kontaktních tlaků pro EG+PH	40
Obr. 18 Graf k porovnání naměřených hodnot tažných sil za daných hodnot kontaktních tlaků pro HDG a EG+PH	41
Obr. 19 Hodnoty vypočtených koeficientů tření pro HDG.....	42
Obr. 20 Hodnoty vypočtených koeficientů tření pro EG+PH.....	43
Obr. 21 Graf porovnání hodnot koeficientů tření pro HDG a EG+PH	44

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled základních činitelů systému znehodnocování	14
Tab. 2 Hodnoty R-parametrů drsnosti povrchu zkušebních vzorků	36
Tab. 3 Typy naměřených tažných sil	37
Tab. 4 Naměřené hodnoty tažných sil za daných kontaktních tlaků pro HDG	38
Tab. 5 Naměřené hodnoty tažných sil za daných kontaktních tlaků pro EG+PH..	39
Tab. 6 Procentuální srovnání hodnot koeficientů tření pro HDG a EG+PH	44

Seznam příloh

Příloha 1 Protokol tribologické zkoušky HDG povlaku.....	54
Příloha 2 Protokol tribologické zkoušky EG+PH Zn povlaku	55

Příloha 1 Protokol tribologické zkoušky HDG povlaku

Tribologie - Streifenziehtest

Eintrittswerte

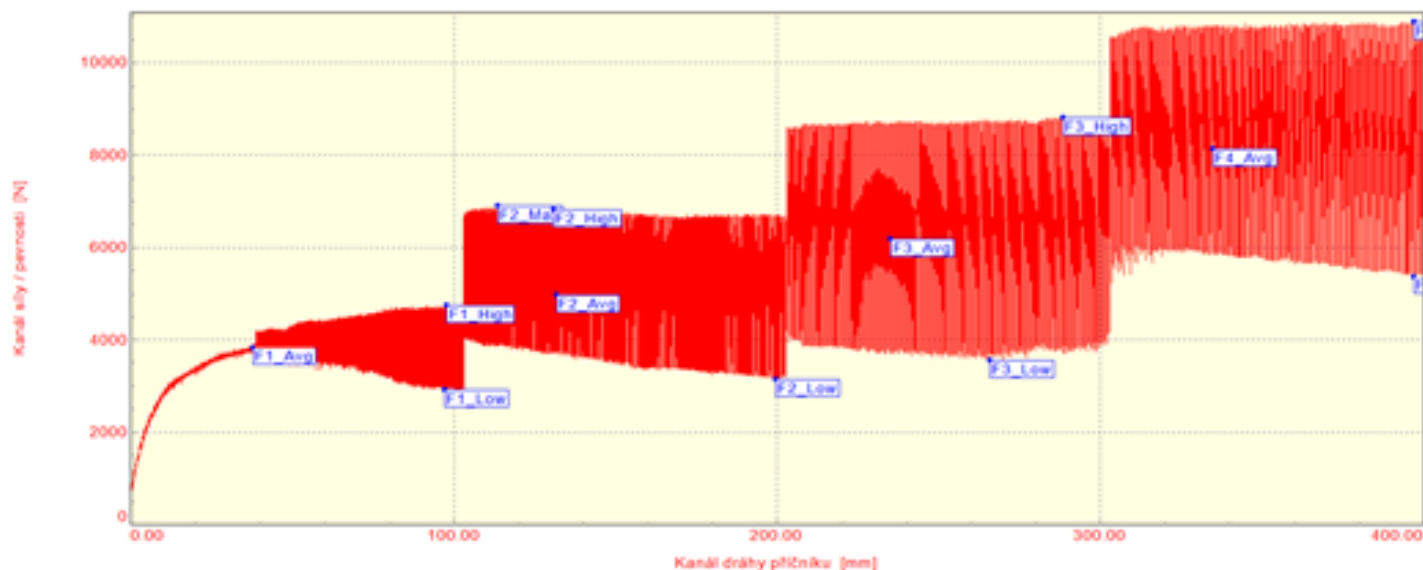
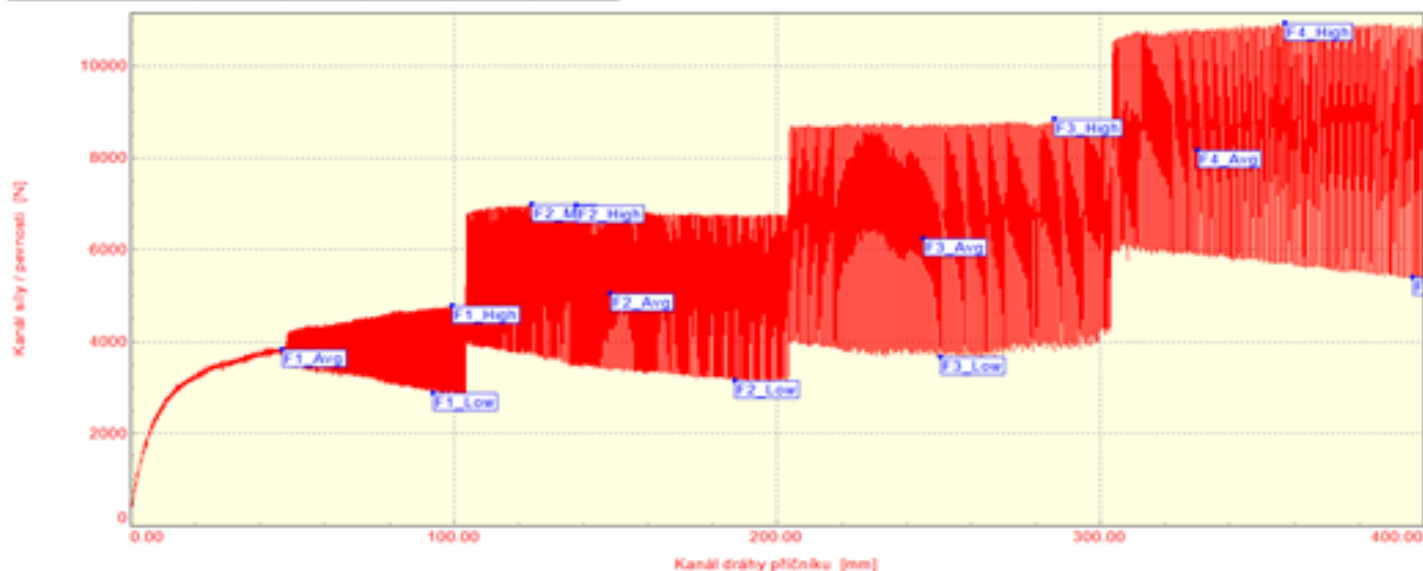
Getesteter Schmierstoff: Sample 3
 Schmierstoffmenge: $1,5 \pm 0,1$ g/m²
 Getestetes Substrat: HDG
 Oberflächenrauheit: Ra=1,512/1,463 μ m Rp=90/86 1/cm
 Werkzeugmaterial: GGG 70L - gehärtet
 Kontaktdruck: 4 - 6 - 8 - 10 MPa

Stoßfläche: 40 mm x 78 mm
 Schubgeschwindigkeit: 1 mm/s
 Variante: 1B
 Temperatur: 40°C
 Aufnahme-geschwindigkeit: 2 kHz
 Messstrecke: 400 mm

Schlusswerte

Zkouška	F4_Max N	F4_Avg N	F4_High N	F4_Low N	delta_F4 N
1	10601	8162	10601	5363	5537
2	10887	8131	10887	5374	5512

Statistika	F4_Max N	F4_Avg N	F4_High N	F4_Low N	delta_F4 N
Počet zkoušek	2	2	2	2	2
Průměrná hodnota	10699	8146	10699	5368	5525
Standardní odchylka	31	22	31	13	16



Příloha 2 Protokol tribologické zkoušky EG+PH Zn povlaku

Tribologie - Streifenziehtest

Eintrittswerte

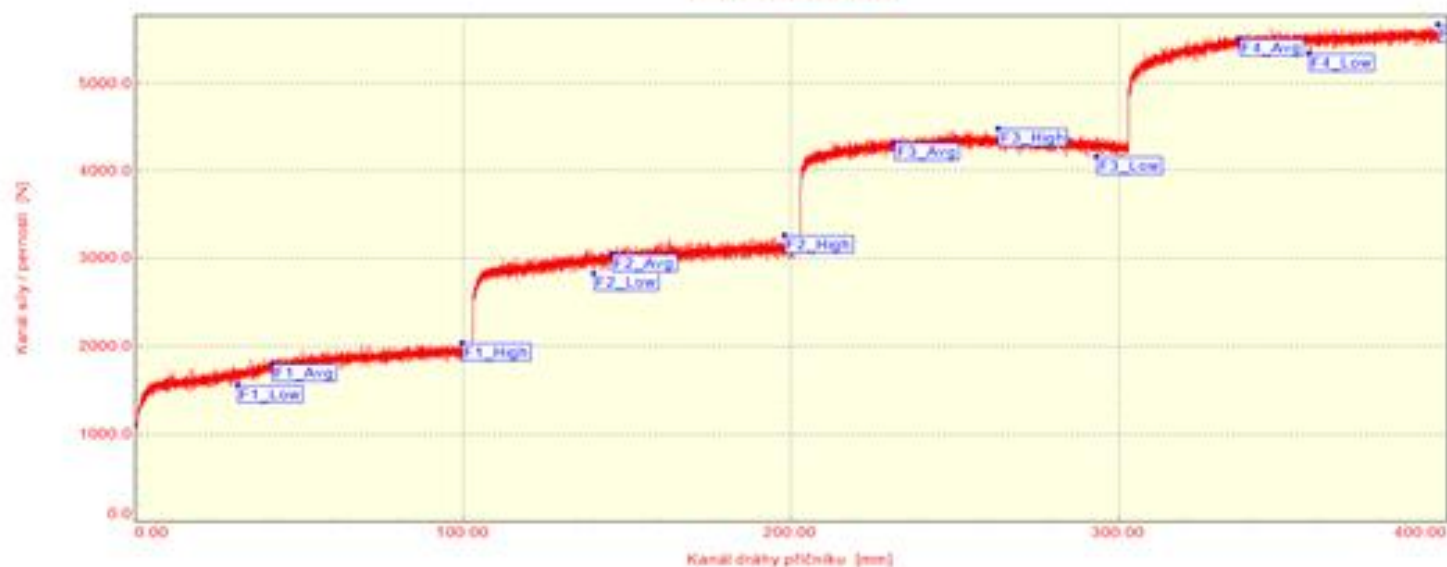
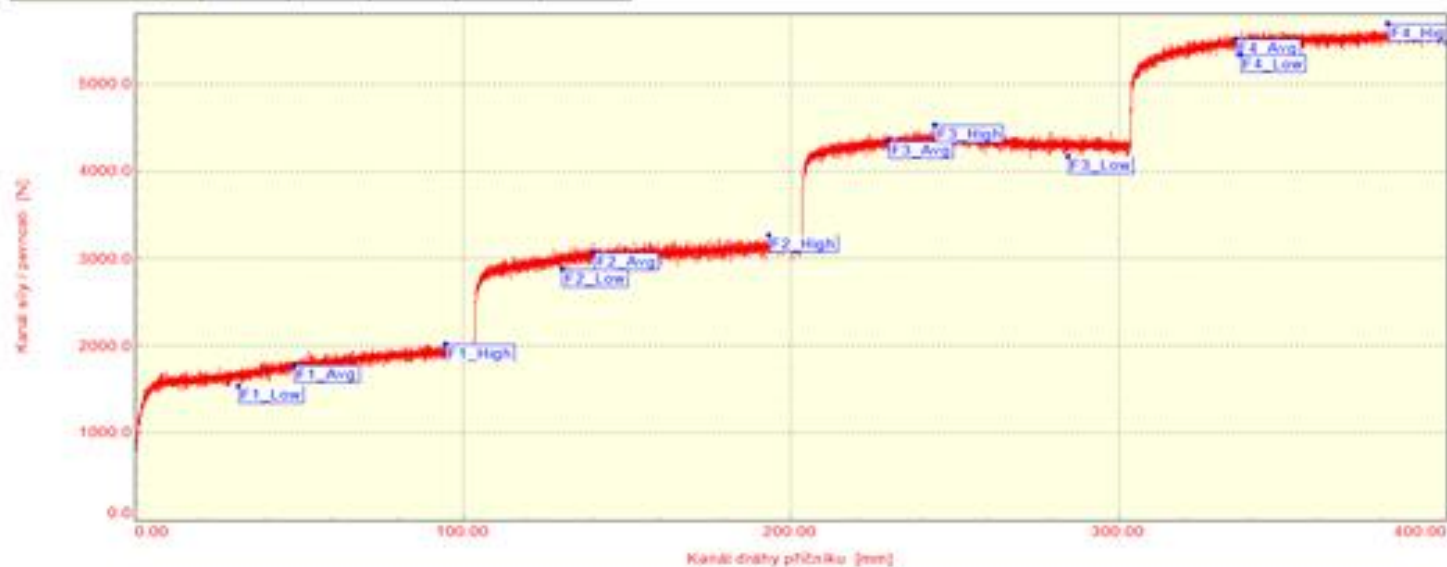
Getesteter Schmierstoff : Sample 3
 Schmierstoffmenge : $1,5 \pm 0,1$ g/m²
 Getestetes Substrat : EG+PH
 Oberflächenrauheit : Ra=1,165/1,247 μ m R_{Pc}=89/93 1/cm
 Werkzeugmaterial : GGG 70L - gehärtet
 Kontaktdruck : 4 - 6 - 8 - 10 MPa

Stoßfläche : 40 mm x 78 mm
 Schubgeschwindigkeit : 1 mm/s
 Variante : 1B
 Temperatur : 40°C
 Aufnahme­geschwindigkeit : 2 kHz
 Messstrecke : 400 mm

Schlusswerte

Zkouška	F ₄ Max N	F ₄ Avg N	F ₄ High N	F ₄ Low N	delta_F4 N
1	5687	5611	5687	5334	353
2	5666	5600	5666	5334	331

Statistika	F ₄ Max N	F ₄ Avg N	F ₄ High N	F ₄ Low N	delta_F4 N
Počet zkoušek	2	2	2	2	2
Průměrná hodnota	5676	5605	5676	5334	342
Směrodatná odchylka	15	8	15	0	16



ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Vladimír Pelinka		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality		
NÁZEV PRÁCE	Problematika povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.		
KATEDRA	KSE - Katedra strojírenství a elektrotechniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2020
POČET STRAN	56		
POČET OBRÁZKŮ	21		
POČET TABULEK	6		
POČET PŘÍLOH	2		
STRUČNÝ POPIS	<p>Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu. Cílem bakalářské práce je představení současných trendů povrchových úprav plechů používaných v automobilovém průmyslu, analýza vybraných druhů povrchových úprav plechů a vyhodnocení jejich vhodnosti, výhod a nevýhod pro použití v automobilovém průmyslu.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	povrchové úpravy, HDG, EG, automobilový průmysl, karoserie		

ANNOTATION

AUTHOR	Vladimír Pelinka		
FIELD	6208R186 Business Administration and Operations, Logistics and Quality Management		
THESIS TITLE	The issue of surface treatment of sheet metal used in the automotive industry		
SUPERVISOR	Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.		
DEPARTMENT	KSE - Department of Mechanical and Electrical Engineering	YEAR	2020
NUMBER OF PAGES	56		
NUMBER OF PICTURES	21		
NUMBER OF TABLES	6		
NUMBER OF APPENDICES	2		
SUMMARY	<p>Batchelor thesis focuses on the issue of surface treatment of sheet metal used in the automotive industry. The aim of the Batchelor thesis is to present current trends of sheet metal finishes used in the automotive industry, to analyse selected types of sheet metal finishes and to evaluate their suitability, advantages and disadvantages for use in the automotive industry.</p>		
KEY WORDS	surface treatment, HDG, EG, automotive industry, car body		