

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 - Strojní inženýrství

Strojírenská technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Zhodnocení použití pevných a polotuhých mazadel v sériové výrobě při lisování výlisků karosářského typu

Evaluation of using drylubes and semidrylubes lubrications in series production stamping of car body mouldings

Jiří Sobotka

KSP - 729

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Mirko Král, CSc. – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: Ing. Michaela Kolnerová – *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	93
Počet tabulek:	18
Počet příloh:	6
Počet obrázků:	19

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146072415

Datum: 28.5.2004



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Jiří S O B O T K A

Obor

2301 T Strojírenská technologie

Zaměření

Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

**Zhodnocení použití pevných a polotuhých mazadel v sériové výrobě
při lisování výlisků karosářského typu**

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznámení s problematikou tažení karosářských výlisků
2. Přehled sortimentů mazadel používaných pro tažení
3. Tribologické vlastnosti materiálu, vliv maziv při tažení
4. Pro vybraná mazadla provést zhodnocení jejich použití při sériovém lisování
5. Vyhodnocení výsledků, závěr

V 34/045

KSP/TP
93 s. [49] s
2 a L., obrázky

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva cca 50 stran
- grafické práce

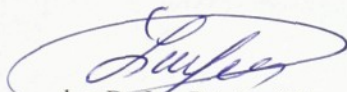
Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- /1/ MARCINIAK, Z. : Teorie tváření plechů, SNTL Praha, 1964
- 2/ KUBÍČEK, P. : Tribologické podmínky při tažení výlisků, Diplomová práce
Technická univerzita v Liberci, 1997
- /3/ BLÁŠKOVÍČ, P.-BALLA, J.-DZIMKO, M. : Tribológia, ALFA Bratislava, 1990
- /4/ ŠTĚPINA, V.-VESELÝ, V. : Maziva v tribologii, VEDA Bratislava, 1985
- /5/ Podkladové materiály firem vyrábějících maziva

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Mirko Král, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Michaela Kolnerová

L.S.



doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry



doc. Ing. Petr Louda, CSc.
děkan

V Liberci dne 31.10. 2003

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství
Diplomant: Jiří Sobotka
Téma práce: Zhodnocení použití pevných a polotuhých mazadel v sériové výrobě při lisování výlisků karosářského typu
Evaluation of using drylubes and semidrylubes lubrications in series production stamping of car body mouldings
Číslo DP: KSP-729
Vedoucí DP: doc. Ing. Mirko Král, CSc. – *TU v Liberci*
Konzultant: Ing. Michaela Kolnerová – *TU v Liberci*

Abstrakt:

Tématem diplomové práce je zhodnocení použití pevných a polotuhých mazadel v sériové výrobě při lisování výlisků karosářského typu a to se zaměřením na mazadla typu Hotmelt. V obecné části jsou vysvětleny základní pojmy z oblasti lisování, popsány druhy a rozdělení mazadel a požadavky na ně kladené. Na závěr teoretické části je zohledněna problematika hodnocení mazadel a to především z procesního pohledu. V experimentální části jsou za určitých podmínek změřena čtyři mazadla typu Hotmelt. Ze získaných hodnot jsou sestaveny tabulky a grafy. Na závěr jsou formulovány získané poznatky, které se opírají o tribologické hledisko.

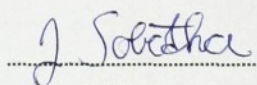
Abstract:

The theme of this diploma work is the appreciation of using drylubes and semidrylubes lubrications in series production of car body mouldings with focused to lubrications called Hotmelt. The general part contains explanations of keyword of stamping, description types and spliting of lubrications and requirements setting on them. At the end of this part is make provision for problem appreciation of lubrications, firts of all from procedural view. In experiment part are measured four type of Hotmelt lubrications in certain terms. Graphs and tables are assembler from measured values. At the end there are conclusions resulting from tribology point of view.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 28. května 2004



Jiří Sobotka

Touto cestou bych rád vyjádřil poděkování doc. Ing. Mirko Královi, CSc., Ing. Michaela Kolnerové a Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné informace, které mi poskytli při zpracování mé diplomové práce.



OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	8
1. ÚVOD.....	10
2. TAŽENÍ VÝLISKŮ	11
2.1. TAŽENÍ VÝLISKŮ KAROSÁŘSKÉHO TYPU	12
2.2. PODMÍNKY OVLIVŇUJÍCÍ PROCES LISOVÁNÍ	15
2.2.1. Vliv materiálu	16
2.2.2. Vliv konstrukce nástroje	16
2.2.3. Technologické podmínky	16
2.3. SORTIMENT PLECHŮ POUŽÍVANÝCH PRO KAROSÁŘSKÉ VÝLISKY	17
2.3.1. Texturování pracovního válce	17
2.3.2. Vývoj ocelových plechů pro automobilový průmysl.....	19
2.4. POVRCHOVÉ ÚPRAVY PLECHŮ.....	22
2.5. HODNOCENÍ POVRCHU PLECHU	23
2.5.1. Měření drsnosti povrchu plechu	23
3. TŘENÍ PŘI TVÁŘENÍ	25
3.1. POVRCH MATERIÁLU A SKUTEČNÁ PLOCHA STYKU.....	26
3.2. PROCESY TŘENÍ	26
3.2.1. Suché tření	27
3.2.2. Mezní tření	28
3.2.3. Hydrodynamické tření	28
3.2.4. Smíšené tření.....	29
3.3. TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY	31
4. MAZADLA PRO TVÁŘENÍ.....	32
4.1. KAPALNÁ MAZADLA	33
4.1.1. Homogenní směsi	33
4.1.2. Použití mazacích olejů při lisování a jejich nanášení	35
4.2. PLASTICKÁ MAZADLA	36
4.3. PEVNÁ MAZADLA.....	38
4.4. MAZADLA TYPU HOTMELT.....	39
4.5. POŽADAVKY KLADENÉ NA MAZADLA.....	41



5. HODNOCENÍ MAZADEL A JEJICH VLIV NA LISOVATELNOST.....	46
5.1. VLIV MAZADEL NA LISOVATELNOST.....	46
5.2. HODNOCENÍ DLE VHODNOSTI PŘI POUŽITÍ V SÉRIOVÉ VÝROBĚ	47
5.2.1. Tribologické hodnocení	47
5.2.2. Procesní hodnocení	47
5.2.3. Ekonomické hodnocení.....	50
6. METODIKA EXPERIMENTU	52
6.1. POPIS ZKOUŠKY POUŽÍVANÉ NA TU V LIBERCI.....	53
6.2. POPIS EXPERIMENTU Z HLEDISKA POUŽITÝCH MAZADEL	54
6.3. MATERIÁL VZORKŮ.....	54
6.4. MATERIÁL ČELISTÍ PŘÍPRAVKU	57
6.5. PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	57
6.6. POPIS ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ	58
7. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU	61
7.1. TYPY POŘÍZENÝCH ZÁZNAMŮ	61
7.2. KRITÉRIA PRO HODNOCENÍ MAZADEL	63
7.3. NAMĚŘENÉ HODNOTY SIL PRO ANTICORIT PL 39SX (FUCHS)	64
7.3.1. Grafické znázornění sil dle použitých povrchů a metod.....	65
7.3.2. Dílčí výsledky	67
7.4. NAMĚŘENÉ HODNOTY SIL PRO AP 171 (PFINDER).....	68
7.4.1. Grafické znázornění sil dle použitých povrchů a metod.....	69
7.4.2. Dílčí výsledky	71
7.5. NAMĚŘENÉ HODNOTY SIL PRO DRYCOAT 2 (QUAKER).....	72
7.5.1. Grafické znázornění sil dle použitých povrchů a metod.....	73
7.5.2. Dílčí výsledky	75
7.6. NAMĚŘENÉ HODNOTY SIL PRO MULTIDRAW E1 (ZELLER + GMELIN).....	76
7.6.1. Grafické znázornění sil dle použitých povrchů a metod.....	77
7.6.2. Dílčí výsledky	79
7.7. GRAFICKÉ POROVNÁNÍ MAZADEL NA POVRCHU HDG	80
7.8. GRAFICKÉ POROVNÁNÍ MAZADEL NA POVRCHU HDG + NIT	84
7.9. ROZBOR VÝSLEDKŮ ZJIŠTĚNÝCH PŘI POROVNÁVÁNÍ MAZADEL	88
8. ZÁVĚR	89
9. SEZNAM LITERATURY.....	92
10. SEZNAM PŘÍLOH.....	93



Seznam použitých zkratek a symbolů

Označení	Rozměr	Význam
A_{80}	[%]	Tažnost na délce $l = 80$ mm
b	[mm]	Šířka pásku
F_1	[N]	Brázdící síla
F_2	[N]	Smýkací síla
F_h	[N]	Velikost maximální síly v ustálené části
F_{max}	[N]	Maximální síla
F_{min}	[N]	Minimální síla
F_n	[N]	Normálová síla
F_N	[N]	Normálová síla čelistí
$F_{střední}$	[N]	Střední síla
F_T	[N]	Třecí síla
F_t	[N]	Tažná síla
ΔF	[N]	Velikost rozkmitu sil
l	[mm]	Délka pásku
L_{mez}	[mm]	Minimální hranice vyhodnocení zkoušky
p	[MPa]	Tlak
R	[mm]	Poloměr tažné hrany
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu
R_{max}	[μm]	Maximální výška profilu
R_a	[μm]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
RP_c	[1/cm]	Počet výstupků
R_z	[μm]	Výška nerovností
s	[mm]	Tloušťka pásku
S	[m^2]	Činná plocha styku
v	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Rychlost pohybu
σ_1	[MPa]	Napjatost
φ_1	[1]	Přetvoření
η	[Pa·s]	Koeficient dynamické viskozity
μ	[1]	Součinitel tření



Al	Hliník
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
BH	Bake Hardening
C	Uhlík
CP	Complex Phase
CQ	Commerical Quality
DP	Dual Phase
DQ	Drawing Quality
DDQ	Deep Drawing Quality
EBT	Electron Beam Texturing
EDT	Electric Discharge Texturing
EDDQ	Extra Deep Drawing Quality
EDDQ – S	Super EDDQ
EG	Elektrolyticky pozinkovaný plech
GGG-70L	Materiál zkušebních čelistí
HDG	Žárově pozinkovaný plech
HDG + NIT	Žárově pozinkovaný plech s mikrofosfátem
IF	Interstitials Free
LT	Laser Texturing
MoS ₂	Simník molybdeničitý
N	Dusík
např.	Například
Nb	Niob
obr.	Obrázek
PRETEX	Preussag Texturing
PTFE	Polytetrafluorethylen
SBT	Shot Blast Texturing
tab.	Tabulka
Ti	Titan
TRIP	Transformačně indukovaná plasticita
Zn	Zinek



1. Úvod

V současném strojírenském průmyslu se stále zvyšuje tlak na vysoce produktivní a co nejméně energeticky náročnou výrobu. Neustále také roste požadavek na co nejvyšší kvalitu výlisků. Spolu s tím tedy vystupují do popředí vědní obory, které úzce souvisí jak s vlastní výrobou, tak i spotřebou energie. Jedním z těchto odvětví, jejichž výsledky mohou vést k lepší využitelnosti strojů i materiálů používaných v příslušném průmyslovém odvětví, je i tribologie.

Tribologie je vědní disciplína zabývající se vzájemným působením povrchů tuhých těles při jejich relativním pohybu. Je naukou o tření, vzájemném působení povrchů materiálů při jejich pohybu a zabývá se tak i problematikou energií, technologií a materiálů s tím souvisejících. Popsání tribologických podmínek v soustavě stroj – nástroj – mazadlo je pak hlavním úkolem tribologie v procesu tažení a dochází ke sdružování procesů tření, opotřebení a mazání. Takováto skutečnost vyžaduje komplexní přístup z více vědních oborů. Základními z nich jsou fyzika, mechanika, chemie, fyzikální metalurgie a nauka o materiálu.

S ohledem na skutečnost, že výlisky karosářského typu v automobilovém průmyslu zauímají poměrně značný podíl na trhu, je tribologický výzkum podporován nejen výrobcí plechů a maziv, ale také podniky, kde dochází k vlastnímu zpracování plechů. Tento fakt je velice důležitý, protože možnost vyzkoušení nových produktů či postupů v samotné výrobě poskytuje výsledky, které se v mnoha případech mohou velice lišit od hodnot naměřených v laboratořích či zkušebnách. Lze také snáze rozpoznat problémy, které mohou nastat až v procesu tažení výlisků karosářského typu. Díky tomu jsou neustále hledány nové možnosti ovlivňování vlivů, které vstupují do samotného tribologického procesu včetně mazadla jako významného tribologického prvku. Jedním z výsledků takovéto snahy jsou i mazadla typu Hotmelt, jež jsou i předmětem výzkumu této práce.

Nasazování takovýchto „novinek“ do výroby v automobilovém průmyslu však vyžaduje velice citlivé a přesné rozhodování. Nejedná se totiž pouze o posouzení z tribologického hlediska, ale musí se také zohledňovat vlivy, které do procesu výroby karoserie vstupují. Správné rozhodnutí je následně možné pouze na základě mnohých zkušeností z technologické praxe a vyžaduje také potřebu podrobných podkladů z příslušné problematiky.

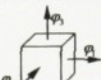
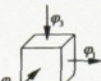
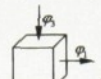
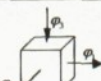
2. Tažení výlisků [1, 2, 4]

Jedním z představitelů plošného tváření za studena je technologická operace tažení. Při tomto procesu dochází k trvalému přetvoření rovinných přístřihů v prostorové výlisky nerozvinutelných tvarů. Tažení je proces, při kterém dosahujeme požadovaného tvaru výlisku bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu a uplatňují se při něm stavy napjatosti a přetvoření patrné z obr. 2.1.

Tažení obecně dělíme na:

- I. Tažení se zeslabením stěny výtažku (tloušťka stěny je ovlivňována typem a geometrií nástroje).
- II. Tažení bez zeslabení stěny výtažku (mezi tažnicí a tažníkem je dostatečná vůle a tloušťka plechu se mění oběma směry).

Celý proces tažení a s ním spojenou konečnou kvalitu tvářeného výrobku ovlivňuje velké množství faktorů. Mezi hlavní vlivy patří především druh materiálu plechu a jeho povrchu, kvalita povrchu a materiál nástroje, tření mezi styčnými plochami nástroje a plechu, použití přidržovače a druh mazadla. V různých případech je snaha tření snižovat (v rozích hranatých výlisků) a v jiných případech zvyšovat tření nebo místně brzdit plech (v místech stěn hranatého výtažku).

	napjatost	přetvoření
I		 $ \sigma_2 > \sigma_1$  $\sigma_2 = -\sigma_1$  $ \sigma_2 < \sigma_1$
II		 $\varphi_2 = \varphi_3 = -\frac{\varphi_1}{2}$
III		 $\sigma_3 < \frac{\sigma_1}{2}$  $\sigma_2 = \frac{\sigma_1}{2}$ 
IV		 $\varphi_1 = \varphi_2 = -\frac{\varphi_3}{2}$

Obr. 2.1. Stavy napjatosti a přetvoření uplatňující se při tažení výlisků

2.1. Tažení výlisků karosářského typu [1, 2, 5]

Tažení výlisků nepravidelných tvarů, jejichž klasickým představitelem jsou výlisky tzv. „karosářského typu“, představuje z technologického hlediska jednu z nejsložitějších operací výrazně se odlišující od problematiky hlubokého tažení jednoduché rotační nádoby. Jedná se především o nepravidelné velkoplošné výtažky, které se vyznačují členitým povrchem a nerovnoměrnou hloubkou tažení. Z obecného hlediska můžeme zařadit toto tažení do skupiny tažených součástí bez zeslabení stěny, ale za daleko obtížnějších podmínek než u výtažků pravidelných. Vysoké požadavky jsou zde kladeny na jakost povrchu, rozměrovou přesnost, tuhost výtažků i estetickou úroveň povrchových dílů. Z hlediska prostorového tvaru lze rozdělit výlisky nepravidelných tvarů do dvou základních skupin:

- 1) Ploché díly, u nichž se uplatňuje především vypínání.
- 2) Výlisky se složitým prostorovým tvarem a velkou hloubkou tažení, při jejichž vzniku se uplatňuje především posuv materiálu.

Výtažek je tvořen ve většině případů křivočarými plochami a jeho obrys je nepravidelný a složitý. V důsledku této nepravidelnosti tvaru a členitosti povrchu dochází k nerovnoměrným stavům napjatosti a přetvoření v různých místech výlisku. Jak již bylo zmíněno, při vzniku těchto výlisků se uplatňují přetvoření jak posuvem (přes tažnou hranu tažnice), tak vypínáním (např. plech intenzivně bržděn pod předrzhovačem). Tyto dva způsoby jsou však krajní meze přetvoření plechu. Při výrobě takových dílů je materiál podroben komplexnímu přetvoření, které zahrnuje jak hluboké tažení a vypínání, tak i ohýbání a opětovné rovnání, rozšiřování a lemování. Příklady stavů napjatosti a přetvoření, které se uplatňují při tažení výlisků karosářského typu, lze vidět na obr. 2.1.1., kde je vidět výlisek pátých dveří automobilu Škoda Octavia.



Obr.2.1.1. Představitel výlisku karosářského typu (5. dveře Škoda Octavia)

- Oblast A. Jedná se hlavně o posuvy s ohybem a narovnáním za tažnou hranou. Stavby napjatosti a přetvoření jsou blízké variantě II na obr.2.1.
- Oblast B. V této oblasti převládají posuvy (jako při hlubokém tažení rotačních nádob). Stavby napjatosti a přetvoření pod přídržovačem odpovídají variantě I, za tažnou hranou a na boční stěně odpovídají variantám II (popř. III).
- Oblast C. Jedná se o tvarově složitou oblast a při stavech napjatosti odpovídající variantě I na obr. 2.1. může dojít ke ztrátě stability a vzniku vln.
- Oblast D. V těchto oblastech výlisku s místními prolisy převládá vypínání za podmínek odpovídajících variantám III a IV na obr. 2.1.

K technologickým zvláštnostem tažení výlisků nepravidelných tvarů patří i to, že plocha výlisku je mnohem větší než plocha, která se nachází v oblasti přídržovače. Další specifické zvláštnosti tažení výlisků karosářského typu je možno shrnout v těchto bodech.

- Ve velké většině se jedná o výlisky relativně mělké, u kterých požadujeme určitou míru tuhosti a stability.
- Plocha přídržovače většinou není rovinná, ale má tvar zborcené plochy.
- K přetvoření plechu dochází za působení převážně tahových napětí. Tlaková napětí se objevují především v oblasti přídržovače a mohou zde způsobovat nežádoucí vznik vln. Pro získání dostatečně tuhé výlisku bez zvlnění je nutno v oblasti přídržovače nebo tažné hrany plech brzdit a intenzitu brždění po obvodu měnit. Regulace brždění

plechu se docílí pomocí různých technologických zásahů, které umožňují změnu podmínek vtahování tvářeného plechu do prostoru tažnice. Tím se vytvářejí příznivější stavy napjatosti a stupně přetvoření v kritických místech výtažku.

- Velké rozměry výtažků a členitost jejich tvarů neumožňují často dostatečně ovlivnit průběh tažení změnou podmínek v oblasti přidržovače. Potom je tedy nutné použít různé technologické prolisy a otvory v nástřihu.
- Úspěšné tažení lze zajistit i vhodným tvarem plochy přidržovače, lisovací polohou v nástroji a často je i nutné seskupení výlisků.
- Kritická místa výlisku se přimazávají technologickým mazadlem.

Všechny doplňkové technologické zásahy mají přispět k vytvoření příznivějšího stavu napjatosti a stupně přetvoření v kritických místech výtažku. Celkovou snahou je vyšší využití tvárnosti daného materiálu a celkové zvýšení efektivity tažení.

Vlastní proces tažení však samozřejmě není ovlivněn jenom vlastním výliskem, jedná se o celý systém vzájemně se ovlivňujících faktorů. Jedna z nejdůležitějších vazeb je vzájemná interakce nástroj - plech. Problém nástrojů pro karosářské výlisky je poměrně široký a proto je v této práci zmíněn jen v několika hlavních bodech. Mezi základní faktory ovlivňující a limitující vlastní proces tažení (z hlediska nástroje) patří:

- volba technologických přídavek,
- určení tvaru a velikosti pracovní plochy přidržovače,
- umístění výlisku do lisovací polohy,
- změny tvaru výlisků,
- předlisování polotovarů (např. vystřížení technologických otvorů),
- úprava tažné hrany tažnice (zvýšením nebo zmenšením poloměru zaoblení).

Je velmi důležité si uvědomit, že lisovací nástroje jsou velmi drahé a jejich pozdější úpravy jsou možné pouze v omezeném měřítku. Při funkčním odzkoušení a doladování se mohou měnit jen některé doplňkové vlivy (mazání, tažné hrany, brzdící lišty atd.). V důsledku těchto skutečností je velice důležitá vysoce propracovaná příprava na jejich konstrukci a výrobu. Zanedbání spolu s nerespektováním již zmíněných zvláštností v konstrukci nástroje výlisku karosářského typu může vést k narušení bezproblémového tažení a ke vzniku zmetků, které se projevují v následujících podobách.

- Lokalizace přetvoření, která vede v nejvíce přetvořené oblasti výlisku k tvárnému lomu v důsledku vyčerpání plasticity materiálu.

- Porušení výlisku, vznik trhliny způsobené překročením pevnosti materiálu v tahu mimo ohnisko přetvoření.
- Zvlnění plechu jako projev nestability při působení tlakových napětí.
- Výskyt povrchových rýh, zadírání při styku plechu s nástrojem, otlaky, otřepy, vyboulení, propadliny atd.
- Nedodržení tvarové a rozměrové přesnosti.

Nejzávažnějším problémem je pravděpodobně vznik trhlin na výlisku. Je však nutné poznamenat, že výlisek je lisovatelný pouze v případě, že jsou vyřešeny všechny uvedené problémy.

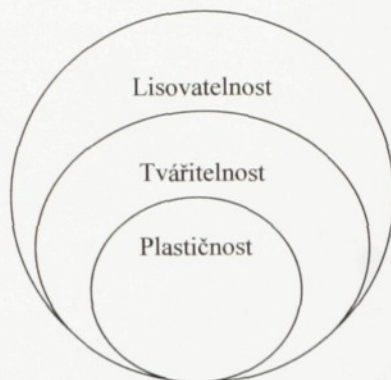
2.2. Podmínky ovlivňující proces lisování [1, 4]

V této kapitole jsou popsány základní pojmy, které souvisí s lisovatelností a hlavní vlivy uplatňující se při tažení výlisku. Na lisování je totiž třeba pohlížet jako na systém vzájemného působení mnoha faktorů (vstupní materiál, vlastní tvar výlisku, nástroj atd.) a je tedy nutné řešit otázku lisovatelnosti s komplexním přístupem.

Schopnost kovových těles trvale měnit svůj tvar a rozměry závisí především na jejich plastických vlastnostech. Tyto vlastnosti se mění s chemickým složením, fyzikálním stavem kovů a také vnějšími podmínkami tváření. Vlastní pojem plastičnost (tvárnost) lze definovat jako schopnost k trvalým změnám tvaru tělesa pod účinkem vnějších sil. Je třeba ji chápat jako podmíněnou vlastnost závislou na mnoha činitelích. Mezi ně patří chemické složení, struktura materiálu, teplota, rychlost přetvoření a stav napjatosti.

V praxi se často schopnost kovů k plastické deformaci spojuje s jejich upotřebitelností pro zpracování danou tvářecí technologií. V tomto případě je třeba brát v úvahu také velikost odporu proti přetvoření. Ten ovlivňuje velikost tvářecí síly a energetickou náročnost dané operace. Hodnotí-li se chování materiálu z hlediska jeho plastičnosti a současně i odporu proti přetvoření, hovoříme o jeho tvářitelnosti. Daný materiál může být výborně plastický (snese velké trvalé změny tvaru), ale při tažení klade takový odpor proti působení tvářecího nástroje, že pro danou technologii je jeho tvářitelnost špatná. Naopak dobrá plastičnost (např. vlivem nízké meze kluzu materiálu) může vést k zadírání materiálu v nástroji, takže i zde je tvářitelnost špatná.

Lisovatelnost je nejširší pojem, který v sobě zahrnuje jak tvářitelnost, tak plastičnost. Vztahy mezi těmito pojmy ukazuje obr. 2.2.1.



Obr. 2.2.1. Vysvětlení pojmů plastičnost, tvářitelnost s lisovatelnost

2.2.1. Vliv materiálu

Vhodnost materiálu pro tažení daného výlisku se posuzuje stanovením materiálových charakteristik. Vlastní stanovení se děje pomocí zkoušek více či méně napodobujících vlastní tvářecí pochod. Samotné zkoušky lze rozdělit na zkoušky základní (tahová zkouška, zkouška tvrdosti, velikosti a tvaru zrna, hodnocení struktury, drsnosti atd.) a zkoušky napodobující (zkouška hloubením dle Erichsen, kalíškovací zkouška a další).

2.2.2. Vliv konstrukce nástroje

Nemalý vliv na průběh tažení má i konstrukce nástroje, hlavně kvalita povrchu a tvar tažné hrany tažnice a tažníku i tlak přidržovače. Tyto faktory ovlivňují velikost tažné síly. Poloměry zaoblení tažných hran tažnice jsou závislé na tloušťce plechu.

Tažná mezera mezi tažníkem a tažnicí má být o málo větší než je tloušťka plechu, aby se mohl přebytečný materiál při vtahování přemístit a nepěchoval se, což by způsobilo vznik vln na výlisku. Z důvodů zabránění vzniku vln je při lisování výlisků nepravidelných tvarů nutné používat přidržovače.

2.2.3. Technologické podmínky

Mezi technologické faktory ovlivňující proces tažení patří především tření a s ním spojené mazání, rychlost tažení, použitý materiál, nástroj, drsnost a další. Těmto vlivům budou věnovány následující kapitoly.

2.3. Sortiment plechů používaných pro karosářské výlisky [2, 3]

Vzhledem ke stálému nárůstu požadavků na plech jako na konstrukční materiál se v posledních letech stalo samozřejmostí používat plechy s ochrannými povlaky na bázi Zn. Tento trend souvisí hlavně s požadavky spotřebitelů na míru korozní odolnosti automobilových karosérií, protože Zn povlaky jsou relativně levné a poskytují výbornou ochranu proti korozi.

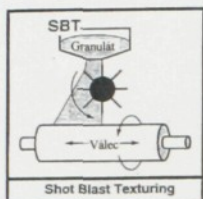
Pomineme-li fakt, že materiál musí splňovat kritéria související s bezporuchovým lisováním (vznik trhlin a tvarových nepřesností), není však pouze korozní odolnost materiálů používaných v automobilovém průmyslu jediným omezujícím faktorem.

Prvotním a hlavním dojmem, který působí na zákazníka v automobilovém průmyslu, je vzhled a kvalita laku. Tento výsledný stav laku je vysoce ovlivněn morfologií povrchu použitého plechu. Problematikou vytváření morfologie povrchu plechu určeného na pohledové části karoserie automobilu se zabývají všichni přední světoví výrobci plechů. Krátký přehled principu texturování povrchu pracovního válce pro výrobu plechů je uveden v další kapitole.

2.3.1. Texturování pracovního válce [5]

Metody texturování pracovního válce se dají rozlišit na dnes již klasické opracování povrchu pracovních válců a moderní způsoby texturování, které se v dnešní době používají především. Ke klasickým metodám patří způsob mechanického otryskávání jemnozrnným granulátem (označení SBT – **S**hot **B**last **T**exturing) a opracování pomocí elektrojiskrového výboje (označení EDT – **E**lectric **D**ischarge **T**exturing). Do skupiny moderních metod texturování pak patří opracování povrchu pracovního válce pomocí laserového paprsku (označení LT – **L**aser **T**exturing), elektronového paprsku (označení EBT – **E**lectron **B**eam **T**exturing) a opracování pomocí chromování pracovního válce (označení PRETEX – **P**reussag **T**exturing). Specifické zvláštnosti jednotlivých metod texturování pracovního válce a jejich stručné schéma je vidět na obr. 2.3.1.1.

Metoda SBT (Shot Blast Texturing)

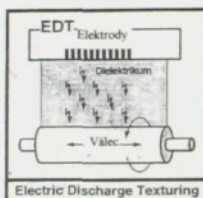


Způsob texturování: Otryskávání jemnozrnným granulátem.

Regulace drsnosti: Pomocí obvodové rychlosti tryskacího kola, velikosti tryskacího granulátu a tvrdosti pracovního válce.

Typ povrchu: Stochastický.

Metoda EDT (Electric Discharge Texturing)



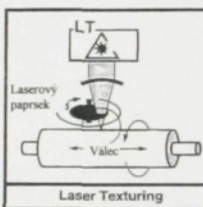
Způsob texturování: Elektrickým výbojem mezi povrchem válce a elektrodou v dielektrickém prostředí.

Regulace drsnosti: Pomocí velikosti napětí a vzdáleností elektrod.

Typ povrchu: Stochastický.

Ostatní: Oproti SBT lze dosáhnout nižší drsnosti.

Metoda LT (Laser Texturing)



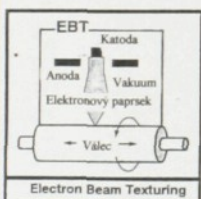
Způsob texturování: Laserovým paprskem.

Regulace drsnosti: Pomocí energie laserového paprsku, axiálním pohybem a otáčkami dělicího kotouče.

Typ povrchu: (Semi)deterministický.

Ostatní: Zejména pro křehké kráterové hrany, nízkou účinnost a vysokou nákladovost nenašla tato metoda širší uplatnění.

Metoda EBT (Electron Beam Texturing)



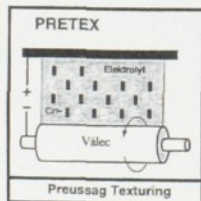
Způsob texturování: Elektronovým paprskem.

Regulace drsnosti: Pomocí otáčení válce a frekvencí elektronového paprsku.

Typ povrchu: Deterministický.

Ostatní: Lze zabezpečit pravidelné uspořádání kráterů i na velké vzdálenosti.

Metoda PRETEX (Preussag Texturing)



Způsob texturování: Elektrolytické vyloučení chromu na povrch pracovního válce.

Regulace drsnosti: Dle chromového elektrolytu tvořícího anodovou klec.

Typ povrchu: Stochastický.

Obr. 2.3.1.1. Metody texturování pracovního válce

2.3.2. Vývoj ocelových plechů pro automobilový průmysl [3]

Stále vzrůstající požadavky kladené na plech jako konstrukční materiál nevedou samozřejmě pouze ke zvyšování tlaku na povrchové protikorozní vrstvy plechu. Mají také za následek i stále hledání nových typů ocelí, které umožní těmto nárokům vyhovět. Vzhledem k časté protichůdnosti požadavků automobilového průmyslu se jedná o náročný úkol.

Zmíněná protichůdnost nároků na plechy v automobilovém průmyslu spočívá na jedné straně v tlaku od ekologických skupin na snahu o snižování spotřeby paliv, což nutí konstruktéry snižovat hmotnost vozidel používáním tenčích plechů. Na druhé straně vyžaduje zlepšování bezpečnosti pasažérů zvýšení tuhosti karosérií, čehož se při menší tloušťce dá dosáhnout pouze použitím pevnějších ocelí.

Dalším důležitým požadavkem na plechy v automobilovém průmyslu je zvyšování životnosti karosérie, což také přispělo k používání plechů s ochrannými povlaky. S tím souvisí nárok na povrchovou mikrogeometrii plechu vzhledem ke kvalitě laku (zmenšení stop po tvářecím procesu – rýhy, škrábance atd.).

Vlastní trend vývoje ocelových plechů s přihlédnutím ke zmíněným požadavkům je popsán v následujících bodech.

✓ *Hlubokotažné plechy z ocelí uklidněných Al*

Jedná se o plechy, které ještě donedávna byly hlavním materiálem pro stavbu karosérií. Jejich výborná tvářitelnost je předurčuje pro tvarově složité výlisky hlavně pro povrchové díly, kde jsou mimo mechanických vlastností kladeny také vysoké nároky na povrchové charakteristiky (především čistotu a mikrogeometrii). Velký rozvoj počítačové simulace si v poslední době vynutil přesnou specifikaci jejich vlastností, které se dají využít už v počátečních stádiích návrhu. Hlavní skupiny specifikací lze rozdělit na:

CQ (Commerical Quality) – plechy běžné kvality,

DQ (Drawing Quality) – plechy vhodné pro tažení,

DDQ (Deep Drawing Quality) – plechy pro hluboké tažení,

EDDQ (Extra Deep Drawing Quality) – zvlášť hlubokotažné plechy,

EDDQ – S (Super EDDQ) – super hlubokotažné plechy (spíše již IF ocele).

✓ IF ocele bez intersticií (*Interstitials Free*)

Zvětšující se nároky automobilového průmyslu (hlavně na korozní odolnost a tvářitelnost) odhalily jisté limity pro ocele uklidněné Al. Jednalo se hlavně o nemožnost zajistit dobrou hlubokotažnost především po žárovém pozinkování (HDG). Ocele uklidněné Al totiž vykazovaly degradaci mechanických vlastností ve formě deformačního stárnutí. Byly tedy vyvinuty ocele bez intersticií a začalo se pro ně používat označení IF ocele (*Interstitials Free*). Tyto ocele se vyznačují vynikající kombinací mechanických vlastností a jsou odolné vůči deformačnímu stárnutí i po žárovém pozinkování. Této skutečnosti se dosahuje použitím interstiticky rozpustných atomů C a N, které jsou vyvázané na stabilní sloučeniny Ti nebo Nb.

✓ IF ocele vykazující BH efekt (*Bake Hardening*)

Vývoj tohoto typu ocelí si vyžádala skutečnost, že samotné IF ocele mají nízkou mez kluzu, což je sice výhodné z hlediska tvářitelnosti, ale projevuje se také nízkou odolností těchto ocelí při dalším zpracování. Pro eliminaci tohoto jevu byly vyvinuty IF ocele vykazující BH efekt (*Bake Hardening*). Jedná se vlastně o vytvrzovací efekt, který je patrný při samotném vypalování laku karoserie za teploty okolo 170°C. Z hlediska tohoto BH efektu se dají rozlišit dva základní druhy těchto ocelí – se zvýšeným obsahem C nebo Ti (popř. Nb).

- U IF ocelí se zvýšeným obsahem C lze dosáhnout BH efektu za nižších žíhacích teplot. Vzhledem k faktu, že určitý obsah C zůstává v tuhém roztoku i při válcování za studena, nelze dosáhnout strukturu takového typu, která zabezpečí vysokou hlubokotažnost.
- Typ IF ocelí s přebytkem Ti a Nb vykazuje vynikající hlubokotažnost, protože během válcování za studena prakticky neexistuje C v tuhém roztoku. Jejich nevýhodou je však potřeba vysokých žíhacích teplot.

✓ Vysokopevnostní ocele

Používání tohoto typu ocelí si vynutil trend na neustálé snižování hmotnosti a zvyšování tuhosti a odolnosti při nárazu karoserie. Při jejich vývoji se v různé kombinaci používají mechanismy zpevnění (zpevnění tuhého roztoku, disperzní, dislokační a transformační proces). Oproti ocelím s BH efektem vykazují vyšší hodnotu tažnosti a hlavním úkolem těchto ocelí je snaha dosáhnout dobré kombinace pevnosti a tažnosti.

✓ DP (dvoufázové) ocele (**D**ual – **P**hase)

Teprve před nemnoha lety byly objeveny příznivé vlastnosti dvoufázových ocelí (DP – Dual Phase). Mají strukturu tvořenou feritickou maticí, ve které se nacházejí malé ostrůvky martenzitu. Díky této struktuře mají tyto ocele velmi dobrou tvářitelnost za studena a také jim zaručuje pevnost 500-600 MPa. Zatímco u vysokopevnostních mikrolegovaných ocelí může mez kluzu vzrůst až na 90% pevnosti, v případě DP ocelí nedosahuje tato hodnota ani 70%, což ulehčuje tvářecí proces. Díky vysoké kapacitě deformačního zpevnění dochází totiž ke snížení rizika výrazného ztenčení stěny u výlisků nepravidelných tvarů. Tento druh ocelí je vhodný pro lakování moderními tenkovrstevnými nátěry a časté je také použití pro výrobu automobilových kol.

✓ TRIP – ocele (**T**ransformačně **i**ndukovaná **p**lasticita)

Jejich název TRIP ocele (transformačně indukovaná plasticita) určuje vlastní výchozí strukturu. Ta je tvořena z feritu a bainitu s ostrůvky zbytkového nepřeměněného austenitu, který transformuje na tvrdý martenzit až při tváření. Kontrola obsahu austenitu však vyžaduje precizní sledování teplotně-deformačního cyklu na válcovací trati. Díky kombinaci svých vlastností (pevnost 700 MPa, tažnost nad 28%) jsou předurčeny na nejnáročnější součásti v automobilovém průmyslu.

✓ CP (multifázové) ocele (**C**omplex **P**hase)

U tohoto druhu ocelí se nedosahuje zpevnění klasickými mechanismy (např. zpevnění tuhého roztoku, zjemnění zrna atd.), ale využívá se tzv. strukturního zpevnění. Princip spočívá v cíleném zavedení strukturních složek různé tvrdosti a disperzity do kovové matrice. Je snahou, aby byly tyto složky rozmístěny co nejrovnoměrněji. Řízeným chlazením z austeniticko-feritické oblasti se pak vytvoří tyto multifázové ocele (CP – Complex Phase). Jejich hlavní charakteristikou je vysoká kapacita deformačního zpevnění (vyplývající z předem definované jemnozrnné struktury), která má za následek dobrou tvářitelnost a současně zaručuje velmi dobrou rozměrovou stálost výlisků. Díky své výborné úrovni dynamického deformačního zpevnění mají velmi dobrou schopnost absorbovat energii při crash testech.

2.4. Povrchové úpravy plechů

Jak již bylo napsáno, v automobilovém průmyslu se především díky své poměrně nízké ceně a výborné protikoroziční ochraně nejvíce uplatňují plechy s povlaky na bázi zinku. U těchto povlaků se v současnosti používají dva hlavní způsoby nanášení zinkového povlaku na základní materiál – plechy elektrolyticky (**EG** – Electro Galvanized) nebo žárově pozinkované (**HDG** – Hot Dip Galvanized).

V prvním případě dochází k postupnému usazování Zn povlaku na základní materiál. Vzhledem k faktu, že se tento děj nekoná za vysokých teplot, nedochází k ovlivnění podpovrchové vrstvy a přechod je velmi dobře patrný. V současnosti je však tento typ povrchové úpravy na ústupu, protože je oproti HDG plechům dražší pro svou energetickou náročnost.

U HDG typu nanášení zinkové vrstvy se používá ponoření základního materiálu do lázně roztaveného zinku. Přechod pak tvoří velmi tvrdé přechodové fáze a dochází k ovlivnění základního materiálu, což může vést k odlišným mechanickým vlastnostem. Dnešní technologie se však již dokáže se zápory této metody poměrně dobře vyrovnat a především menší nákladovost při výrobě je důvodem stále širšího používání HDG plechů.

Používání zinkových povlaků však obnáší i záporné stránky. Velkou nevýhodou těchto povlaků je jejich sklon k zadírání během tažení. Celý proces zadírání je vlastně porušení celistvosti povlaku. K tomuto narušení dochází postupně - od počátečního lokálního nahrnutí zinkového povlaku až po konečné úplné setření zinkové vrstvy. Tento jev představuje hrubé poškození povrchových vrstev a na zkušebním vzorku dochází ke vzniku úzkých rýh, které jsou viditelné již pouhým okem. Problémem při výrobě je velice obtížná odhadnutelnost výskytu tohoto jevu, který se nesmí vyskytnout na pohledové části karoserie.

V oblastech technologie tváření lze samozřejmě použít prvek, který kromě korozní ochrany plní ještě řadu dalších funkcí – tedy fosfát. Fosfát je totiž schopen zamezit bezprostřednímu styku tvářeného materiálu s povrchem nástroje a je také nosnou vrstvou pro mazadlo, což zaručuje požadavek stálého mazacího filmu i za vysokých tlaků (tento jev se s výhodou uplatňuje především v operacích protlačování). Z hlediska zpracování v automobilovém průmyslu však fosfátové vrstvy způsobují izolační schopnost povrchu plechu (nepříjemné ve svařovně) a způsobují také problémy v lakovně. Proto jsou vyvíjeny povlaky, které jsou určitým kompromisem, což je fosfát jemně rozptýlený na zinkovém povlaku – například **HDG + NIT** (použitý v této práci).

2.5. Hodnocení povrchu plechu [5]

Povrch tělesa je vnějším ohraničením od okolí a zároveň vymezuje namáhané povrchové a podpovrchové vrstvy od základního nenamáhaného materiálu. Povrch třecích těles (jako prvků tribologického systému) musí mít určité geometrické, fyzikální, chemické a další vlastnosti, které souhrnně označujeme jako kvalita povrchu.

Z hlediska tváření má povrch plechu splňovat určitá obecná kritéria, aby byl zajištěn bezproblémový průběh samotného lisování.

- Schopnost udržet optimální množství mazadla a zabránit poškození původní struktury.
- Schopnost přenášet vysoké kontaktní tlaky při posuvech přes malé poloměry zaoblení a odolávat jim při dosednutí částí lisovacích nástrojů.

2.5.1. Měření drsnosti povrchu plechu

Jedním ze základních způsobů hodnocení kvality povrchu je měření drsnosti povrchu. Tímto měřením vlastně charakterizujeme vlastní mikrogeometrii povrchu, která určuje jak samotný proces lisování, tak i vzhled povrchu po lakování. Základními parametry pro hodnocení geometrické kvality povrchu jsou:

1) Profil povrchu

Pohybem snímače drsnoměru se získá dvojdimenzionální profil jako obraz zkoumaného povrchu. Filtrací se z nefiltrovaného primárního profilu (P-profil) získá profil drsnosti (R-profil) a profil vlnitosti (W-profil). Na těchto třech profilech jsou pak všechny veličiny definovány a podle profilu analogicky označeny P, R nebo W.

2) Maximální výška profilu $R_{\max}$ [μm]

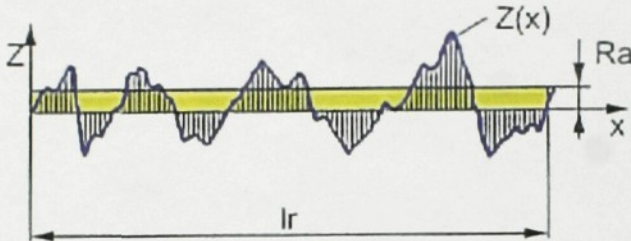
Maximální výška profilu $R_{\max}$ je definována jako součet nejvyššího výstupku R_p a hloubky nejnižší rýhy R_v uvnitř základní délky l_r .

3) Střední aritmetická hodnota drsnosti R_a [μm]

Střední aritmetická hodnota drsnosti R_a je aritmetický střed absolutních odchylek filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky l_r a je definována vztahem

$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx. \quad (1)$$

Schematické vyjádření střední aritmetické hodnoty drsnosti je vidět na obr.2.4.1.1.



Obr.2.4.1.1. Schematické vyjádření střední aritmetické hodnoty drsnosti Ra

4) Počet výstupků RPc [1/cm]

Počet výstupků RPc je počet výstupků Px na 10 mm vztažené délky.

5) Výška nerovností Rz [μm]

Výška nerovností Rz je stanovena jako střední hodnota vzdáleností mezi 5-ti nejvyššími body výstupků a 5-ti nejnižšími body prohlubní.

Závěrem k problému hodnocení povrchů je nutné poznamenat, že momentálně používaná kritéria hodnocení kvality povrchu podle příslušných norem na komplexní hodnocení povrchu z tribologického hlediska nestačí. Jedná se totiž stále o 2D hodnocení, které sice vyjadřuje snadno měřitelné charakteristiky, ale ke skutečným poměrům v samotném lisování má daleko. V dnešní době vstupuje do popředí možnost měření mikrogeometrie povrchu pomocí 3D hodnocení, při kterém získáme představu o reálném povrchu pomocí vrstevnicových map s případným axonometrickým zobrazením naměřených hodnot. Vytvoření trojrozměrného modelu je však časově náročné a vyžaduje velmi drahé speciální měřicí zařízení.

3. Tření při tváření [5, 6, 7, 8]

Při vzájemném působení povrchů v pohybu dochází k odporu proti pohybu - ke tření. Důsledkem tření je opotřebení. Tření je spojeno se ztrátou energie, opotřebení se ztrátou materiálu. Při realizaci technologických tvářecích pochodů, jejichž podstatou je trvalé přetvoření (deformace), se uplatňují aktivní a pasivní třecí síly, které mají velký vliv na samotný průběh procesu tažení. Aktivní třecí síly napomáhají tvářecímu procesu a naopak pasivní třecí síly působí v opačném směru.

Tření jako pasivní činitel brání rozvoji deformace, zvyšuje spotřebu energie nutné pro deformační proces a způsobuje opotřebení nástrojů. Aktivním činitelem je tření pouze u některých tvářecích technologií (např. válcování).

Z hlediska nároků na tření a opotřebení lze rozlišit tři kategorie:

- 1) Tření a opotřebení má být nízké (např. v ložiskách, převodech atd.).
- 2) Tření má být přiměřeně vysoké, ale opotřebení malé (např. tam, kde jde o omezení nebo zastavení pohybu – valení na cestách a kolejnicích atd.).
- 3) Tření a opotřebení jednoho třecího prvku má být nízké, zatímco opotřebení druhého prvku je nedůležité nebo i žádoucí (např. při obrábění kovů, drcení a mletí).

Ve výše zmíněném rozlišení má největší zastoupení první případ, kdy požadujeme tření i opotřebení co nejmenší. Proto je tedy snahou snižovat tření a opotřebení, čehož docílujeme především mazáním. Vlastní tření však také do značné míry ovlivňují technologické podmínky při procesu tažení. Jedná se zejména o druh materiálu, drsnost a charakter povrchu nástroje a plechu, druh tvářeného materiálu, rychlost posuvu plechu při tažení vzhledem k pracovním částem nástroje, použití mazadla (jeho množství a teplota).

Sdružením celé problematiky tření, opotřebení a mazání se zabývá tribologie. Aplikaci tribologických zásad se věnuje tribotechnika.

3.1. Povrch materiálu a skutečná plocha styku [6]

Povrch třecího materiálu hraje důležitou roli v celém tribologickém systému. Zde v důsledku mechanického namáhání vznikají vrstvy, které lze rozdělit na vnitřní a vnější. Základní materiál tvoří vnitřní vrstvu, která se skládá z neporušeného kovu, ale i z vrstev se značně porušenými krystalovými mřížkami. Vnější vrstvy pak vznikají jako důsledek reakce vnitřní vrstvy s okolím a právě její vlastnosti jsou důležitým faktorem pro průběh tření a opotřebení.

Další charakteristickou vlastností povrchu třecích ploch je skutečnost, že plocha, která zprostředkovává přenos pohybu, je v důsledku drsnosti materiálu menší než plocha geometrická. Nejedná se zde o styk dvou dokonale pružných těles, při kterém se uplatňují Hertzovy vztahy, ale vzájemný styk se děje po výčnělcích. Skutečná plocha styku je potom velmi malá a místní tlaky na vrcholcích povrchových nerovností dostatečně velké, aby působily jejich elastické až plastické deformace a to již při malých zatíženích.

Stanovení hodnocení povrchu materiálu je věnována kapitola 2.5.

3.2. Procesy tření [5]

Z hlediska prostoru mezi třecími povrchy rozlišujeme suché a tekutinové tření. Při suchém tření se stýkají bezprostředně oba třecí povrchy. Při tekutinovém tření jsou povrchy odděleny viskozni tekutinou (kapalinou nebo plynem) a jednotlivé režimy můžeme rozlišovat podle

bezrozměrného kritéria viskozity $\frac{\eta \cdot v}{p}$, (2)

kde: η – koeficient dynamické viskozity [Pa·s],

v - kluzná rychlost [m·s⁻¹],

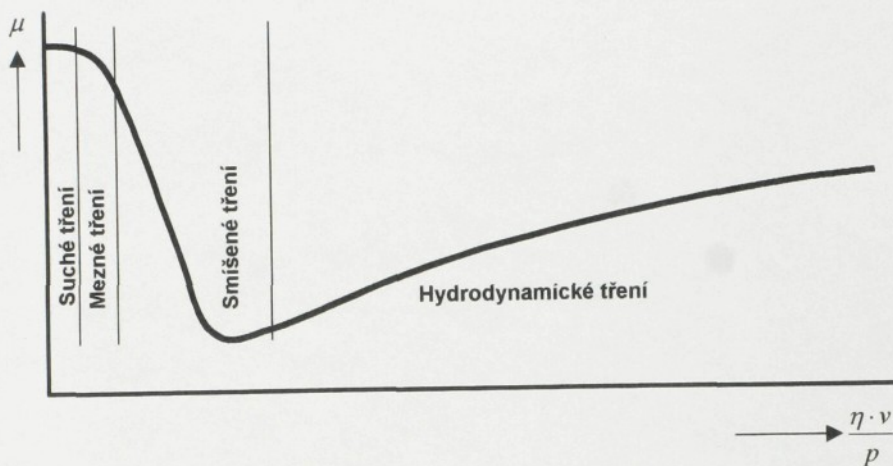
p - měrný tlak [Pa].

Výsledná závislost je pak vynesena do tzv. Striebeckova diagramu (obr. 3.2.1.), který nám určuje i čtyři základní druhy tření.

Jedná se o:

- | | | |
|-------------------------|---|--|
| a) suché tření | - | nastává přímý styk nástroje a materiálu, |
| b) mezní tření | - | } uplatňuje se viskozně |
| c) smíšené tření | - | |
| d) hydrodynamické tření | - | jedná se v podstatě o tření kapalinné. |

Striebeckův diagram



Obr. 3.2.1. Striebeckův diagram

Z obr. 3.2.1. vidíme, že se stoupající hodnotou kritéria na ose x dochází k přecházení z oblasti suchého tření do oblasti mezního tření s tloušťkou tekutinového filmu blížící se nule. Následuje oblast smíšeného tření, kdy film tekutiny má tloušťku zhruba rovnou drsnostnímu profilu povrchu. Nakonec rozeznáváme oblast hydrodynamického tření, kdy je film tekutiny vyšší než nejvyšší vrcholky drsného profilu.

3.2.1. Suché tření

Nastává tehdy, dotýkají-li se plochy bezprostředně bez přítomnosti mazadla. Při tváření se jedná o nežádoucí děj a může se objevit pouze při chybném nanesení (či opomenutí) mazadel.

Dva po sobě pohybující se povrchy se nemohou dotýkat celou plochou, ke styku dochází pouze na vrcholcích nerovností, které jsou plasticky deformovány. Přítlačná normálová síla F_n vyvolává plastickou deformaci vlivem velkého místního tlaku, který se na vrcholcích nerovností vyvine. Vytváří se tedy činná plocha styku S , která je dána rovnicí:

$$S = \frac{F_n}{p_m}, \quad (3)$$

kde p_m je střední tlak nutný pro vznik plastické deformace nerovnosti.

Při vlastním styku ploch v oblasti suchého tření dochází při dvoustranném metalickém styku nerovností k jejich svařování. Tato svarová spojení je nutno přerušit posunutím. Tangenciální síla na posunutí se skládá z tzv. brázdící síly F_1 a smýkací síly F_2 . Tyto síly představují síly nutné k přetvoření nerovností po započítí celkového posunu. Obtížnost přerušení svaru, tedy velikost tangenciální síly, je závislá na jejich kvalitě. V této souvislosti nabývá na důležitosti při suchém tření vzájemná rozpustnost „třecích dvojic“, případně jejich sklon tvořit intermetalické vazby.

Závěrem této kapitoly o suchém tření je třeba znovu zdůraznit, že při zhotovování výlisků nepravidelných tvarů je přítomnost tohoto tření nežádoucí a proto mu zde nebude věnována další větší pozornost.

3.2.2. Mezné tření

Jestliže mezi třecími povrchy již existuje tenká vrstvička absorbovaných molekul plynu nebo kapaliny, případně jiné látky vytvořené chemickou reakcí povrchů, nastanou podmínky, které nedovolí vytvoření kapaliné vrstvy a potom mluvíme o mezném tření nebo o mezném mazání. K meznému tření může dojít i u záměrně mazaných povrchů, není-li přívod mazadla dostatečný nebo vrstva mazadla není dostatečně únosná nebo je velmi tenká. Za těchto podmínek se třecí plochy přiblíží k sobě natolik, že jejich bezprostřednímu styku brání již jen mezná vrstva mazadla, tj. film polárních molekul maziva s velkou přilnavostí k povrchu. Tato vrstva sice nemůže oddělit veškeré nerovnosti povrchu a dochází k opotřebení, ale zamezí vzniku studených spojů.

V technické praxi vzniká mezné tření v případech, kdy při malých stykových plochách jsou třecí povrchy zatěžovány velkými tlaky, při malých smykových rychlostech a mezi drsnými povrchy.

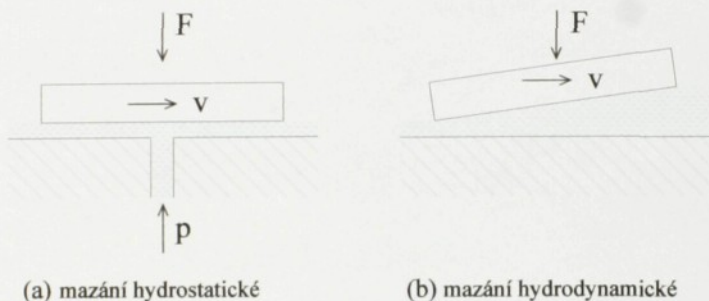
3.2.3. Hydrodynamické tření

Mezné filmy zmenšují sice podstatně třecí sílu při relativním pohybu dvou těles a zabraňují tvorbě studených svarů, avšak nedokáží zcela oddělit třecí povrchy od sebe a eliminovat tak vliv drsnosti povrchů.

Dokonalého oddělení třecích povrchů se docílí až při hydrodynamickém tření, kdy jsou povrchy pohybujících se těles zcela odděleny souvislou vrstvou mazadla. Tření pak probíhá v této vrstvě. Třecí síla tedy v podmínkách hydrodynamického tření nezávisí na druhu

materiálu ani na drsnosti povrchu, ale odvíjí se pouze od velikosti vnitřního tření v mazací vrstvě. Je zřejmé, že za tohoto stavu nedochází ani k opotřebení.

Mají-li být tělesa oddělena kapalinou vrstvou, která je schopna přenášet zatížení, kterým jsou k sobě tělesa přitlačována, musí v ní být vytvořen odpovídající protitlak. Tohoto protitlaku se může dosáhnout dvěma způsoby - hydrostaticky a hydrodynamicky. Schematické znázornění vytvoření hydrostatického tlaku v kapalině resp. hydrodynamického tlaku je vidět na obr.3.2.3.1.(a) resp. obr.3.2.3.1.(b).



Obr.3.2.3.1. Schematické znázornění vytvoření tlaku v kapalině

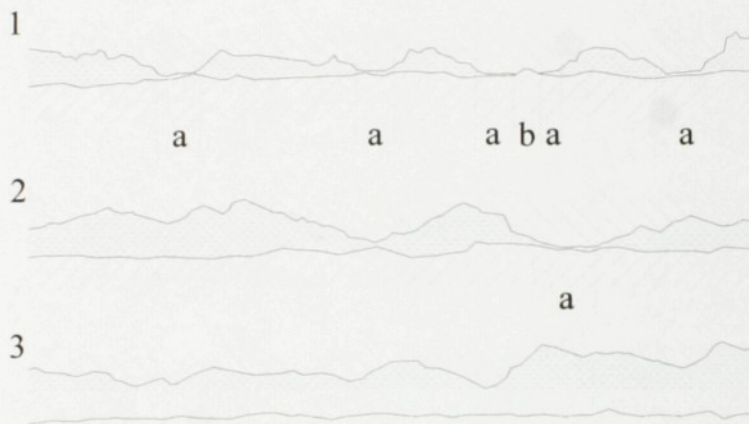
Výhodnější je vytvoření hydrodynamického tlaku, protože vzniká v kapalině, která je unášena do zužujícího se prostoru a tento způsob tedy není tak nákladný. Jedná se pouze o vznik klínové vrstvy mazadla, v níž dojde v důsledku rychlostních rozdílů ke vzniku tlaku působícího na klouzající desku. V případě hydrostatického způsobu je obtížné zabezpečit rovnováhu mezi tlakem kapaliny a zatížením.

3.2.4. Smíšené tření

Jedná se o nejčastější formu tření vyskytující se při tvářecích procesech. Nastává tehdy, nejsou-li třecí plochy dokonale odděleny vrstvou mazadla a dochází k bezprostřednímu styku jejich nerovností. Jedná se o určitý přechod v procesech tření, protože mezi nimi existuje tzv. tření smíšené, tj. jak tření hydrodynamické, tak i mezní. K tomuto druhu tření dochází, jestliže tloušťka mazadla mezi povrchy je menší než tloušťka potřebná pro zajištění kapalinového tření, ale je větší než tloušťka tenkého filmu, který zajišťuje mezní tření.

K přechodu kapalinového mazání na mazání smíšené může dojít při určité kombinaci parametrů (především velké zatížení a malá smyková rychlost třecích ploch), přičemž významnou roli hraje mikrogeometrie funkčních ploch. Teplota mazadla pak ovlivňuje proces porušení mazacího filmu hlavně při větších zatíženích a rychlostech třecích ploch.

Smišené tření představuje nejrozšířenější formu tření při výrobě výlisků karosářského typu a podíl jednotlivých složek (mezné tření a kapalinové tření) do značné míry ovlivňuje konečnou kvalitu zhotovovaného výrobku. Na obr.3.2.4.1. jsou schematicky znázorněny nejčastější způsoby tření při tváření výlisků nepravidelných tvarů.



Obr.3.2.4.1. Schematické znázornění nejčastějších způsobů tření při tváření výlisků karosářského typu

Zobrazeny jsou zde stavy tření mezního (1), smíšeného (2) a kapalinového (3). Tyto schematické modely tření jsou zakresleny pro dva materiály s odlišnou drsností i tvrdostí povrchu. Spodní materiál (nástroj) má leštěný povrch a podléhá pouze elastické deformaci. Druhý člen soustavy má menší pevnost, větší drsnost povrchu a plasticky se deformuje.

Při mezním tření dochází k deformaci vrcholků nerovností (a), kovovému styku brání pouze mezní vrstva mazadla. Přesto jsou ale místa, kde dochází k narušení mezní vrstvy (b), tvrdší materiál zde vniká do druhého a způsobuje porušení vrstvy materiálu. V oblasti smíšeného tření je značná část zatížení přenášena vrstvou mazadla a k meznímu tření dochází pouze místy. Možnost kovových kontaktů tak klesá na minimum. Při kapalinovém tření je mazací film natolik únosný, že ke kontaktu materiálů již nedochází ani v místech nejvyšších nerovností.

Kromě uvedených způsobů tření existují ještě další způsoby tření (jako je např. elasto-hydrodynamické tření, valivé tření atd.), ale vzhledem k tomu, že pro tváření nemají tyto duhy tření zásadnější význam, nebudou zde uváděny.

3.3. Tribologické zkoušky [5]

Pro získávání informací o reálných tribosystémech je v oblasti tření, opotřebení a mazání k dispozici řada zkušebních metod. Abychom však postihli složitost celého tohoto tribosystému a jejich výsledky odpovídaly provozním poměrům, je nutné zajistit tyto poměry již při laboratorních podmínkách. Do tribologického systému však vstupuje velké množství vlivů (např. mikrogeometrie, povrch substrátu, mazadlo), které se nejen podílí na tribologických dějích, ale také se vzájemně ovlivňují. Výzkum potom probíhá spíše na úrovni makromodelu a získané údaje jsou potom vnější měřitelné veličiny. Mezi tyto veličiny patří především měření velikosti třecí síly při pohybu testovaného vzorku. Stručný přehled v současnosti nejvíce používaných testů při hodnocení tribologických vlastností materiálů a mazadel používaných v automobilovém průmyslu je uveden v následujících bodech.

Modelování tření mezi přídržovačem a tažnicí - jedná se o jeden z nejrozšířenějších testů, který spočívá v protahování testovaného materiálu mezi zkušebními čelistmi. Jeho výhodou je snadné nastavení podmínek testu (rychlosti protahování pásku a velikosti normálního zatížení čelisti F_N) a také snadné měření sledované veličiny F_T (třecí síly). Nevýhodou naopak je, že napjatost pásku při zkoušce neodpovídá skutečné napjatosti materiálu pod přídržovačem.

Modelování tření na tažné hraně - princip testu spočívá v tažení zkušební vzorku přes tažnou hranu tažnice, která je zde reprezentována válečkem o zvoleném poloměru R . Měřítkem pro posouzení tribologických poměrů vznikajících na tažné hraně je zde velikost tažné síly $F_{\text{tažná}}$. Výhodou testu je snadné nastavení rychlosti protahování vzorku. Nevýhodou je špatná kontrola kontaktního tlaku mezi tažnou hranou a vzorkem.

Modelování tření mezi přídržovačem, tažnicí a tažnou hranou - tento test a stejně tak i jeho výhody a nevýhody jsou kombinací dvou předchozích metod. Hodnotícím kritériem pro tribologické vlastnosti je opět velikost síly potřebná k protažení pásku F_t (tažná). Princip testu je také používán na Katedře strojírenské technologie TU v Liberci a jeho průběh a způsob vyhodnocení bude podrobněji uveden v experimentální části.

Modelování vypínání přes tažnou hranu – test spočívá v tažení vzorku přes tažnou hranu reprezentovanou válcovou plochou o poloměru R . Zde je však zkušební vzorek na jedné straně pevně uchycen a druhá strana vzorku se pohybuje rychlostí v . Kritériem pro vyhodnocení zkoušky je síla F_t potřebná pro vytvoření předem zvolené deformace testovaného vzorku. Deformace, která vzniká v kontaktní zóně, je podobná té, která nastává při hlubokém tažení na čele tažníku. Nevýhodou testu je obtížná nastavitelnost kontaktního tlaku a kluzné rychlosti na tažné hraně.

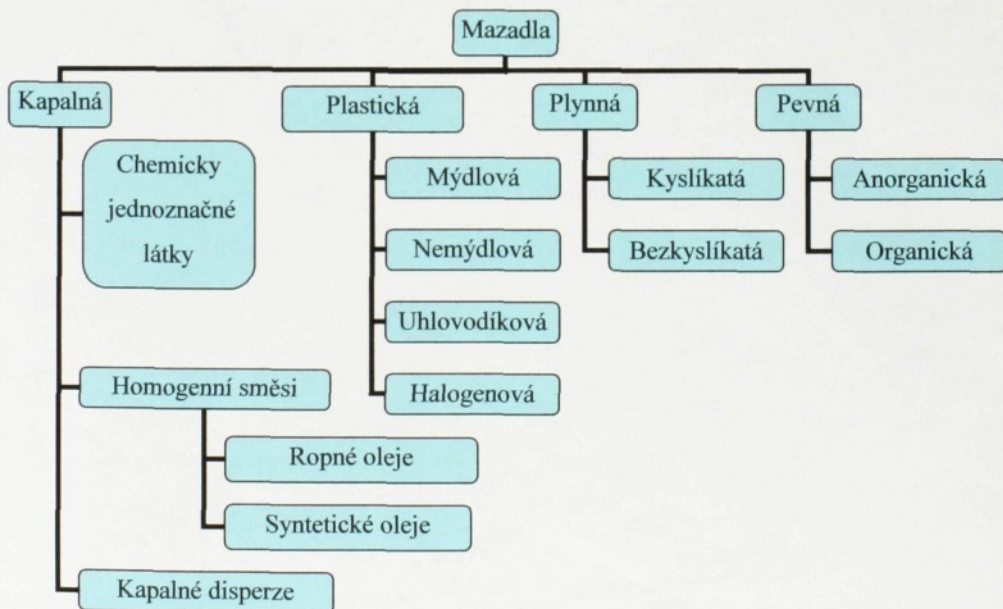
4. Mazadla pro tváření [7], [8], [9]

Mazání je jedním z hlavních předmětů studia tribologie (spolu s třením a opotřebením). Mazadla se při tažení používají z důvodu zabránění vzniku kovového styku mezi tvářeným materiálem a nástrojem. Snižují tak koeficient tření (tedy i tažnou sílu), čímž zamezují vzniku povrchových vad na výtazku a chrání nástroj před opotřebením. Díky této skutečnosti lze pak používat vyšší stupně tažení nebo tažení s vyšším stupněm deformace při zachování stejných technologických podmínek.

Kromě tohoto hlavního úkolu má však mazadlo mít další požadované vlivy na samotný proces tažení. Mezi tyto patří např.: zabezpečení odvodu tepla, zbavení třecí plochy nečistot, ochrana kovové plochy před korozí.

Existuje mnoho druhů mazadel a způsobů jejich využití. Pro proces tažení se však používají jenom některá. O možnostech rozdělení mazadel, jejich složení, způsobech nanášení, výhodách a nevýhodách při vlastním procesu tažení pojednávají následující kapitoly.

Vlastní rozdělení mazadel se může provádět podle různých hledisek, ale hlavním kritériem klasifikace mazadel v technické praxi je rozdělení podle skupenství a to na mazadla plynná, kapalná, plastická a pevná. Uvnitř těchto druhů pak lze provést další členění dle složení chemického. Přehled o rozdělení mazadel je na obr. 4.1.



Obr. 4.1. Rozdělení mazadel

4.1. Kapalná mazadla [8]

Různorodost požadavků na mazadla v oblastech tvářecích operací je sice důvodem používání různých druhů mazadel, přesto jsou mazadla kapalného skupenství nejrozšířenější a nejvíce používaná. Důvodem tohoto faktu je nejen jejich dostupnost ve velkém rozsahu viskozity, díky možnosti uplatnění přísad široká oblast teplotního použití, odvod tepla z třecích ploch, dobrá smáčivost kovových povrchů, ale i např. důvody logistické – snadné skladování a doprava. Lze je rozdělit do několika skupin:

- **Chemicky jednoznačné látky** (např. voda, kyselina sírová). Vlivem prakticky žádného rozsahu vlastností (jedná se vždy pouze o konkrétní hodnotu – např. viskozní stupeň) je jejich možnost použití omezená prakticky pouze na případy neměnných podmínek při výrobě.
- **Homogenní směsi** jsou tvořeny z molekul stejné chemické skladby, ale různé velikosti. Do této skupiny patří dnes nejpoužívanější druh mazadel v tváření – mazací oleje. Jejich široké použití umožňuje hlavně veliký interval vlastností a s tím související velký sortiment tohoto druhu mazadel, který je docilován nejen samotným výběrem určitého mazadla, ale i jejich mícháním a přidáváním zušlechťujících přísad. Lze tedy zabezpečit provozní vlastnosti pro mnoho různých podmínek výroby a proto je jim věnována samostatná kapitola 4.1.1.
- **Kapalné disperze** se skládají ze dvou nebo více látek, které jsou v sobě vzájemně rozptýleny, nikoliv však smíchány. Jejich nejrozšířenějším zástupcem jsou řezné technologické kapaliny (většinou utvořené disperzí oleje ve vodě).

4.1.1. Homogenní směsi

Homogenní směsi (mazací oleje) jsou v současnosti nejrozšířenější druh mazadel, který lze rozdělit na dvě hlavní oblasti – oleje ropné a syntetické.

- **Ropné oleje**

Jedná se o látky, které jsou směsí uhlovodíků a získávají se z ropy, což se odráží i v jejich složení a seskupení. Oleje pro mazací účely se získávají hlavně z

parafinických a parafinickonaftenitických rop. Vlastní získávání těchto olejů z ropy probíhá v několika hlavních bodech – proces destilace, rafinace a nakonec odparafinování. Princip destilace spočívá v oddělení převažujících podílů v ropě. Dojde tedy k oddělení např. benzínu, petroleje nebo nafty. Destilované minerální oleje však mají malou chemickou stálost a následuje tedy rafinace, která odstraní nenasyčené a polární sloučeniny a aromatické uhlovodíky. Nejznámějším rafinačním postupem je rafinace kyselinou sírovou. Nakonec proces odparafinování odstraní za nízkých teplot nežádoucí uhlovodíky.

• Syntetické oleje

U tohoto typu mazacích olejů se většinou jedná o jednotné chemické složení. Mají tedy oproti ropným olejům větší chemickou stálost a odolnost proti chemickým vlivům. Jejich výhodou je i lepší viskozně-teplotní závislost a schopnost lepší teplotní odolnosti. Obecně lze říci, že oblast používání syntetických olejů není tak široká jako u ropných olejů, ale jejich podíl stále roste. Mezi hlavní zástupce patří:

- Estery anorganických kyselin (např. kyseliny fosforečné) – mají viskozitu na úrovni ropných olejů a díky přítomnosti fosforu jsou velmi obtížně zápalné. Jejich dobrá mazací schopnost (převážně v oblasti mezného tření) je však potlačována vysokou toxicitou a agresivitou vůči mnoha druhům laků.
- Estery organických kyselin (např. estery kyseliny uhličitě) – mají také velmi dobrou mazací schopnost v oblasti mezného tření, ale jejich velkým nedostatkem je agresivita vůči některým kovům (olovo, zinek, měď atd.).
- Silikonové oleje – jejich vlastnosti s ohledem na mazací schopnost patří k nejlepším. Mají např. velmi nízký bod tuhnutí, mají velmi dobrou tepelnou i chemickou odolnost a lze je hlavně vyrobit v širokém viskozním rozmezí. Pro oblasti mezného tření je však jejich mazací schopnost špatná a díky špatné rozpustnosti přísad v silikonech nelze tuto vlastnost zlepšit. Silikon také tvoří lakové vady.

- Halogenová mazadla – jedná se hlavně o uplatnění molekul chloru a fluoru. Chlor zlepšuje odolnost proti opotřebení, je však toxický. Fluor výsoce zmenšuje povrchové napětí mazadla a zlepšuje tepelnou a chemickou odolnost. Pro lak je však fluor negativním prvkem. I u tohoto mazadla také mohou nastat problémy s toxicitou (převážně u některých druhů sloučenin). Celkové mazací schopnosti jsou dobré.

4.1.2. Použití mazacích olejů při lisování a jejich nanášení [10, 11]

Pro technologii tváření výlisků karosářského typu představují mazací oleje nejčastěji používané prostředky. Důvody této skutečnosti jsou předloženy v předcházející kapitole. Ze samotné skupiny mazacích olejů se ropné oleje pro lisování příliš nepoužívají a uplatnění zde našly oleje syntetické. Mají všechny dobré vlastnosti mazacích olejů a lze je rozpustit ve vodě a vytvořit tak olejové emulze, u kterých je oceňována schopnost chlazení. Také je lze snadněji odstranit z povrchu výlisku než samotné syntetické oleje. U nich je požadavek odmašťování jednou z jejich nevýhod.

Mazadla dělíme na:

- technologická (jednofunkční),
- konzervační (dvoufunkční),
- prací oleje.

Technologická mazadla jsou nanášena na přístřih až před vlastním tažením a to podle tzv. mazacích plánů pouze na místa, kde chceme vliv tření omezit (primazávání).

Konzervační mazadla se nanáší přímo u výrobce v hutích. V současné době je kladen podstatně větší důraz na jejich konzervační schopnost (primární funkce) než na jejich schopnost mazací (sekundární funkce).

Prací oleje mají při tažení výlisků karosářského typu velký význam. Jedná se především o pohledové díly, kde je požadována vysoká kvalita povrchu výlisku (má rozhodující vliv na kvalitu lesku po zpracování v lakovně).

Vlastní nanášení mazadel lze v praxi provádět různými způsoby:

- *Nástřikem* – zde je nutné věnovat pozornost dopadu letící kapky na povrch materiálu a interakci s ním. Při nárazu letící částice na povrch se její kinetická energie mění na tepelnou a deformační, částice se rychle ochlazuje a tuhne.

- *Pomocí válečku* u mazadel, která nelze nanášet nástřikem ani po jejich zředění. Mazadlo je vtlačováno konstantním tlakem do dutého čepu, který má vyvrtané otvory kolmo na osu rotace a je potažen látkou či plstí. Mazadlo nasákne do potahu a potom se nanese na materiál.
- *Pomocí pracích strojů*, kde se odstraňují nečistoty a také část konzervačního oleje (cca 60-70%). Dostaneme tak plechy ošetřené vrstvou pracího oleje, která je nanesena na zbytkovém množství oleje konzervačního.

4.2. Plastická mazadla [8]

Plastická mazadla (také nazývaná mazacími tuky) jsou koloidní soustavy nejčastěji dvoufázové. Skládají se z kapalně fáze, kterou vytváří mazací olej a disperzní látky, jenž tvoří zpevňovač. Patří mezi prostředky, které za teplot, při kterých se používají, nejsou kapalně, ale tvoří plastickou vrstvu na základním materiálu. K rozpadu jejich vnitřní struktury dochází až po překročení určité tepelné hranice, jinak je jejich stav nekapalný. Takováto vlastnost přináší při použití nižší spotřebu v důsledku menšího odstřiku, ale na druhou stranu vede k nemožnosti oběhového mazání.

S vnitřní strukturou a vzájemnou vazbou mezi oběma druhy látek, ze kterých se plastická mazadla skládají, souvisí i jejich vlastnosti. Mezi částicemi zpevňovač a mazacího oleje se uplatňuje vzájemná přitažlivost, což vede k vlastní koloidní schopnosti. Především se však jedná o změnu viskozity, která klesá s rostoucí teplotou. Až po dosažení tzv. teploty skápnutí je samotné mazadlo velice blízko kapalnému stavu. Tyto změny mohou být vratné i nevratné.

Samotná výroba plastických mazadel spočívá v zahušťování základního oleje (převážně ropného) částicemi, jejichž velikost se pohybuje v rozmezí zhruba $0,01 \div 20 \mu\text{m}$. Při použití syntetických olejů lze s výhodou využít jejich vlastností, mezi které patří dobrá odolnost vůči vyšším teplotám a mazací schopnosti. Vlastní zpevňovač mají větší vliv na konečné vlastnosti plastického mazadla než olej a po jejich přidání vznikne samotná koloidní struktura pomocí vytvoření určitých shluků ve spojitě základní fázi, které lze lehko rozrušit, ale i regenerovat. Podle typu použitého zpevňovač lze posléze rozlišit plastická mazadla do následujících skupin:

- **Mýdlová zpevňovadla**

Základní rozdělení tohoto typu zpevňovadel je na jednoduché (báze Li, Na, Ba, Al atd.), kombinované (vytváří různé kombinace jednoduchých typů) a komplexní. U posledních dvou dochází k promíchání vzájemně snášenlivých látek a hledání výhodné kombinace se odehrává spíše na experimentální bázi. Lze např. docílit výhodného synergického efektu, ale i kombinace vedoucí k rozkladu mazadla. Přesto však největší podíl v používání plastických mazadel mají jednoduché typy zpevňovadel. Velké možnosti poskytuje rozličný tvar a velikost krystalů přidávaných látek. Jejich zpevňovací schopnost je nižší při tvorbě malých symetrických částic, aby vzrostla u rovinných a v některých případech i prostorových typů uspořádání.

- **Nemýdlová zpevňovadla**

V tomto případě je velký rozdíl oproti mýdlovým zpevňovadlům již v samotné přípravě, která se v tomto případě děje jednoduchým smícháním do oleje a homogenizací za studena. Mezi hlavní zástupce této skupiny patří bentonitová mazadla. Tento typ vyniká velmi dobrou odolností jak proti teplotě, tak i proti chemikáliím. Nevýhodou však je nízká ochrana proti korozi a opotřebení. Proto je výhodné přidávat aromatická zpevňovadla, protože mají naopak velmi dobré protioděrové vlastnosti, která jsou schopna přenést i na mazadla z nich připravená.

- **Uhlovodíková zpevňovadla**

U tohoto typu se jako zpevňovadla uplatňují především parafíny. Díky tomu mají tato mazadla nižší teplotu skápnutí a dobrou odolnost proti vodě, což je předurčuje k použití jako konzervační prostředky. Jejich nevýhodou je nízká afinita ke kovům a proto se kombinují se zpevňovadly, která tuto vlastnost zaručí.

- **Halogenová zpevňovadla**

V tomto případě se jedná hlavně o přidávání PTFE (polytetrafluorethylen), což vede k vysokému snížení koeficientu tření. Problémem tohoto typu plastických mazadel je zdravotní závadnost.

4.3. Pevná mazadla [11]

Rozšíření a vývoj tohoto druhu mazadel souvisí především s potřebou mazání za extrémních teplot a tlaků. Tedy za podmínek, pro něž nelze použít ani mazacích olejů ani mazacích tuků, jelikož nemají potřebnou stálost. Požadavky kladené na pevná mazadla pak úzce souvisí s již zmíněnou oblastí použití, což je především lisování za tepla.

Pevná mazadla jsou látky, které velmi dobře odolávají vysokým tlakům i teplotám, mají malou smykovou pevnost, velkou přilnavost k povrchu a nepatrnou tvrdost. Musí však být také schopné neměnit své fyzikální a chemické vlastnosti až do určité mezní hodnoty, která leží až na samotné vnější hranici podmínek použití a při které dochází k vlastní samotné chemické přeměně dané látky. Např. za hranicí tepelné stálosti ztrácí mazadlo schopnost zmenšovat tření úplně nebo částečně. Všechny tyto vlastnosti jsou podmínkou, abychom je mohli přiřadit k látkám s dobrou mazací schopností.

Mezi největší problémy při použití pevných mazadel patří jejich malá schopnost odvádět teplo z oblasti třecího povrchu. Jedná se totiž o látky s malou tepelnou vodivostí, což může vést až k místnímu roztavení mazacího filmu. Při použití tohoto druhu mazadel za běžných podmínek, kdy se používají především kapalná mazadla, je tedy součinitel tření větší a používání pevných mazadel se za těchto podmínek nedoporučuje.

Vlastní základní rozdělení těchto mazadel podává obr. 4.1. a lze je tedy členit na:

- anorganická – jedná se především o grafit a sirič molybdeničitý (MoS_2),
- organická – především polymerní látky (polytetrafluorethylen - PTFE).

Představiteli anorganických tuhých mazadel jsou grafit a sirič molybdeničitý. Jedná se o dva druhy, které si jsou poměrně podobné a to nejen vzhledem. Oba krystalizují v šesterečné soustavě a mají molekuly uspořádané v rovnoběžných vrstvách. Tato jejich vlastnost způsobuje malý třecí odpor, protože takovéto uspořádání molekul sice zaručuje velkou příčnou pevnost, ale je základem pro nepatrnou soudržnost ve směru podélném. Ostatní vlastnosti jsou již poněkud rozdílné. Grafit je velmi dobře elektricky vodivý a mezní hranicí jeho tepelné stálosti je až 800°C . Při použití MoS_2 lze naproti tomu dosáhnout vyšších tlaků, nelze však překročit teplotu 400°C , při které se chemicky mění a ztrácí mazací schopnost.

Možností a typů způsobů jejich použití je několik. Lze použít přímé nanášení práškovou formou, při které se uplatňuje především požadavek na malé rozměry částic (nejvíce několik mikronů) v souvislosti s účinností mazacího filmu. Nejlepší a nejúčelnější možnosti

zvyšování kvality kluzného povrchu je pomocí vtírání prášku, který vyplní nerovnosti povrchu. Dojde tak ke zvětšení nosné plochy a vytvoření vrstvy s velmi dobrými kluznými vlastnostmi. Další možností je přidávání pevných mazadel do kapalných suspenzí s minerálním nebo syntetickým olejem. Tím se zlepšuje jejich chování za podmínek, pro které je samotné pevné mazadlo určeno, tedy hlavně oblasti vyšších teplot a tlaků. V opačném případě (menší zatížení) k tomuto podporujícímu účinku nedochází.

Anorganická pevná mazadla však nejsou jenom grafit a siřník molybdeničitý. Podařilo se vyvinout další druhy jako např. fluorid uhlíku, disulfid titanu nebo triboritan draselný.

Použití organických typů pevných mazadel při tváření je nepatrné. Mají sice malý koeficient tření, ale jejich odolnost proti vyšším tlakům a teplotám je malá. Velkým problémem při jejich zpracování a používání jsou jejich toxické zplodiny. Hlavním představitelem této oblasti pevných mazadel je PTFE.

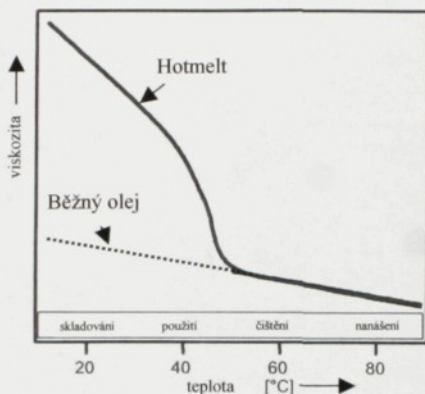
4.4. Mazadla typu Hotmelt [12, 13, 14, 15]

Zařazení tohoto typu mazadel do určité skupiny mazadel dle obr. 4.1. je problematické. Jejich konzistence je označována jako waxy (vosková) a jsou tedy na pomezí mezi pevnými a plastickými mazadly. Vlastní označení Hotmelt bychom mohli přeložit jako „roztávající za vyšších teplot“. Tento název dobře vystihuje jejich hlavní charakteristickou vlastnost, kterou je změna skupenství pohybující se okolo 50°C. Pod touto hodnotou poskytují tato mazadla ochranu tzv. „suchým“ filmem (semidry film), nad ní se začínají chovat jako kapaliny. Nejedná se však o zcela suchý film, ale spíše o ochranu tuhou pastou. Ochrana takovýmto filmem je pak hlavním předmětem zkoumání těchto mazadel v tribologických systémech. Lze rozpoznat dvě hlavní oblasti možného kontaktu.

- Film je přilnut na povrchu a je dostatečně únosný, aby přenesl plné zatížení. V tomto případě je pak schopen zabránit kontaktu kov na kov.
- V určitých místech kontaktu je místní tlak vysoký a dojde tak k porušení ochranného filmu. Tím dochází ke kontaktu kov na kov. Na zbytku třecí plochy pak nastává kontakt kov – film.

Porovnání závislosti viskozity na teplotě pro mazadlo typu Hotmelt a dnes běžně používaný mazací olej je znázorněno na obr. 4.4.1.

Vidíme, že výhodou mazadel typu Hotmelt je např. vysoká viskozita při skladování a podmínkách lisování. Naopak nevýhodou může být zanášení lisovacího nástroje.



Obr. 4.4.1. Porovnání mazadla typu Hotmelt a běžného oleje

Mazací schopnost tohoto druhu mazadel převyšuje podle výrobců i nejnovější tixotropní mazadla (především v oblasti stability mazacího filmu). Tixotropie je schopnost koloidních látek přecházet za nezměněné teploty třepáním, ultrazvukem, žářením apod. z pevného stavu do kapalného a zpět. V tomto případě lze napsat, že se jedná o reverzibilní změnu skupenství v důsledku mechanického namáhání. Příčinou je ztráta vazeb v kontaktech mezi částicemi. V přírodě je tato schopnost typická pro jílové hmoty.

Z pohledu využívání ochranného filmu v oblasti tažení výlisků karosářského typu v automobilovém průmyslu jsou důležité základní vlastnosti této vrstvy:

- pevná krycí vrstva,
- stejnorodá tenká vrstva,
- odolávající silnému namáhání,
- netvořící kapky,
- stabilní při pokojové teplotě.

Výrobci udávají možnost nanášení nastříkáváním z kapalné fáze při teplotě okolo 80°C. Podmínkou je, aby částičky dorazily na povrch v tekutém stavu. Při aplikaci nanášení ve strojírenství lze pak využít nanášení pomocí stříkací kabiny, což může zabezpečit vysokou rychlost aplikování. Ukázka aplikace mazadel typu Hotmelt je znázorněna na obr. 4.4.2. Pro automobilový průmysl jsou důležité faktory, které se projeví při jejich zařazení do výroby.

Z nich jsou nejdůležitější:

- rychlost nanášení,
- nezanášení prachu z nástroje,
- žádné slepování plechů,
- nedochází k odpařování a odkapávání mazadla,
- schopnost ochrany proti korozi a to na všech používaných typech povrchů,
- kompatibilita s dalšími výrobními oblastmi – svařování, lakování, lepení.

Tato mazadla byla prověřována i v této práci a to zejména z tribologického hlediska. Nelze však opomenout celkový aspekt možného používání ochrany „suchým“ filmem v automobilovém průmyslu a proto i diplomová práce o takovýto pohled na problematiku mazadel typu Hotmelt usiluje.



Obr. 4.4.2. Aplikace mazadel typu Hotmelt

4.5. Požadavky kladené na mazadla [8, 10]

Požadavky kladené na mazadla úzce souvisí s plněním vyžadovaných funkcí. Nestačí však pouze, aby mazadlo mělo vhodné vlastnosti. Je také třeba zajistit schopnost mazadla udržet si je co nejdelší dobu za nejrůznějších vlivů, kterým může být v provozu vystaveno. Jedná se hlavně o vliv kyslíku, teploty a tlaku. Je však třeba zdůraznit i vliv prachu, vlhkosti, světla, elektrického pole a záření. Z chemického hlediska je nežádoucí účinek kyselin, alkálií nebo jiných chemických látek. Komplexní přístup k plnění žádaných funkcí samozřejmě vyžaduje od mazadla co největší odolnost proti těmto vlivům. Zároveň však předpokládá schopnost mazadla být samo co nejméně biologicky aktivní nebo jinak agresivní, mít malou odparnost a v některých speciálních případech se požaduje co nejmenší hořlavost a obtížná samozápalnost.

Funkční vlastnosti i odolnosti proti zmíněným vlivům jsou různé u jednotlivých typů mazadel, které se rozlišují svým skupenstvím a jsou závislé jak na jejich chemickém složení, tak i na druzích, složení a množství zušlechťujících přísad.

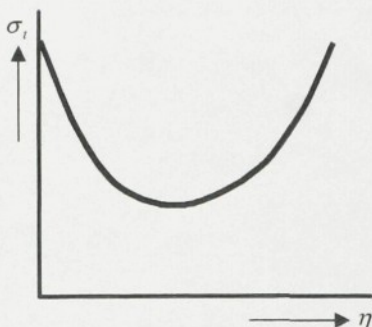
Požadavky na mazadla a s tím spojené jejich vlastnosti se obecně dají kategorizovat do několika hlavních oblastí. Jedná se o:

- funkční vlastnosti (např. hustota, reologie),
- elektrické vlastnosti (např. elektrická vodivost),
- vlastnosti životnosti (např. tepelná stálost, chemická stálost),
- povrchové vlastnosti (např. schopnost tvořit souvislý pevný film, mazací schopnost),
- hygienické vlastnosti (hlavně zdravotní nezávadnost),
- ekonomicko-ekologické vlastnosti (schopnost současné ekonomické výhodnosti a ekologické nezávadnosti).

Funkční vlastnosti: Oblast těchto požadavků v sobě zahrnuje vlastnosti, které lze rozdělit na skupinu pro mazadla méně podstatnou (zde se jedná především o hustotu) a skupinu, která naopak hraje v oblasti mazadel velice důležitou roli a tou je reologie mazadel a s tím související pojem viskozita.

- *Hustota* – nepatří k důležitým funkčním vlastnostem mazadel. Z její hodnoty, která se pohybuje od $850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (u uhlovodíkových mazadel) až po $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (u syntetických olejů), lze spíše usuzovat na samotné složení mazacího oleje.
- *Reologie* – je naukou o tokových vlastnostech látek. Pro tváření jsou její poznatky důležité především v široké oblasti mezi pevným a kapalným skupenstvím a pro mazadla je pak podstatné rozlišování na tekutiny newtonovské a neneutronovské a spolu s tím související pojem *viskozita*. Jedná se o míru vnitřního tření, což znamená odpor proti vzájemnému posunutí molekul mazadla a je velice důležitým ukazatelem technologických vlastností mazadel. V souladu s ostatními požadavky se viskozita významně spolupodílí na výsledné kvalitě mazadla a lze říci, že lepších výsledků dosahují mazadla o vyšší viskozitě (jedná se hlavně o kritérium udržení se na třecích plochách a odolnosti proti vysokým tlakům). Viskozita mazadel obecně s rostoucí teplotou klesá, což je způsobeno shlukováním molekul při nižších teplotách a rozpadem těchto shluků při stoupající teplotě a zvětšováním volného objemu v mazadle (tj. rozdílu mezi celkovým objemem mazadla a skutečným objemem v něm

přítomných molekul). Tato teplotní závislost není u všech mazadel stejná, nýbrž závisí na složení hmoty. Viskozita má také velký vliv na velikost tažného napětí, jak je vidět na obr. 4.5.1.



Obr. 4.5.1. Vliv viskozity na velikost tažného napětí

Se vzrůstající viskozitou mazadla klesá napětí až na určitou minimální hodnotu, aby následně došlo k jejímu nárůstu. Tento efekt je způsoben postupným přechodem ze suchého tření na tření mezní, smíšené až po tření hydrodynamické. Jev, kdy dochází ke zvětšování tažného napětí i v oblasti výskytu hydrodynamického tření, je způsoben zvětšením odporu proti usmýknutí mazacího filmu.

Elektrické vlastnosti: Skupina těchto vlastností se může zdát nepodstatná, díváme-li se na toto kritérium pouze z pozice technologa pracujícího v lisovně. Je však nutné (a je to i jedním z bodů v této diplomové práci) pohlížet na mazadla komplexně, s ohledem na celý výrobní proces. V něm je požadavek dobré elektrické vodivosti kladen na výlisky přicházející do svařovny.

- *Elektrická vodivost* – samotné čisté oleje nejsou dobrými vodiči elektrické energie. Lze však přidávat látky, které mají schopnost disociovat na elektrolytické ionty, čímž umožní průchod elektrického proudu olejem.

Vlastnosti životnosti: Oblast těchto vlastností ovlivňuje do značné míry použitelnost jednotlivého druhu mazadla, protože odolnosti proti zvýšeným teplotám a chemická netečnost za současné stálosti vlastností je důležitým kritériem pro volbu mazadla.

- *Teplná stálost* – jedná se o schopnost mazadla udržet si mezní vlastnosti při různých teplotách. Závisí nejen na hodnotě pracovní teploty, ale i na době působení zvýšené teploty. U nejčastěji používaných druhů mazadel (ropné a syntetické oleje) způsobuje

vyšší teplotní stupeň pokles viskozity a může vést až k jejich rozkladu, proto je výhodné přidávat do nich přísady grafitu nebo mýdla těžkých kovů.

- *Tepelná odolnost* – představuje schopnost mazací vrstvy odolávat porušení vlivem teploty. Olejový film se nesmí při použití rozkládat a musí být schopen odvádět teplo z místa tváření. Je tedy nutné při tažení za tepla používat mazadla, která jsou schopná vyšším teplotám odolávat. Požadavky nejlépe splňuje grafit, který je také velmi používaný při tváření za tepla.
- *Bod vzplanutí a bod hoření* – přibližným kritériem, podle kterého je možno posuzovat teplotu mazadla z hlediska jeho hořlavosti i možnosti vytvoření explozivní směsi svých par se vzduchem (tedy i posouzení z hlediska velikosti ztrát), je bod vzplanutí. Jedná se o teplotu, při níž se v otevřené nebo uzavřené nádobě zkušebního přístroje nahromadí za podmínek zkoušky tolik par, že se po přiložení plamene vznítí. Při ještě vyšší teplotě (bodu hoření) je vývin par natolik intenzivní, že po zapálení trvale hoří. Bod vzplanutí je velmi citlivý na přítomnost lehkých prchavých podílů v mazadle.
- *Chemická stálost* – vyjadřuje schopnost mazadel neměnit své chemické složení během procesu tváření. Hovoříme o tzv. odolnosti proti stárnutí, které je zaviněno především působením vzdušného kyslíku. Samotnou rychlost a rozsah chemických změn lze pak ovlivňovat nejen různými přísadami, ale i podmínkami při používání. Mezi ně patří především teplota.
- *Chemická odolnost* – je velice důležitým požadavkem, protože může ve svých důsledcích vést až ke korozi kovů. Je tedy důležité, aby bylo samotné mazadlo chemicky netečné nejen k ostatním chemikáliím, se kterými přichází během výrobního procesu do styku, ale také vůči materiálu tvářecích nástrojů.
- *Pěnění olejů* – jedná se o velmi nežádoucí jev s nepříjemnými následky projevující se např. zmenšením pevnosti mazací vrstvy, zvětšením náchylnosti oleje ke stárnutí, poklesem jeho viskozity atd. Sklon mazadla k pěnění a stabilita pěny jsou funkcemi jeho čistoty, povrchového napětí, viskozity a teploty. Avšak o snadnosti a rychlosti vytvoření pěny a její stálosti rozhodují také podmínky, jimž je mazadlo vystaveno.

Povrchové vlastnosti: Oblast požadavků, které vymezují mazadlo jako povrchový činitel, patří mezi další důležitá kritéria hodnocení. Povrchové vlastnosti mazadel jsou jedním z hlavních důvodů jejich používání při tváření za účelem snížení koeficientu tření.

- *Vytvoření souvislého pevného filmu* – vzhledem k naprosté nepříjemnosti možnosti vytlačení mazadla z třecích ploch za vysokých tlaků je požadavek na samotnou

„přítomnost“ mazadla vysoce důležitý. Schopnost mazacího filmu vzdorovat tlakovému zatížení je dána přilnavostí mezi molekulami mazadla a lze ji zlepšit přidáváním síry nebo mastku.

- *Mazací schopnost* – je vlastností, která komplexně hodnotí povrchové schopnosti mazadla a to jak přilnutí mazadla k povrchu, tak i vytvoření souvislé mazací vrstvy schopné odolávat podmínkám, které se při tváření uplatňují. Je charakterizována především *mazivostí* a *viskozitou*.
- *Mazivost* – je vlastnost, podle které hodnotíme pevnost mezní vrstvy mazadla. Na rozdíl od viskozity, která je důležitým ukazatelem pro podmínky hydrodynamického tření, je mazivost charakterizována mazacími vlastnostmi v oblastech tření mezního. Je ovlivňována fyzikálně-chemickými ději, které probíhají mezi mazadlem a povrchem materiálu. Lze ji upravovat látkami majícími velkou aktivní polaritu ke kovu nebo dochází k chemickým reakcím, které zlepšují kluzné vlastnosti povrchu.
- *Udržení mazadla na třecích plochách* – jedná se o schopnost mazadla přilnout na třecí plochy v celém tribologickém systému, což je způsobeno soudržnými silami mezi molekulami mazadla a povrchem kovu. Lepší přilnavosti lze dosáhnout zlepšením mazací schopnosti mazadla a také jeho viskozity.

Hygienické vlastnosti: Při používání ve výrobním procesu nesmí mazadlo poškozovat zdraví pracovníků v příslušném úseku. V oblasti karosářské výroby jde především o povrchový styk s lidskou pokožkou a dráždivé účinky na dýchací orgány. Přes mazadlo se však také svařuje, lepí a vytvrzují se lepidla. Mohou tedy vznikat škodlivé zplodiny. Proto jsou zavedeny různé skupiny agresivity mazadel a s tím související používání ochranných pomůcek.

Ekonomicko-ekologické vlastnosti: V dřívější době byl kladen důraz především na první část tohoto požadavku. Dnes však musí firmy pracující s průmyslovými mazadly splňovat i náročná ekologická kritéria kladená na tyto látky a to nejen při používání, ale i při jejich likvidaci. Obcházení těchto požadavků může vést nejen k vysokým pokutám, ale i ke ztrátě dobrého jména firmy. Z těchto důvodů jsou hledány a používány výrobky stále více šetrné k životnímu prostředí. Každé používané mazadlo má také sepsaný bezpečnostní list, který vymezuje vlastnosti produktu především s ohledem na hygienu práce. Mezi ně patří hlavně samotná identifikace látky jak fyzikální tak i chemická, kapitoly o první pomoci, ochranných pomůckách, zplodinách hoření hasících médií, ale např. i toxikologické informace.

5. Hodnocení mazadel a jejich vliv na lisovatelnost [2, 7, 8]

Mazadla jsou jednou z oblastí studia tribologie a jejich používání při tažení výlisků je důsledkem požadavku na výskyt smíšeného tření. Mazadlo je tedy jedním z aspektů vstupujících do technologie lisování. Je proto důležité věnovat pozornost nejen jeho vlastnostem, čemuž byly věnovány předcházející kapitoly, ale také samotnému vlivu na vlastní tvářecí proces. Provádění takového zhodnocení však vyžaduje respektování i ostatních vlivů, které se na lisování spolupodílí. Proto se i tato kapitola, která je věnována především mazadlům, snaží o širší náhled na tuto problematiku a podává hlavní vzájemné souvislosti jednotlivých vlivů.

Při zhodnocování používání jednotlivých typů mazadel je vždy důležité znát podmínky jejich dalšího používání. Proto např. také existuje mnoho typů tribologických zkoušek, z nichž hlavní byly popsány v kapitole 3.3. Většinou se jedná o zkoušky porovnávací, které určují pořadí vhodnosti jednotlivých mazadel. Nejedná se samozřejmě pouze o tribologické hodnocení, jde také o kritéria daná procesem vzniku karoserie (procesní hodnocení). Tato by měla zohledňovat nejen požadavky na korozní odolnost nebo dobrou filtrovatelnost, ale také vlivy dané technologií výroby – snášlivost s vytlačovacími válci v lisovně, ovlivňování bodového svařování a krycí vrstvy laku nebo také přilnavost lepidel.

5.1. Vliv mazadel na lisovatelnost

Z hlediska vlivu mazadla na proces lisování je důležité znát jeho úlohu a účinky. Používáním mazadel se snažíme docílit zmenšení třecí síly při tažném pochodu, ulehčit tím tok materiálu a zamezit studeným spojmům. Umožňují také snížit spotřebu energie na překonání pasivních odporů a zmenšit opotřebení lisovacího nástroje, čímž zvýší jeho životnost. Protože kontaktní proces tření není izotropní, je možné regulací mazání také ovlivnit i průběh deformace. Různorodost požadavků a schopností mazadel při procesu lisování je příčinou používání více druhů mazadel. Např. plastická mazadla se používají v případě, kdy se požaduje velká mazací schopnost. Tuhých mazadel se užívá tehdy, kdy je žádoucí velmi únosný mazací film a nejsou kladen zvláštní nároky na odvod tepla.

Účinek mazadel souvisí se skutečností, že jejich molekuly přilnou na povrch tvářeného kovu a vytvoří vrstvičku mezi dotykovou plochou nástroje a tvářeného kovu – mazací film. Jestliže mají mazadla složitější chemické složení, skládá se mazací vrstva nejen z molekul orientovaných a pevně přichycených na povrch kovu, ale i z volných molekul. Dojde tak k vytvoření mezní nebo souvislé mazací vrstvy.

5.2. Hodnocení dle vhodnosti při použití v sériové výrobě

Provádět hodnocení (a to nejen mazadel jako v této práci) určitého nového výrobku nebo technologie je proces, který vyžaduje skutečně komplexní náhled na celou problematiku. Musí totiž zahrnout aspekty, které doprovází celý výrobní proces vzniku výrobku v automobilovém průmyslu. Je tedy nutná spolupráce oddělení, která jsou za začleňování a zkoušení nových produktů při výrobě zodpovědná. Z technického hlediska se jedná hlavně o pohled konstruktéra a technologa, který by měl zahrnout veškeré technické možnosti (i problémy) provázející jejich začleňování do výroby. Z nevýrobních sfér podniku je samozřejmě důležitý postoj ekonomických oddělení, hlavně ekonomů zodpovědných za investování financí do nových technologií. Dnešní podniky si uvědomují důležitost investic pro inovování výrobní oblasti a promyšlenou rozvojovou strategii. Je však důležité dobře rozpoznat vhodné projekty, které skutečně zajistí schopnost držet krok s konkurencí. Komplexní pohled však vyžaduje např. i postoj personálního oddělení, který spočívá nejen v zabezpečení náboru nových pracovníků potřebných k zajištění technického využití nových strojů a zařízení, ale i zajištění proškolení stávajících zaměstnanců. Umění koordinovat všechny tyto aspekty vyžaduje člověka, který je schopen pohlížet na tuto problematiku s ohledem na všechny ovlivňující faktory.

Uvědomuji si, že provádění takového zhodnocení mazadel je velmi široká problematika, kterou následující tři kapitoly postihují skutečně v základních ohledech.

5.2.1. Tribologické hodnocení

Hodnocení z tribologického hlediska patří k důležitým aspektům především v oblastech vlastního lisování karosářských výlisků v automobilovém průmyslu a je na něj zaměřena i tato práce. V předešlých kapitolách byly vykresleny nejdůležitější vlivy a podmínky související s tribologií. Následující experimentální část práce je pak nosným prvkem zhodnocení měřených typů mazadel z tribologického pohledu.

5.2.2. Procesní hodnocení [16, 17, 18]

Požadavek komplexního přístupu k navrhování nových technologií do výroby s sebou nese podmínku sladění všech jednotlivých etap, které se podílí na vzniku finálního výrobku (v našem případě automobilu). Z technologického hlediska je tedy nezbytné postihnout nejen problematiku tažení výlisků karosářského typu v lisovnách, ale i nároky, které klade jejich další zpracování. Jedná se nejen o požadavky, které si vyžaduje proces svařování karoserie

(především svařování bodové), ale především následná problematika nanášení povrchových povlaků v lakovně. Vzhledem ke skutečnosti, že povrch po tažení má rozhodující vliv na stupeň lesku vrstvy krycího laku, může zhoršená kvalita povrchu výlisku vést až ke vzniku automobilu, který díky špatným pohledovým vlastnostem laku (rozdílné odstíny, nerovnosti povrchu atd.) neprojde výstupní kontrolou a stává se zmetkovým. Takový jev je samozřejmě nežádoucí a vyžaduje se dobrá komunikace všech etap vzniku automobilu (lisování → svařování → lakování). Poslední fáze výroby, kterou je montáž, pak již nemá na kvalitu pohledových dílů speciální požadavky. Zde je totiž karoserie již vyrobena a jde hlavně o zabránění mechanickému poškození (především poškrábání) laku při montování vozu. V případě problematiky posuzování mazadel lze tedy procesní hodnocení rozdělit do tří hlavních oblastí:

- požadavky *lisovny*,
- požadavky *svařovny*,
- požadavky *lakovny*.

Požadavky lisovny: Oblast kritérií a podmínek na mazadla, která při zpracování plechů vyžaduje proces tažení výlisků karosářského typu v lisovnách, byla popsána v předešlých kapitolách. Existují však ještě další požadavky, které nasazení mazadel v této části výroby musí respektovat a srovnání výhod a nevýhod používání mazadel typu Hotmelt lze sepsat do následující tabulky.

Tab. 5.2.2.1. Porovnání výhod a nevýhod u mazadel typu Hotmelt

Výhody	Nevýhody
Vysoký bod vzplanutí → bezpečné při nanášení	Není stejná kompatibilita s různými povrchy plechů
Nízký obsah aromatických látek a těžkých kovů (barium, olovo)	Požadavek nastavení parametrů s velkou přesností (skoková změna vlastností)
Žádné stékání → čisté skladovací prostory	Používání zcela rozdílné filtrace
Kompatibilita s mnoha těsnícími/lepícími prostředky	Možnost zanášení lisovacího nástroje
Není žádná doba sušení/vypalování	Problém odstranitelnosti z povrchu plechů

Dnes se klade velký důraz také na čistotu mazadla, která se dnes posuzuje na úrovni mikronů. Pro mazací oleje byly zavedeny nové filtrační a kontrolní metody pro skladování a manipulaci s nimi. Ostatní mazadla však nejde filtrovat jako olej. Nelze s ohledem na používaná zahušťovadla použít jemnou filtraci a rovněž běžné „pevné“ částice např. v plastických mazadlech jako je grafit, molybdensulfid atd. tuto metodu znemožňují. Je také zřejmé, že zásadní vliv na čistotu mazadla při jeho používání v praxi má uživatel. Ten musí nejen pečlivě dodržovat opatření pro manipulaci s nimi nechce-li znehodnotit celý sud mazadla, ale je také jeho snahou docílit co největšího využití celého objemu mazadla v sudu. Oba aspekty spolu souvisí, neboť odvod mazadla musí probíhat izolovaně k okolí právě z důvodu možnosti znečištění. Proto se dnes používají systémy manipulace obsahující pneumatická čerpadla pevně připojená k plovoucí membráně, což umožňuje úplné vyprázdnění sudu bez ovlivnění mazadla okolní atmosférou.

Požadavky svařovny: U svařovací části výrobního procesu se jedná především o problém typu svařování, který je v automobilovém průmyslu zastoupen v největší míře a tedy oblast svařování elektrickým odporem (konkrétně bodové svařování). K dosažení optimálních vlastností svarového spoje provedeného tímto způsobem a k docílení vysoké produktivity práce je třeba respektovat určité specifické podmínky této technologie svařování. Jedná se především o materiál a geometrii elektrod, termofyzikální vlastnosti svařovaného materiálu a parametry svařovacího režimu. Mohlo by se zdát, že pro hodnocení vlivu mazadel je důležitý pouze pohled na vlastnosti svařovaného materiálu, ale musíme si uvědomit, že zde dochází k provázanosti vlivů. Například volba svařovacího tlaku je odvislá od menších nerovností plechu. Je totiž nutné zajistit správné dosednutí elektrod bodovacích kleští. Následná velikost svařovacího tlaku závisí nejen na kvalitě povrchu plechu, ale i na tloušťce spojovaných dílů. Je tedy důležité, aby při použití mazadel typu Hotmelt pro tažení výlisků došlo k jejich dokonalému odstranění z povrchu materiálu. V opačném případě lze při svařování očekávat změnu parametrů procesu a tedy i zhoršenou kvalitu svařovaných dílů. Požadavek dobré elektrické vodivosti pro svařování je pak obtížněji splnitelný. Může také docházet k možnosti usazování části těchto mazadel v pórovitém povrchu a při následném svařování k jejich usazování na čepičkách bodovacích kleští nebo i vnášení nečistot do svaru. Tato mazadla mohou po tažení ztuhnout v nerovnostech povrchu materiálu. Při následném průchodu proudy dojde dle Jouleova-Lenzova zákona k vývinu tepla a to především v přechodových oblastech mezi dvěma plechy (díky největšímu přechodovému odporu). Tedy i ke změně skupenství těchto mazadel a jako kapalina se mohou roztéci do širokého okolí bodového svaru.

Požadavky lakovny: Proces lakování je konečnou fází výroby samotné karoserie vozu a může zde docházet k načítání problémů zahrnující předešlé operace výroby. Jejich následné řešení je pak možné pouze s obtížemi. Výsledný proces lakování se dnes provádí převážně v systému čtyřvrstvého nátěru (tři vrstvy jsou vodou ředitelné). Vysokou korozní odolnost nátěrového systému zvyšuje skutečnost, že plechové díly karoserie jsou vyrobeny převážně z pozinkovaných plechů. Z pohledu mazadel je důležité, aby účinně držely na povrchu při tažení, pro zpracovávání plechu v lakovně je však přítomnost mazadla nežádoucí. Proto je před samotnou technologií lakování zařazena oblast očišťování povrchu materiálu, která zaručí dokonalé odstranění mazadla z povrchu plechu.

Vlastní kvalita laku je však dosažena pouze za předpokladu optimální povrchové struktury, proto je důležité věnovat pozornost texturování povrchu pracovních válců. Ukazuje se totiž, že kvalita laku nezávisí ani tak na drsnosti povrchu, jako na jeho povrchové struktuře z hlediska stavu celé mikrogeometrie. V důsledku této skutečnosti se výrobci snaží o využívání pracovních válců s deterministickou strukturou.

5.2.3. Ekonomické hodnocení

Ekonomické hodnocení nových projektů představuje nejen významný nástroj pro řízení rozvoje podniku, ale je také podstatným podkladovým materiálem k přesvědčování možných investorů o výhodnosti projektu. Z technologického hlediska je sice toto zhodnocení stavěno často do ostrého protikladu, přesto je jedním z hlavních kritérií rozhodujících o nových technologiích a materiálech. Je patrné, že tento důležitý vliv nelze vynechat a nastínit zde alespoň hlavní rysy, které jsou pro ekonomické posuzování investic podstatné.

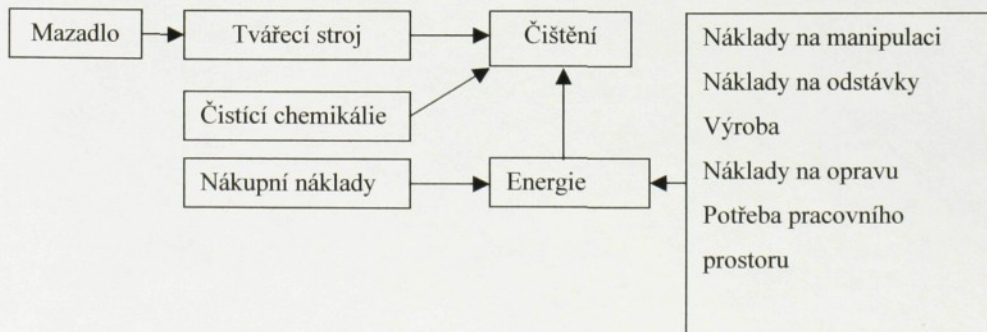
Základem takovýchto projektů je dobře zvolená podnikatelská strategie firmy, která určuje budoucí směr ubírání podniku. Ta posléze zahrnuje přípravu a následnou realizaci vybraných projektů. Charakteristickým rysem je, že jakákoli chyba či špatný odhad již v této prvotní fázi projektu se odrazí v jeho kvalitě a může vést až k investicím vynaloženým zbytečně či neuváženě. Projekt lze od pojetí určité základní myšlenky až po jeho realizaci rozdělit do tří fází.

- *Fáze předinvestiční* – jedná se o část projektu, ve které probíhá shromažďování informací. Především se jedná o poznatky z oblasti technicko-technologické, marketingové a finanční. Následuje analýza variant projektu a rozhodnutí o realizaci či zamítnutí.

- *Fáze investiční* – v této fázi dochází k vlastní realizaci projektu. Je proto nezbytné zajistit zpracování projektové dokumentace a získání technologie. Také v této etapě probíhá nábor a výcvik personálu a záběhový provoz.
- *Fáze provozní* – probíhá již vlastní výroba s pomocí nových technologií. Řešení a náprava problému v této fázi je již téměř nemožná nebo uskutečnitelná pouze do určité míry. Zde se tedy projeví kvalita přípravy projektu, která je nejdůležitější částí v oblasti investičního rozhodování a stanovování strategie podniku.

V procesech lisování jsou dnes nejpožívanějšími mazadly homogenní směsi (mazací oleje). Z ekonomického pohledu je velkou nevýhodou při jejich používání jev, který se označuje jako odparnost. Ta se projevuje úbytkem hmotnosti z celkového výnosu při výrobě. Celkové hodnoty odpařeného množství těchto mazadel pak za celý rok vykazují značné výdaje na jejich pokrytí. Zcela rozdílné vlastnosti mazadel typu Hotmelt z hlediska možnosti změny skupenství by mohly být důležitým kritériem jejich zvýšeného používání v automobilovém průmyslu.

Pro oblast tváření kovů z hlediska ekonomického nasazení mazadel se dnes prosazuje vývoj hlavně na zjednodušení procesu po tváření, tedy snaha o nenáročné odstranění mazadel z výrobků po lisování. Následné čištění mazadel vyžaduje poměrně značné náklady (obr. 5.2.3.1.). Přesným navržením a používáním mazadla tak, aby přesně odpovídalo požadavkům výrobního procesu, lze totiž uspořit výraznou část výrobních nákladů a to hlavně prodloužením životnosti nástrojů a eliminací dodatečného čištění a odmašťování.



Obr. 5.2.3.1. Tradiční proces pro tváření kovů z ekonomického hlediska

6. Metodika experimentu

Návrh metodiky experimentu měřeného v této diplomové práci vyplýval z hlediska vzájemného porovnávání mazadel typu Hotmelt pomocí zkoušky protahováním pásku. Tato mazadla v současnosti nejsou běžně používána v automobilovém průmyslu, jsou ale patrné tendence vnášet element ochrany suchým nebo polosuchým filmem i do této sféry strojírenství (především z důvodu zabránění nežádoucího zadírání). K vlastnímu měření byla použita mazadla od čtyř významných světových výrobců lubrikačních látek. Cílem práce bylo nejen porovnání jednotlivých typů mazadel, ale i popsání jejich chování za různých rychlostí protahování a také vliv na problém zadírání u Zn povlaků. Proto byly pro zkoušku zvoleny substráty HDG a HDG + NIT pozinkovaných plechů.

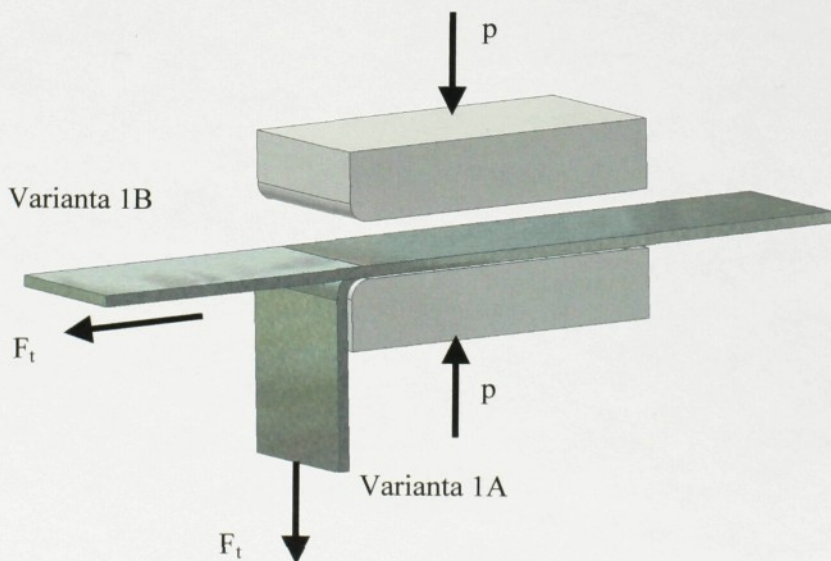
Jako metody zkoumání tribologických vlastností byly vybrány metody označované 1A a 1B. Varianta 1A modeluje tření mezi přídržovačem a tažnicí přes tažnou hranu, varianta 1B modeluje tření mezi tažnicí a přídržovačem. Při metodě 1A dochází během protahování pásků k jejich ohýbání a následnému narovnání za tažnou hranou. Během zkoušky tedy probíhá realizace pružně-plastické deformace plechu v oblasti tažné hrany a zjištěná síla zahrnuje nejen vliv tribologických podmínek, ale i vliv deformačního odporu. U metody 1B je skutečnost, že v průběhu zkoušky nedochází k výrazné plastické deformaci testovaného materiálu jako u reálného lisování jednou ze dvou hlavních nevýhod. Druhou nevýhodou tohoto testu je, že napjatost testovaného materiálu při zkoušce neodpovídá skutečné napjatosti materiálu pod přídržovačem v průběhu lisování. Pro porovnání tribologických vlastností zkoumaných materiálů a mazadel je však tato zkouška dostačující.

Podmínky experimentu byly stanoveny tak, aby se co nejvýše blížily stavům při lisování výlisků karosářského typu. Byly zvoleny tři rychlosti posuvu testovaného materiálu: $v = 1 \text{ mm/s}$; $v = 10 \text{ mm/s}$; $v = 400 \text{ mm/s}$. Rychlosti 1 mm/s a 10 mm/s odpovídají reálným rychlostem posuvu materiálu v nástroji v počátku a konci tažení výlisků karosářského typu. Poslední rychlost ($v = 400 \text{ mm/s}$) pak představovala stav tažení dosahovaného u moderních lisovacích nástrojů.

Pro vyhodnocení vlastností mazadel sloužily záznamy závislosti síly potřebné k protažení pásku na délce protahování zkušební vzorku. Rozměry pásku respektovaly používanou rychlost protahování (viz tab. 6.5.1.). K posouzení vhodnosti mazadla nerozhodovala nejen velikost tažné síly, ale bylo nutné brát také ohled na výskyt zadírání, jelikož při vzniku tohoto jevu dochází k povrchovým vadám. Vhodná maziva pak byla ta, u kterých se zadírání neprojevovalo nebo jej alespoň minimalizovalo.

6.1. Popis zkoušky používané na TU v Liberci [5]

Pro hodnocení morfologie povrchu plechu, konzervačních a technologických mazadel bylo na Katedře strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci ve spolupráci se ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav vyvinuto zařízení, které je konstruováno jako zkušební přípravek na protahovacím zařízení. Konstrukce zkušebního přípravku vychází z metod měření popsanych v kapitole 3.3. Funkčními částmi zařízení jsou dvě výměnné čelisti z materiálu GGG-70L používaného na výrobu nástrojů pro tažení výlisků karosářského typu. Jedna čelist je pevná a druhou lze ovládat pomocí hydraulického systému, který umožňuje vyvození požadovaného kontaktního tlaku při vlastním tribologickém testu. Zkoumaný materiál (pásek plechu) o šířce 40 mm je protahován konstantní rychlostí mezi čelistmi zkušebního přípravku. Velikost kontaktní plochy je dána šířkou pásku (40 mm) a délkou funkčních částí čelistí (76 mm). Rychlost posuvu v lze měnit s ohledem na protahovací stroj v rozsahu $v = 1$ až 400 mm s^{-1} . Délka protahovaného pásku se mění v závislosti na rychlosti protahování. Konstrukce přípravku umožňuje modelovat podmínky v oblasti tažné hrany tažnice (varianta 1A) a v oblasti přidržovače (varianta 1B). Funkční část zkušebního přípravku a princip zkoušky je patrný z obr. 6.1.1.



Obr. 6.1.1. Princip zkoušky používané na TU v Liberci

6.2. Popis experimentu z hlediska použitých mazadel [18]

Zkouška a její metodika byla volena tak, aby simulovala technologické podmínky při procesu tažení výlisků karosářského typu s hlavním zřetelem na posouzení použitých mazadel. Použily se metody 1A (protahování pásku mezi přidržovačem a tažnicí přes tažnou hranu) a 1B (protahování pásku mezi tažnicí a přidržovačem). Zkouška pro zjištění tribologických vlastností mazadel byla provedena pro následující čtyři druhy mazadel typu Hotmelt od různých renomovaných výrobců.

- Anticorit PL 3802-39 SX, výrobce Fuchs-Europe Schmierstoffe GmbH Co.
(dále jen Anticorit PL 39SX)
- AP 171, výrobce Pfinder GmbH & Co.
- Drycoat 2, výrobce Quaker Chemical & Corp.
- Multidraw E1, výrobce Zeller + Gmelin GmbH & Co.

Tab. 6.2.1. Vlastnosti použitých mazadel

Mazadlo typu Hotmelt	Kinematická viskozita [mm^2/s]		Hustota [kg/m^3]		Bod vzplanutí [°C]
Anticorit PL 39SX	25	[60°C]	894	[20°C]	≥ 150
AP 171	12,2	[60°C]	850	[20°C]	≥ 200
Drycoat 2	11,6	[60°C]	820	[70°C]	≥ 180
Multidraw E1	32	[60°C]	870	[15°C]	≥ 200

U mazadel typu Hotmelt je důležité si uvědomit, že jejich vlastnosti jsou velice závislé na změně teploty. Tento stav se týká především kinematické viskozity. Za normální pokojové teploty jsou tato mazadla v pevné fázi a k přechodu do kapalné fáze dochází téměř až „skokovou“ změnou. Proto je v tabulce u příslušné míry kinematické viskozity vždy zaznamenána i teplota, při které tato hodnota platí.

6.3. Materiál vzorků

Pro měření experimentu byly použity dva typy povrchů hlubokotažných ocelových plechů, jichž se používá v automobilovém průmyslu pro výrobu karosářských výlisků (oba dle EN 10 142):

- Plech s povrchem žárově pozinkovaným (HDG) – DX56D Z 100MC
- Plech žárově pozinkovaný s mikrofosfátem (HDG + NIT) – DX56D Z 100 MC

Důvod použití těchto druhů plechů vychází z následující skutečnosti. HDG je dnes běžně používaný substrát v automobilovém průmyslu a povrch HDG + NIT je vývojový povlak ke snížení zadírání. Oba typy vyrábí firma COCKERILL Sambre a jsou v současnosti zpracovávány ve firmě Škoda Auto a.s. Mechanické vlastnosti používaných vzorků plechů jsou uvedeny v tab. 6.3.1. a 6.3.2.

Tab. 6.3.1. Mechanické hodnoty materiálu HDG

Materiál: HDG	Směr válcování		
	0°	45°	90°
R _m [MPa]	290,37	300,37	298,92
R _{p0,2} [MPa]	163,77	170,57	164,69
A ₈₀ [%]	47,8	46,3	46,4

Tab. 6.3.2. Mechanické hodnoty materiálu HDG + NIT

Materiál: HDG + NIT	Směr válcování		
	0°	45°	90°
R _m [MPa]	301,25	306,80	304,41
R _{p0,2} [MPa]	165,85	186,95	179,14
A ₈₀ [%]	45,6	44,7	45,59

Fotografie obou povrchů použitých plechů jsou vidět na obr. 6.3.1. a 6.3.2. Snímky povrchů byly pořízeny na rastrovacím mikroskopu pomocí 500-ti násobného zvětšení.

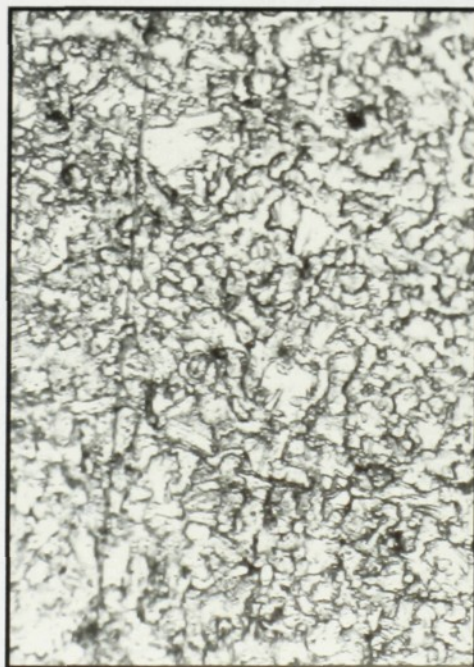
Pomocí přístroje PERTHOMETER M4Pi byly změřeny hodnoty určující kvalitu povrchu karosářských výlisků. Jedná se o střední hodnotu drsnosti povrchu R_a a počet vrcholků nerovností RPc. Měření proběhla na obou stranách šesti namátkou vybraných vzorků ve směru kolmém na směr válcování a průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.3.3. ve tvaru X₁/X₂, který zaznamenává rub a líc vzorků.

Tab. 6.3.3. Mikrogeometrie měřených povrchů

Materiál	R _a [μm]	RPc [1/cm]
HDG	1,07/1,11	81/86
HDG + NIT	0,97/1,10	89/94



Obr. 6.3.1. Fotografie povrchu HDG, zvětšení 500x



Obr. 6.3.2. Fotografie povrchu HDG + NIT, zvětšení 500x

6.4. Materiál čelistí přípravku

Materiál čelistí přípravku nese označení GGG-70L, což je interní označení v koncernu VW dle normy DIN 1693. Jedná se o tvárnou litinu a má následující charakteristické vlastnosti:

- Tvrdost: 220 – 270 HB
- Chemické složení: $C = 3,2 \div 3,4\%$, $Mn = 0,3 \div 0,8\%$, $Si = 1,8 \div 2,4\%$, $P \leq 0,05\%$, $S \leq 0,01\%$, $Cu \approx 1,0\%$, $Ni \approx 1,0\%$, $Mo \approx 0,5\%$
- Drsnost čelistí: $R_a = 0,07 \mu m$, $R_z = 0,76 \mu m$
(R_z je průměrná odchylka nerovností pěti nejvyšších vrcholů a pěti nejnižších prohlubní)

Při vlastním měření se na povrch čelistí nanese vrstva příslušného maziva. Během samotného protahování pak může na povrchu čelistí docházet vlivem zadírání k usazování Zn povlaku nebo nečistot. Po každé sadě měření se tedy musí provádět důkladné očištění čelistí od zbytkového množství předešlého druhu mazadla a nečistot. Nejprve se hadrem zvlhčeným v acetonu pásek odmastí a poté se přebrousí jemným brusným papírem o zrnitosti šest ve směru tažení. Nakonec se čelisti očistí od nečistot nanesených při broušení.

6.5. Příprava vzorků

Příprava vzorků byla shodná pro oba typy povrchu plechů a probíhala v několika hlavních operacích.

Pásky plechů bylo nejprve nutné nastříhat na příslušné rozměry pásků, jejichž délka se lišila podle používané rychlosti protahování vzorku. Stříhání probíhalo na tabulových nůžkách ve směru válcování a k zajištění konstantního rozměru šířky vzorků bylo použito pevného dorazu. Rozměry pásků použitých pro měření jsou uvedeny v tab. 6.5.1.

Tab. 6.5.1. Rozměry používaných pásků

Materiál	Tloušťka pásku s [mm]	Šířka pásku b [mm]	Délka pásku l [mm]
			pro příslušnou protahovací rychlost v [mm/s]
HDG, HDG + NIT	0,8 ± 0,01	40 ± 0,05	400 (v = 1 mm/s)
			400 (v = 10 mm/s)
			1200 (v = 400 mm/s)

V následující operaci byly pásky plechu zbaveny ořepů a ostrých hran, které vznikly při střihání. Důvodem zařazování této operace při přípravě vzorků je zamezení poškození čelistí zkušební přípravku. Ostré hrany by také mohly ovlivňovat výsledky měření. Zbroušení obou stran bylo provedeno na kotoučové brusce. Další přípravnou operací bylo očištění povrchů suchou textilií od hrubých nečistot, dvojnásobné odmaštění vzorků v acetonu a ořízení do sucha.

Poslední operací bylo nanášení měřeného množství maziva na pásky plechů a to po obou stranách. Jemně přetřeny byly také obě čelisti nástroje. K zaručení skutečně dobré přilnavosti mazadel na povrch pásků bylo nejprve nutné vzorky předežhřát v peci na teplotu cca 80°C. Mezitím proběhlo zahřátí mazadla nad teplotu přechodu z pevného na kapalné skupenství. Vlastní nanášení se uskutečňovalo pomocí měkké textilie napuštěné v příslušném mazivu na množství $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$. K zajištění takovéto hodnoty se vždy po určitém množství vzorků jeden pásek přesně zvážil na analytických vahách před a po nanesení příslušného mazadla a obě hodnoty byly vzájemně porovnány.

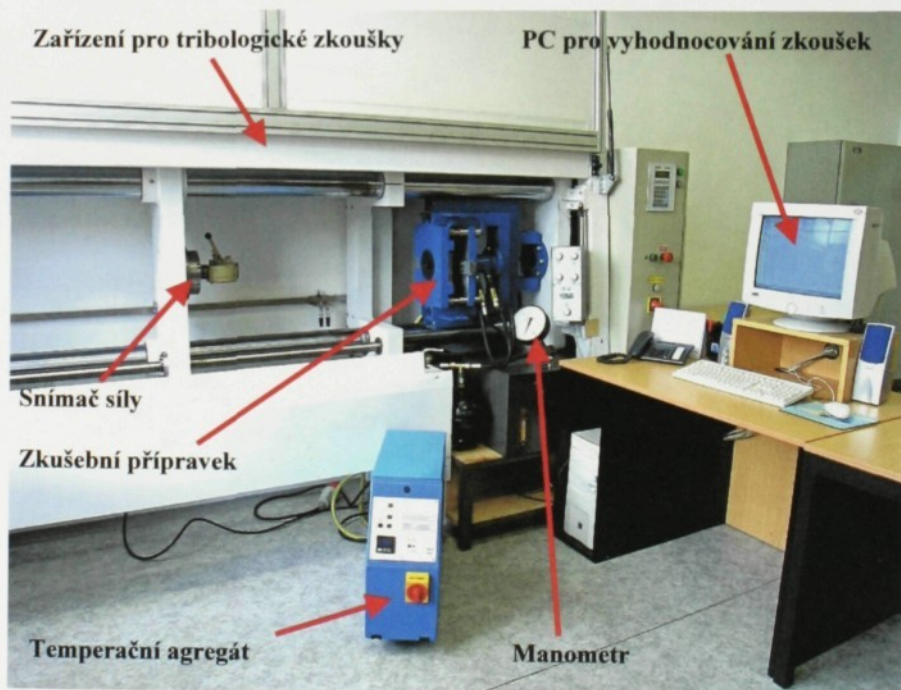
6.6. Popis zkušebního zařízení

Měření probíhalo na zkušebním zařízení, které bylo na Katedře strojírenské technologie instalováno na jaře roku 2003. Jedná se o vysokorychlostní zařízení pro tribologické zkoušky, které umožňuje protahování rychlostmi 1 mm/s až k 400 mm/s. Původní zařízení, kde se tyto tribologické zkoušky prováděly (TIRAtest 2300), umožňovalo maximální rychlost 10 mm/s. K testování tribologických vlastností je stroj vybaven přípravkem na zkoušku protahováním pásku. Tento byl navrhnut a zhotoven na TU v Liberci na Katedře strojírenské technologie a jeho uspořádání je na obr. 6.6.2. Toto zařízení umožňuje testování dle již výše popsanych dvou metod protahování pásku: 1A, kdy je pásek protahován přes tažnou hranu a 1B, kdy je pásek tažen přímo. Změnu variant umožňují šrouby upevněné kolmo k posuvu a vlastní realizace pak proběhne pouhým natočením přípravku o 90°. V zařízení jsou vloženy čelisti, kterými se protahuje zkušební vzorek a proti uvolnění jsou zajištěny šrouby. Čelisti jsou z obou stran připojeny na temperované desky spojené s celým temperačním okruhem.

Měření probíhalo se čtyřmi druhy maziv (Anticorit PL 39SX, AP 171, Drycoat 2, Multidraw E1) na dvou substrátech (HDG, HDG + NIT) s rozdílnými mechanickými vlastnostmi. Ve dvou metodách měření tribologických vlastností (1A a 1B) bylo použito tři rychlostí protahování: $v = 1 \text{ mm/s}$, 10 mm/s , 400 mm/s . Pro změření každé sady vzorků příslušného druhu mazadla pak bylo použito deseti pásků. Kontaktní tlak mezi čelistmi byl

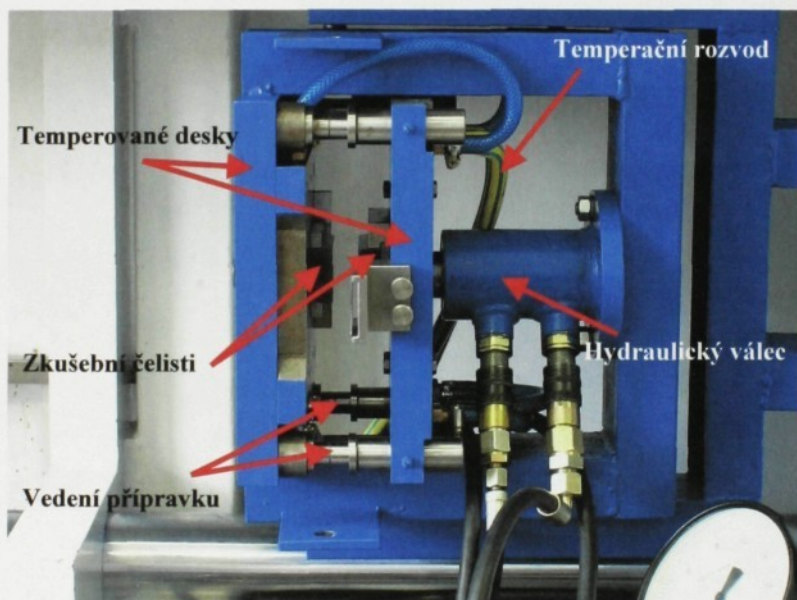
4 MPa a platil pro celý rozsah experimentu. Tento tlak odpovídá reálným podmínkám při lisování výlisků karosářského typu.

K dosažení potřebného tlaku pro uzavření čelistí bylo použito připojení měřicího zařízení na hydraulický systém. Tato jednotka byla napojena na pohyblivou čelist a nastavení příslušného tlaku se provádělo pomocí manometru. Celá hydraulická jednotka byla spojena s akumulátorem udržujícím v celém systému konstantní tlak, který šlo snadno regulovat pomocí zásobníku a škrticího ventilu. Kromě tlaku byla další z technologických parametrů, které bylo nutno pro zkoušku zajistit, teplota obou čelistí. Pro celý rozsah měření byla zvolena hodnota $40 \pm 2^\circ\text{C}$. K dosažení jednotné teploty byl k celému systému připojen temperační okruh, který prováděl i nezbytnou teplotní regulaci. K dosažení stejných podmínek pro všechny vzorky a také v důsledku velké citlivosti měřeného druhu mazadla na teplotě, bylo vždy třeba nechat čelisti důkladně prohřát na teplotu měření. Pohled na celkové uspořádání pracoviště je znázorněn na obr. 6.6.1.



Obr. 6.6.1. Uspořádání pracoviště

Vzorky připravené podle kapitoly 6.5. pak byly vkládány do přípravku mezi čelisti nástroje. Pásek se upnul do hlavy snímače síly v posuvné části zařízení. Následovalo nastavení parametrů zkoušky – tedy měřená délka protahování (odvislá od použité rychlosti) a hodnoty L_{mez} , která vymezovala oblast, od které probíhalo vyhodnocení jednotlivé zkoušky. L_{mez} u rychlostí 1 mm/s a 10 mm/s bylo 30 mm a v případě rychlosti 400 mm/s pak 100 mm. Po spuštění stroje proběhlo vlastní protažení pásku a průběh síly potřebné k protažení byl pomocí A/D převodníku vložen do mezipaměti osobního počítače. Po skončení měření se získané hodnoty i grafické znázornění zkoušky zaznamenalo pomocí programu LabTest v.2 na připojeném osobním počítači.



Obr. 6.6.2. Zkušební přípravek

7. Vyhodnocení výsledků experimentu

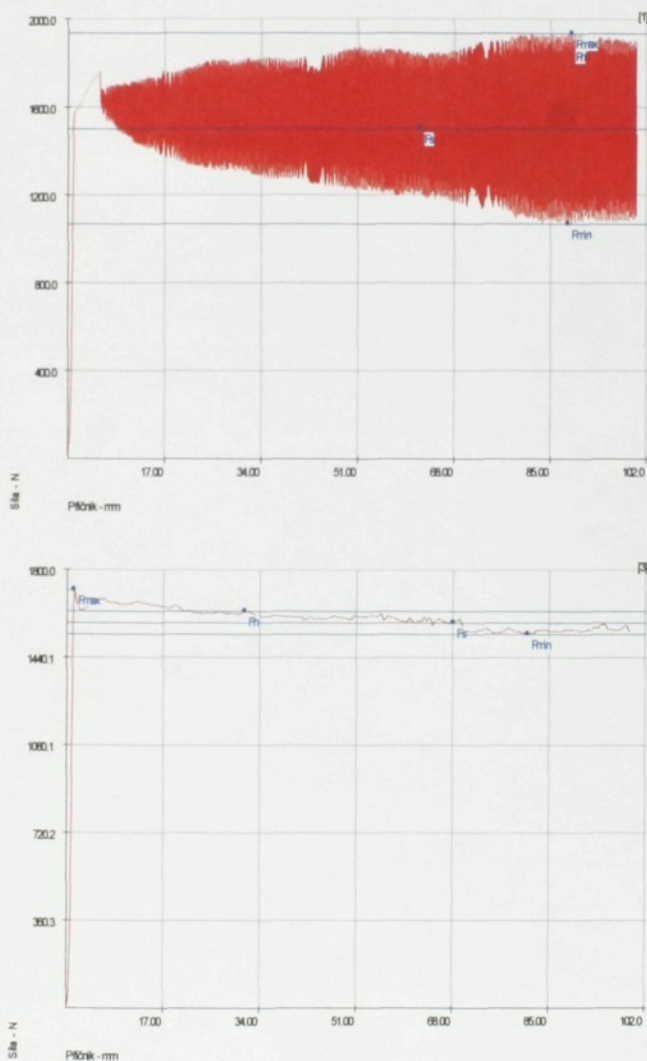
V této kapitole jsou formou tabulek a grafů znázorněny a vyhodnoceny nejdůležitější výsledky experimentu. Jedná se o hodnoty naměřené vždy pro určitý druh mazadla v rozsahu použitých rychlostí. Zhodnocení výsledků mezi měřenými mazadly je pak zpracováno na konci této kapitoly. Kompletní seznam pořízených záznamů je k dispozici v příloze č. 1.

7.1. Typy pořízených záznamů

Pro vzájemné srovnávání mazadel z tribologického hlediska slouží záznamy průběhů tažných sil v závislosti na protahované délce. V průběhu zkoušky dochází ke změně velikosti síly potřebné k protažení pásku a samotnou oblast grafu lze rozdělit na dvě hlavní části – náběhovou a ustálenou. Část náběhová má význam především při vyhodnocování metodou 1B, kdy zjistíme velikost $F_{\max}$ jako počáteční sílu. Tuto oblast omezuje zadáním L_{mez} tj. hodnotou posuvu, od které dochází k vyhodnocování protahovaného pásku. V této oblasti lze kromě $F_{\max}$ obtížně určovat další charakteristickou sílu (za orientační hodnotu pro porovnávání v této části by mohla sloužit síla označující počátek odklonu záznamu od přímkové části grafu). V ustálené části pak slouží k popisu hodnota síly $F_{\text{střední}}$. To však pouze v případě, že nedochází k jevu označovanému jako zadírání, které se projevuje efektem nazývaným jako „stick - slip“. Jestliže k tomuto stavu dojde, je vyhodnocování pomocí síly $F_{\text{střední}}$ poněkud rozporuplné. K porovnání tribologických vlastností mazadel lze pak brát velikost maximální síly v ustálené části F_h nebo velikost rozkmitu síly ΔF . Zadírání se projevuje především při nižších rychlostech protahování. Hlavní měřené charakteristiky tedy jsou:

- $F_{\max}$ – maximální velikost síly, které bylo při zkoušce dosaženo na celé dráze
- F_h – maximální velikost síly, které bylo dosaženo za hodnotou L_{mez}
(po 30 mm v ustálené části diagramu pro $v = 1$ a 10 mm/s
a 100 mm pro $v = 400$ mm/s)
- $F_{\min}$ – minimální velikost síly, které bylo dosaženo za hodnotou L_{mez}
(po 30 mm v ustálené části diagramu pro $v = 1$ a 10 mm/s
a 100 mm pro $v = 400$ mm/s)
- $F_{\text{střední}}$ – střední velikost síly v ustálené oblasti měření
- ΔF – velikost rozkmitu síly v ustálené oblasti měření $\Delta F = F_{\max} - F_{\min}$ (4)
(důležitá především pro případ zadírání Zn povlaků)

Při jistém zjednodušení lze naměřené charakteristiky záznamů rozdělit na dva typické průběhy pracovních diagramů – viz obr. 7.1.1. Nutno poznamenat, že se mohou objevovat i další druhy záznamů (např.: rychlý náběh na výraznou sílu $F_{\max}$ s následujícím „utržením“ a ustálením se na hodnotě F_h , vzrůstající síla v ustálené oblasti atd.).



Obr. 7.1.1. Typické průběhy pracovních diagramů zkoušky protahováním pásku se zadíracím efektem (nahore při $v = 1 \text{ mm/s}$) a bez něj (dole při $v = 10 \text{ mm/s}$)

7.2. Kritéria pro hodnocení mazadel

Používáním mazadel se obecně sleduje co největší snížení pasivních odporů během lisování a to především v oblastech tažné hrany tažnice a přidržovače. Snížením pasivních odporů se sníží síla potřebná k protahování zkušebních pásků.

Za kritéria při hodnocení mazadel je možno volit:

- Hodnotu síly potřebnou k protažení pásků
 - síla maximální $F_{\max}$
 - síla střední (ustálení) $F_{\text{střední}}$
- Způsob náběhu síly – výhodný je pozvolný náběh na ustálenou hodnotu
- Existence velkého rozkmitu síly (zadírání) ΔF – vyžaduje se co nejmenší

Při hodnocení mazadel je třeba brát v úvahu i materiál, na který bude nanášeno. Materiály s nižším deformačním odporem (např. hliník) budou hodnoceny převážně z hlediska hodnoty $F_{\max}$. Tato síla totiž naznačuje na nerovnoměrné rozdělení napětí a tím i na deformaci materiálu, což může vést až ke vzniku trhlin nebo lomu.

Mazadla, která nejlépe vyhovují těmto podmínkám, lze označit za optimální pro dané technologické podmínky a materiály.

7.3. Naměřené hodnoty sil pro Anticorit PL 39SX (Fuchs)

Tab. 7.3.1. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 1 \text{ mm/s}$

Anticorit PL 39SX			
$v = 1 \text{ mm/s}$		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}} [\text{N}]$	1A	4097,83	3452,35
	1B	2593,14	2358,51
$F_{\text{max}} [\text{N}]$	1A	5193,89	3721,32
	1B	3148,49	2595,11
$\Delta F [\text{N}]$	1A	2175,09	402,47
	1B	1055,27	331,91

Tab. 7.3.2. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 10 \text{ mm/s}$

Anticorit PL 39SX			
$v = 10 \text{ mm/s}$		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}} [\text{N}]$	1A	3255,41	2857,69
	1B	2066,88	2039,87
$F_{\text{max}} [\text{N}]$	1A	3504,57	2983,65
	1B	2225,01	2150,4
$\Delta F [\text{N}]$	1A	479,57	209,78
	1B	197,84	191,21

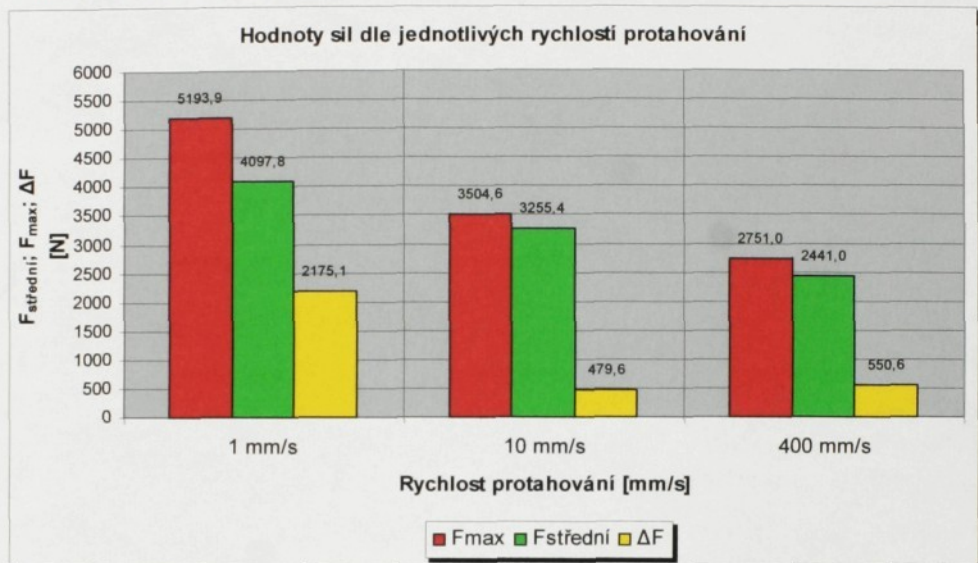
Tab. 7.3.3. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 400 \text{ mm/s}$

Anticorit PL 39SX			
$v = 400 \text{ mm/s}$		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}} [\text{N}]$	1A	2440,99	2841,13
	1B	1740,61	1869,26
$F_{\text{max}} [\text{N}]$	1A	2751,01	3329,59
	1B	1993,54	2156,68
$\Delta F [\text{N}]$	1A	550,60	627,71
	1B	410,82	469,33

7.3.1. Grafické znázornění sil dle použitých povrchů a metod

Anticorit PL 39SX: HDG – 1A

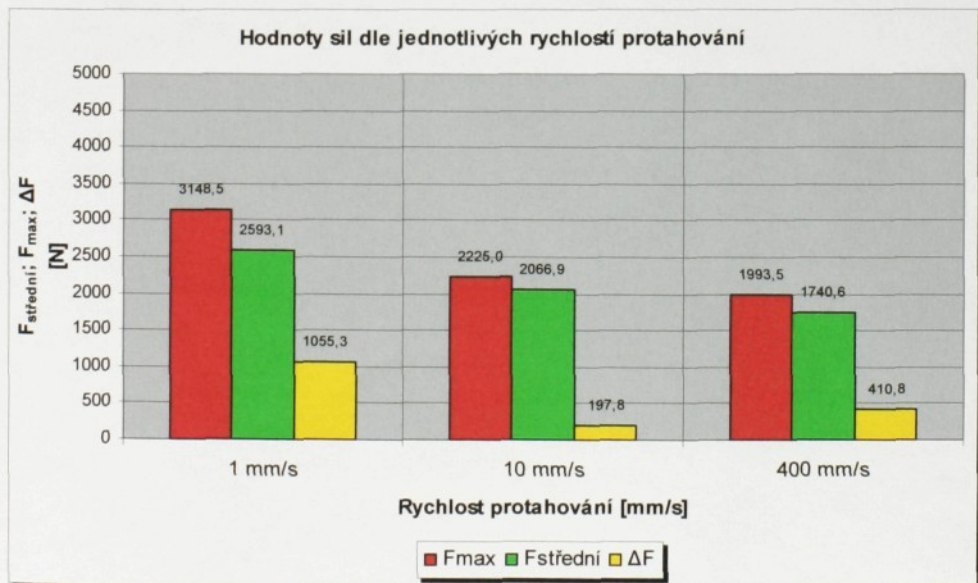
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.3.1.1. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásku

Anticorit PL 39SX: HDG – 1B

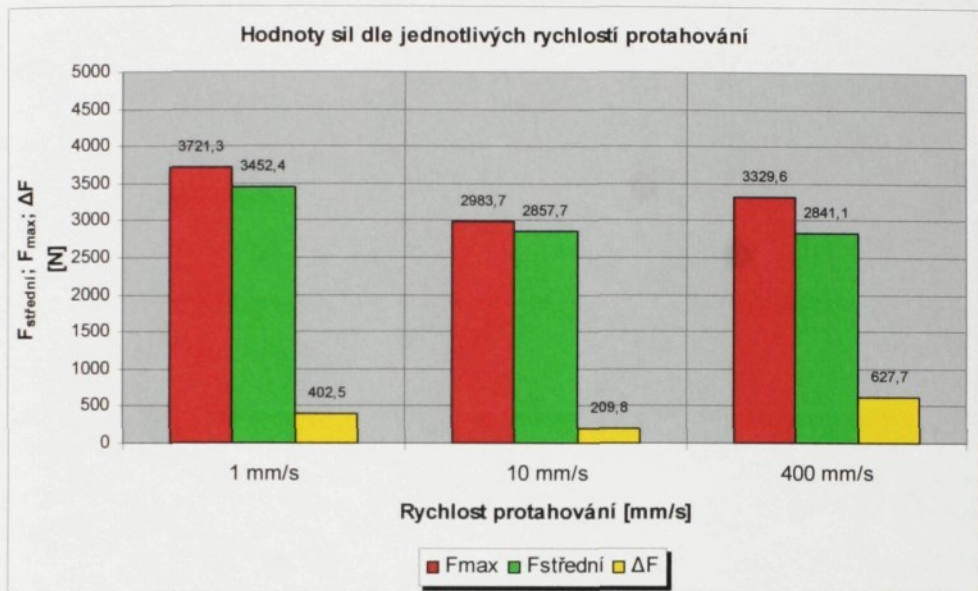
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.3.1.2. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásku

Anticorit PL 39SX: HDG + NIT – 1A

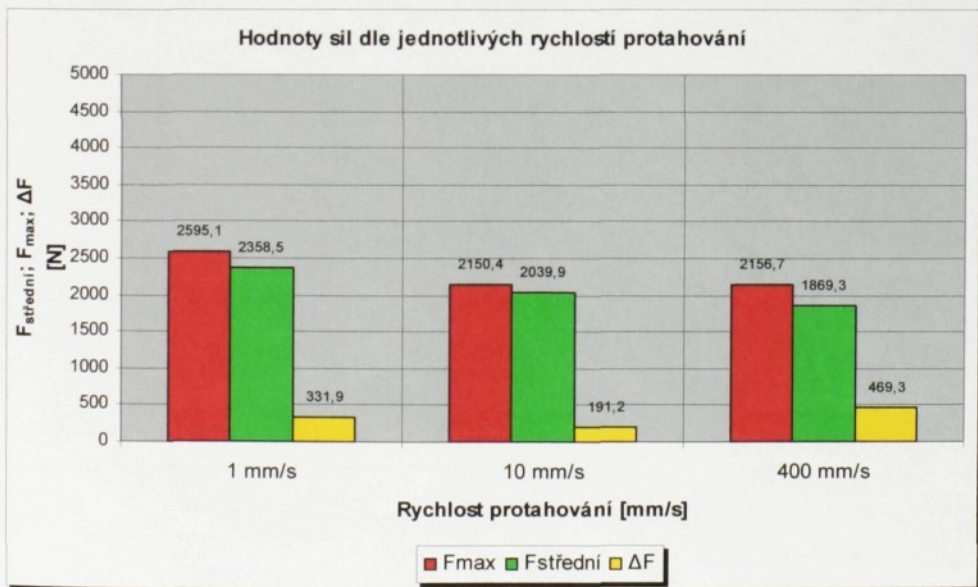
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.3.1.3. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

Anticorit PL 39SX: HDG + NIT – 1B

Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.3.1.4. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

7.3.2. Dílčí výsledky

Naměřené hodnoty u jednotlivých mazadel se vždy dají rozdělit na vyhodnocení dle použitého povrchu ocelových plechů - HDG a HDG + NIT.

Při protahování tohoto mazadla na povrchu HDG docházelo k zadírání při rychlosti $v = 1 \text{ mm/s}$ a to při obou použitých metodách. Za vyšších rychlostí ($v = 10 \text{ mm/s}$ a 400 mm/s) pak ke vzniku tohoto jevu nedocházelo a hodnoty ΔF jsou u těchto rychlostí protahování $\approx 500 \text{ N}$. Zde je třeba zdůraznit velký vliv teploty čelistí na mazací schopnost mazadel (v celém rozsahu experimentu $40 \pm 2^\circ\text{C}$) a to zvláště u mazadel typu Hotmelt. Jedná se o nalezení určité optimální teploty, kdy velikost pasivních odporů závisí na vnitřním tření v mazadle a síle k usmýknutí mazací vrstvy. Z grafů je vidět, že s rostoucí rychlostí protahování docházelo k poklesu jak $F_{\max}$ i $F_{\text{střední}}$ - a to v rozmezí $300 \div 900 \text{ N}$. Síla $F_{\max}$ u metodiky HDG - 1A mezi rychlostmi 1 mm/s a 10 mm/s poklesla až o 1650 N .

Pro povrch označovaný jako HDG + NIT pak platí hodnoty, které jsou oproti stejným datům naměřeným na povrchu HDG v naprosté většině nižší. U metody 1A se pokles pohybuje v rozmezí $15 \div 25\%$, u varianty 1B $5 \div 15\%$. Tento jev je způsoben skutečností, že jemně rozptýlený fosfát na povrchu plechu umožňuje vytvoření dostatečně únosného filmu mazadla a sám také jako mazadlo působí. Zajímavou skutečností je fakt, že při rychlosti $v = 400 \text{ mm/s}$ jsou velikosti sil naměřené na povrchu HDG + NIT vyšší než na substrátu HDG a to zhruba o 400 N . V celém rozsahu použitých rychlostí protahování nedocházelo na tomto substrátu k významnému zadírání. Velikosti hodnocených sil vykazují procentuelně podobný pokles hodnot jako u HDG povrchu. V případě rychlosti $v = 400 \text{ mm/s}$ u metody 1A však síla $F_{\max}$ dokonce převyšuje data získaná pro předchozí rychlost $v = 10 \text{ mm/s}$ a síla $F_{\text{střední}}$ téměř odpovídá předcházející hodnotě.

7.4. Naměřené hodnoty sil pro AP 171 (Pfinder)

Tab. 7.4.1. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 1 \text{ mm/s}$

AP 171			
$v = 1 \text{ mm/s}$		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}} [\text{N}]$	1A	4037,52	3580,30
	1B	2830,03	2746,38
$F_{\text{max}} [\text{N}]$	1A	5020,08	4110,76
	1B	3474,30	3243,56
$\Delta F [\text{N}]$	1A	1957,43	1060,92
	1B	1177,30	919,58

Tab. 7.4.2. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 10 \text{ mm/s}$

AP 171			
$v = 10 \text{ mm/s}$		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}} [\text{N}]$	1A	3700,29	3336,74
	1B	2256,59	2231,96
$F_{\text{max}} [\text{N}]$	1A	3970,38	3438,07
	1B	2424,16	2370,62
$\Delta F [\text{N}]$	1A	508,17	170,17
	1B	323,38	179,61

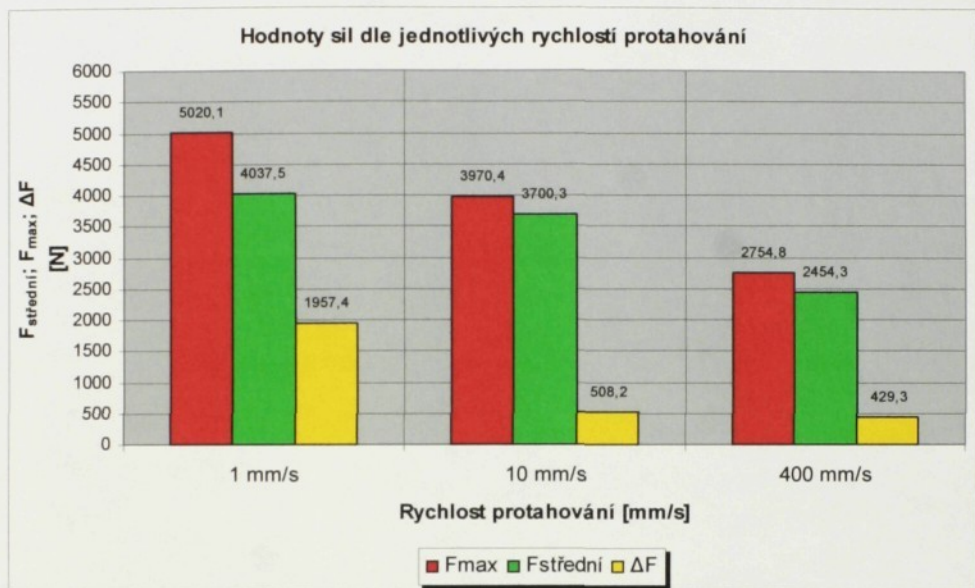
Tab. 7.4.3. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 400 \text{ mm/s}$

AP 171			
$v = 400 \text{ mm/s}$		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}} [\text{N}]$	1A	2454,29	2324,74
	1B	1550,87	1680,80
$F_{\text{max}} [\text{N}]$	1A	2754,76	2756,35
	1B	1794,91	1926,16
$\Delta F [\text{N}]$	1A	429,31	533,99
	1B	368,16	361,46

7.4.1. Grafické znázornění sil dle použitých povrchů a metod

AP 171: HDG – 1A

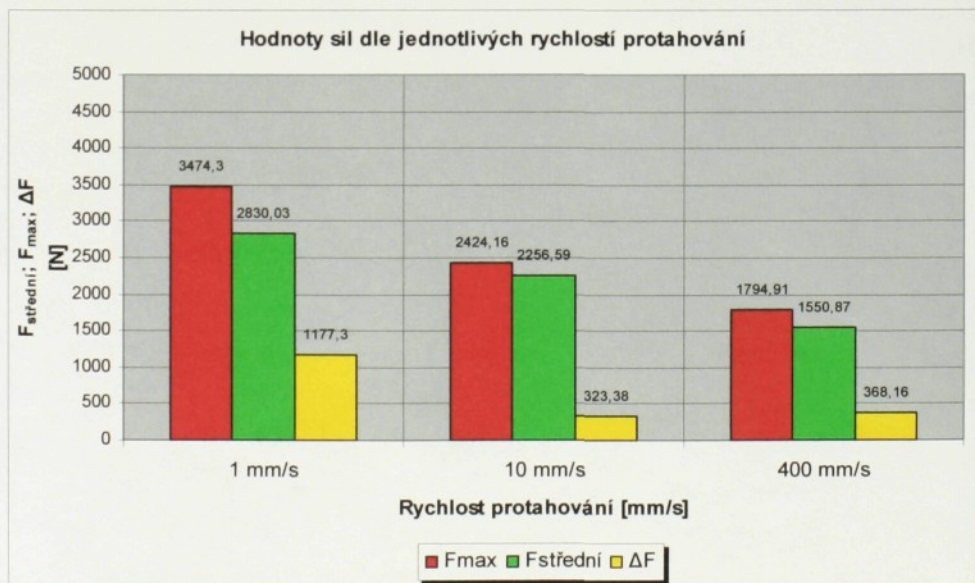
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.4.1.1. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásku

AP 171: HDG – 1B

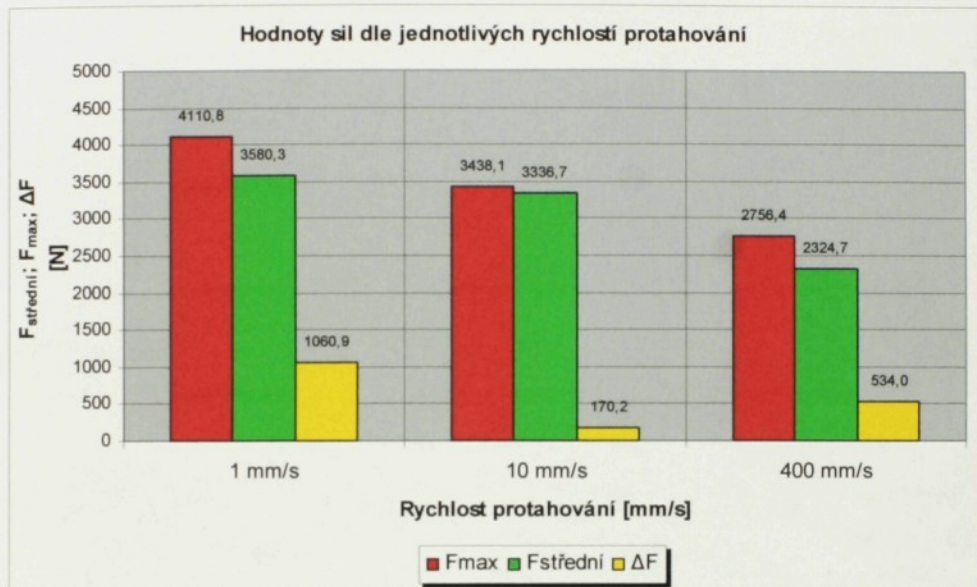
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.4.1.2. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásku

AP 171: HDG + NIT – 1A

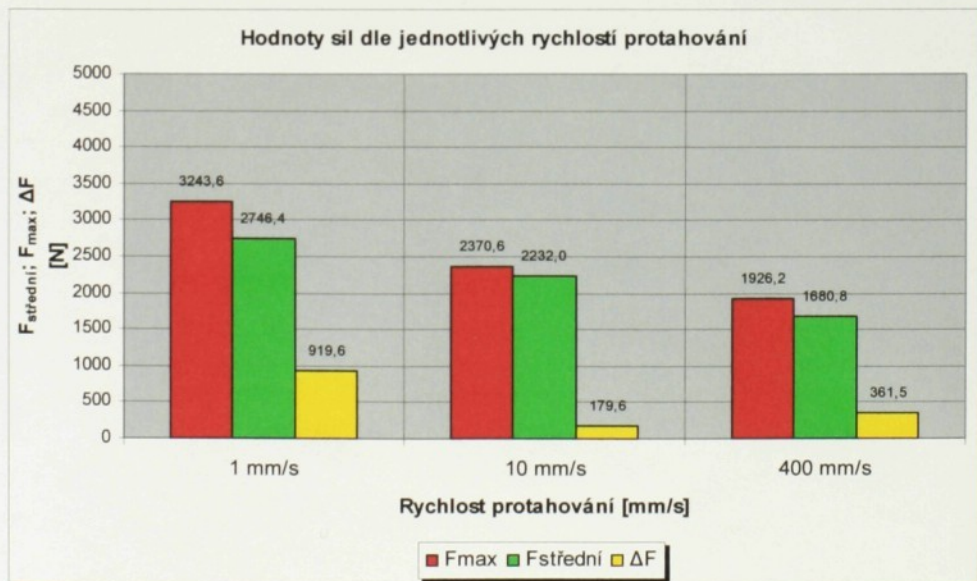
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.4.1.3. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

AP 171: HDG + NIT – 1B

Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.4.1.4. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

7.4.2. Dílčí výsledky

Firma Pfinder dodává na trh Hotmelt pod označením AP 171. Výsledky naměřené na tomto výrobku vykazují oproti předešlému mazadlu některé odlišnosti.

U tohoto mazadla docházelo k zadírání při nejnižší rychlosti nejen u povrchu HDG (u obou metod), ale i při použití obou metod u vzorků s HDG + NIT substrátem. Za vyšších rychlostí k tomuto jevu na povrchu HDG + NIT nedocházelo, u HDG je zadírání patrné při rychlosti $v = 10 \text{ mm/s}$ u metody 1A. Velikosti měřených sil v závislosti na rychlosti protahování vykazují určitý pokles v rozmezí $300\div 1000 \text{ N}$ u HDG. V případě povrchu HDG + NIT je pokles sil okolo 600 N . Hodnoty těchto sil při $v = 400 \text{ mm/s}$ jsou minimální a to na obou typech povrchů.

Zhodnocení tohoto mazadla z hlediska tribologické zkoušky protahování pásku lze zhodnotit následujícím konstatováním. Na povrchu HDG vykazuje AP 171 průměrné výsledky v porovnání s ostatními mazadly v celém rozsahu použitých rychlostí a metod. Při nanesení na HDG + NIT substrát však nedochází k nejlepším výsledkům tohoto mazadla s tímto povrchem, což se projeví zadíráním při rychlosti protahování $v = 1 \text{ mm/s}$.

7.5. Naměřené hodnoty pro Drycoat 2 (Quaker)

Tab. 7.5.1. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 1 \text{ mm/s}$

Drycoat 2			
$v = 1 \text{ mm/s}$		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}} [\text{N}]$	1A	4529,16	3938,12
	1B	3093,19	2963,23
$F_{\text{max}} [\text{N}]$	1A	5951,96	4585,71
	1B	4183,04	3515,77
$\Delta F [\text{N}]$	1A	2712,09	1236,75
	1B	2142,67	1102,92

Tab. 7.5.2. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 10 \text{ mm/s}$

Drycoat 2			
$v = 10 \text{ mm/s}$		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}} [\text{N}]$	1A	3801,81	3474,33
	1B	2460,11	2447,16
$F_{\text{max}} [\text{N}]$	1A	4199,76	3568,45
	1B	2752,95	2551,62
$\Delta F [\text{N}]$	1A	604,64	181,65
	1B	412,38	171,28

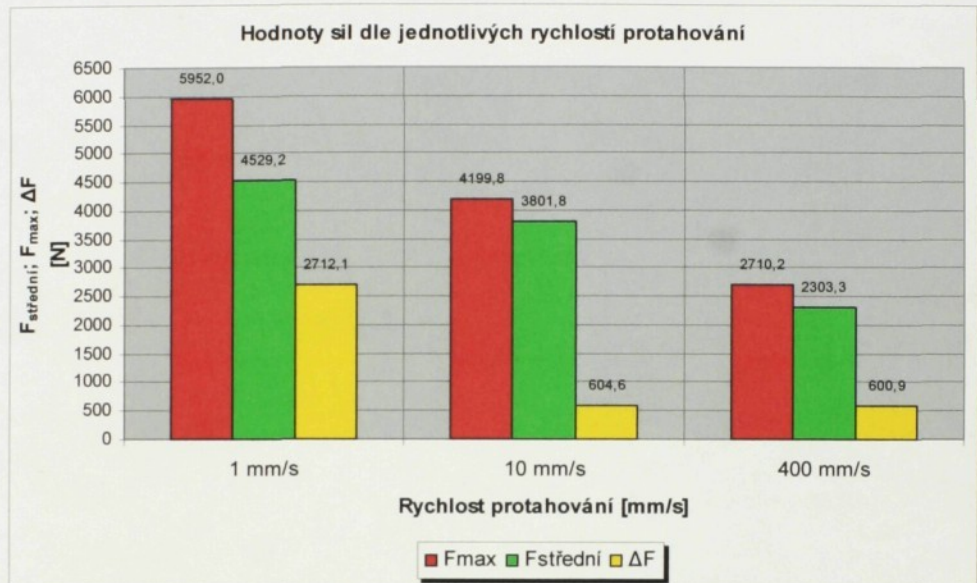
Tab. 7.5.3. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 400 \text{ mm/s}$

Drycoat 2			
$v = 400 \text{ mm/s}$		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}} [\text{N}]$	1A	2303,31	2738,87
	1B	1483,15	1732,36
$F_{\text{max}} [\text{N}]$	1A	2710,16	3033,37
	1B	1909,46	2088,65
$\Delta F [\text{N}]$	1A	600,88	391,45
	1B	520,65	473,55

7.5.1. Grafické znázornění sil dle použitých povrchů a metod

Drycoat 2: HDG – 1A

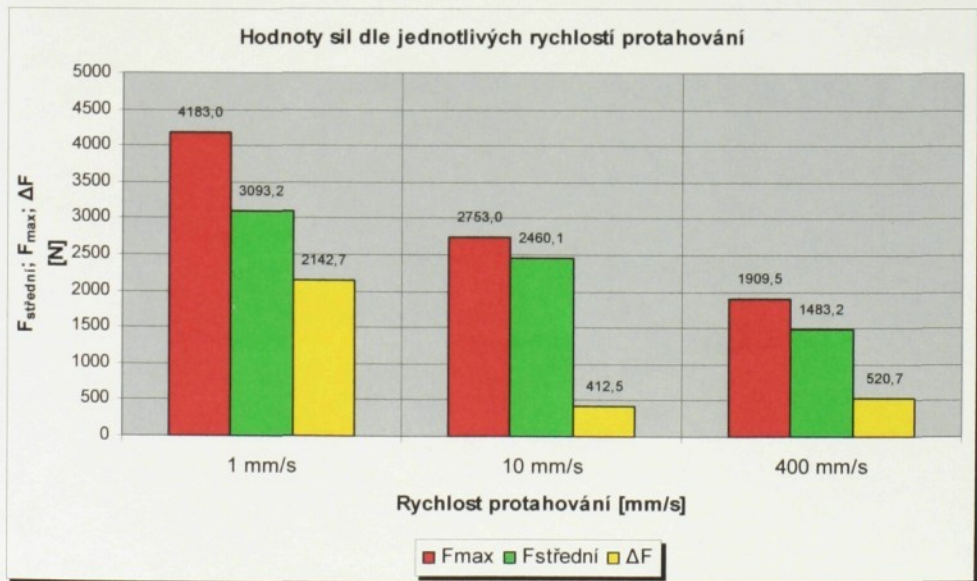
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.5.1.1. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásku

Drycoat 2: HDG – 1B

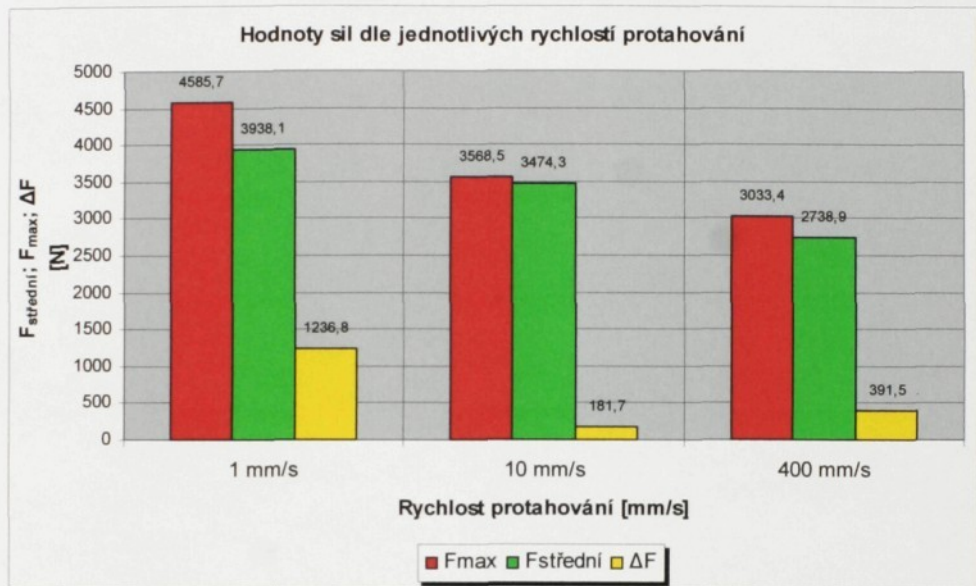
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.5.1.2. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásku

Drycoat 2: HDG + NIT – 1A

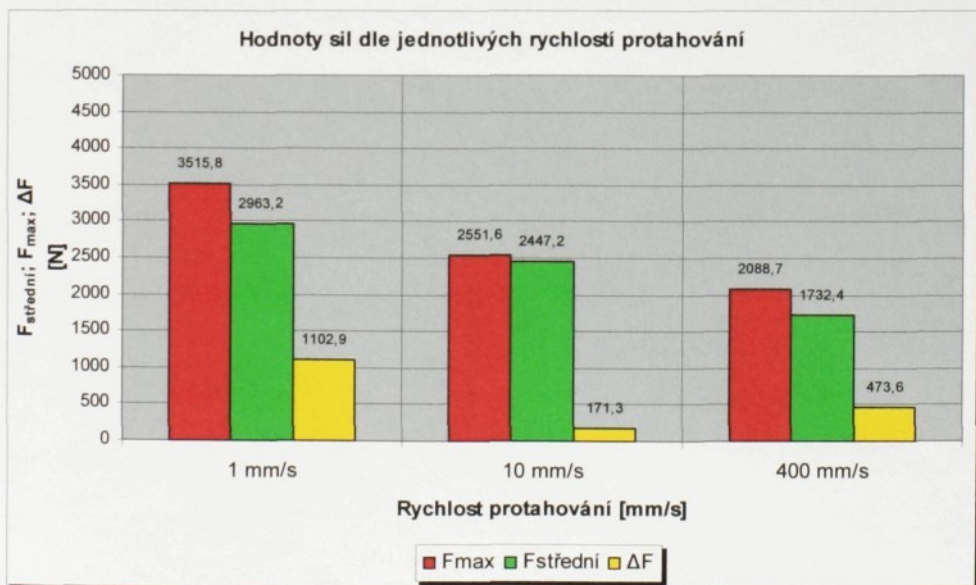
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.5.1.3. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

Drycoat 2: HDG + NIT – 1B

Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.5.1.4. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

7.5.2. Dílčí výsledky

Hotmelt Drycoat 2 od výrobce Quaker se mezi sledovanými mazadly projevil jako výrobek, který vykázal v několika ohledech nejvyšší síly potřebné k protažení nebo velikost zadírání.

U tohoto mazadla bylo na povrchu HDG při nejnižší rychlosti protahování $v = 1 \text{ mm/s}$ zjištěno největší zadírání mezi měřenými mazadly a to při použití metody 1A. Jeho velikost představovala 2712 N. Také při protahování pásku dle principu 1B jsou hodnoty ΔF při této rychlosti značné (přesahují 2000 N). K zadírání při této rychlosti však docházelo i na povrchu HDG + NIT a naměřené hodnoty se pohybovaly okolo 1100 N. Dalším podstatným jevem je velikost $F_{\max}$ u HDG – 1A (5951 N), která představuje nejvyšší z naměřených sil v celém experimentu. Také velikostí sil při rychlosti protahování $v = 10 \text{ mm/s}$ na tomto povrchu patří naměřené hodnoty k nejvyšším v celé experimentální části a to v obou metodách. Při nejvyšší měřené rychlosti jsou výsledky srovnatelné s ostatními mazadly.

Výsledky na substrátu HDG + NIT jsou sice nepříliš odlišné (pohybují se v rozmezí $\pm 400 \text{ N}$) od hodnot zjištěných na ostatních mazadlech, ale poměrně důležitým jevem je skutečnost, že při minimální rychlosti protahování docházelo u obou metod (1A, 1B) k zadírání (obdobně jako u mazadla AP 171). U tohoto druhu mazadla jsou tedy výsledky měření nepříliš uspokojivé jak na povrchu HDG, tak i na HDG + NIT.

7.6. Naměřené hodnoty pro Multidraw E1 (Zeller + Gmelin)

Tab. 7.6.1. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 1$ mm/s

Multidraw E1			
$v = 1$ mm/s		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}}$ [N]	1A	4371,52	3764,89
	1B	2941,52	2783,07
F_{max} [N]	1A	5644,00	3954,11
	1B	4223,81	3087,29
ΔF [N]	1A	2496,95	378,46
	1B	2484,89	579,42

Tab. 7.6.2. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 10$ mm/s

Multidraw E1			
$v = 10$ mm/s		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}}$ [N]	1A	3490,49	3142,24
	1B	2180,57	2286,67
F_{max} [N]	1A	3829,04	3262,65
	1B	2732,51	2610,96
ΔF [N]	1A	540,41	164,10
	1B	313,20	98,94

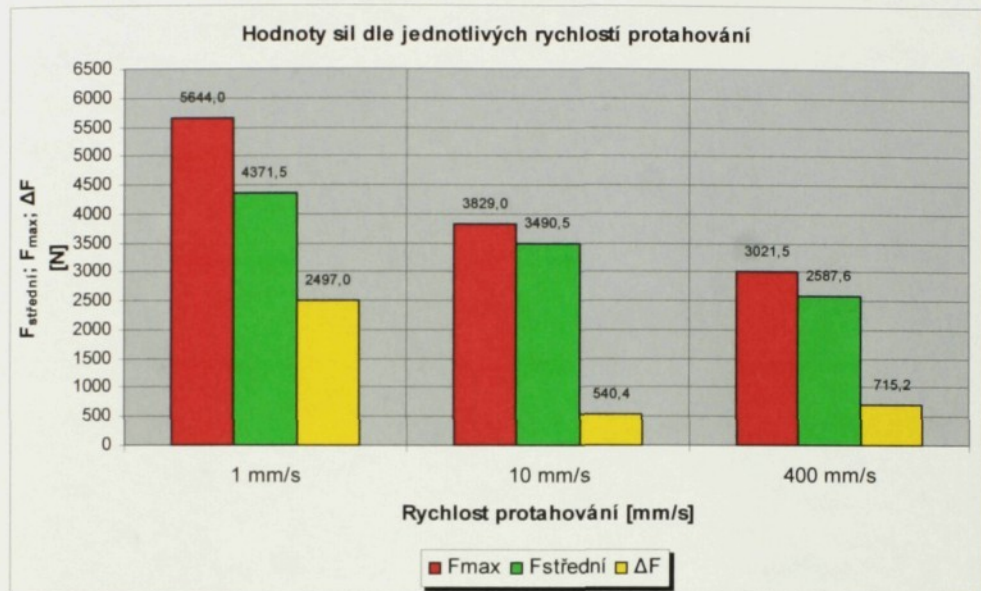
Tab. 7.6.3. Aritmetický průměr naměřených sil při rychlosti protahování $v = 400$ mm/s

Multidraw E1			
$v = 400$ mm/s		HDG	HDG + NIT
$F_{\text{střední}}$ [N]	1A	2587,63	3237,19
	1B	1694,43	2480,01
F_{max} [N]	1A	3021,54	3546,79
	1B	2122,46	2692,74
ΔF [N]	1A	715,19	619,19
	1B	655,78	412,39

7.6.1. Grafické znázornění sil dle použitých povrchů a metod

Multidraw E1: HDG – 1A

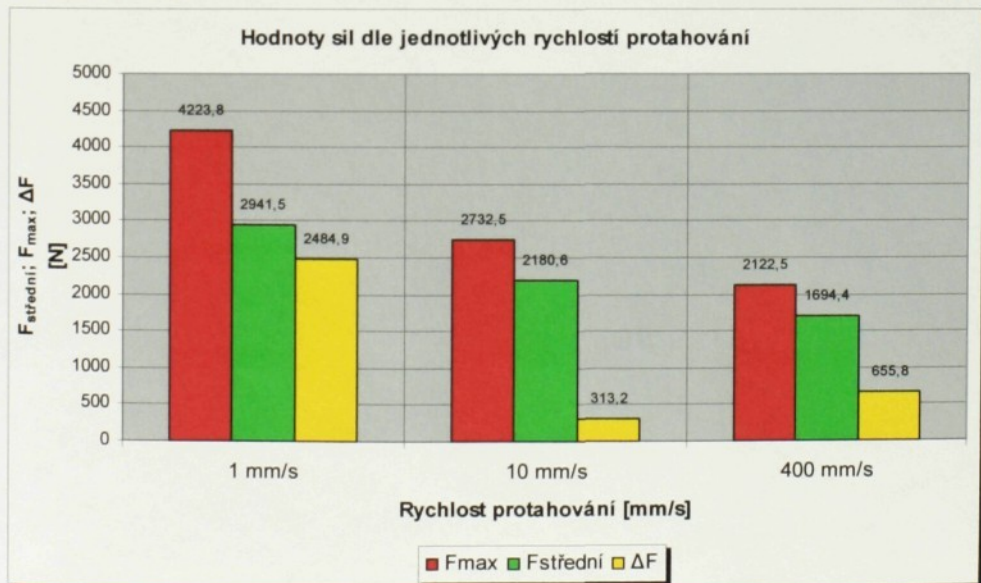
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.6.1.1. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

Multidraw E1: HDG – 1B

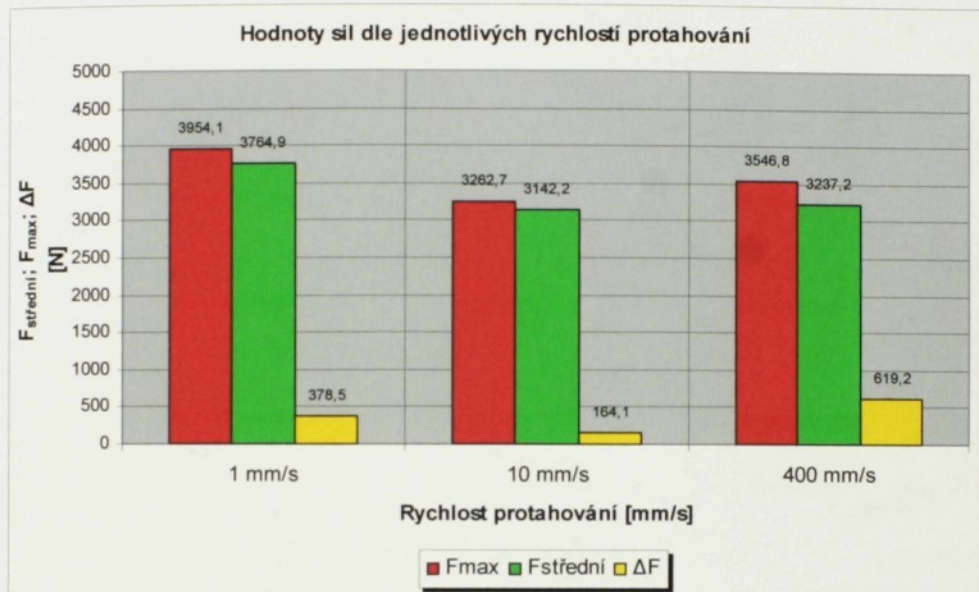
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.6.1.2. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

Multidraw E1: HDG + NIT – 1A

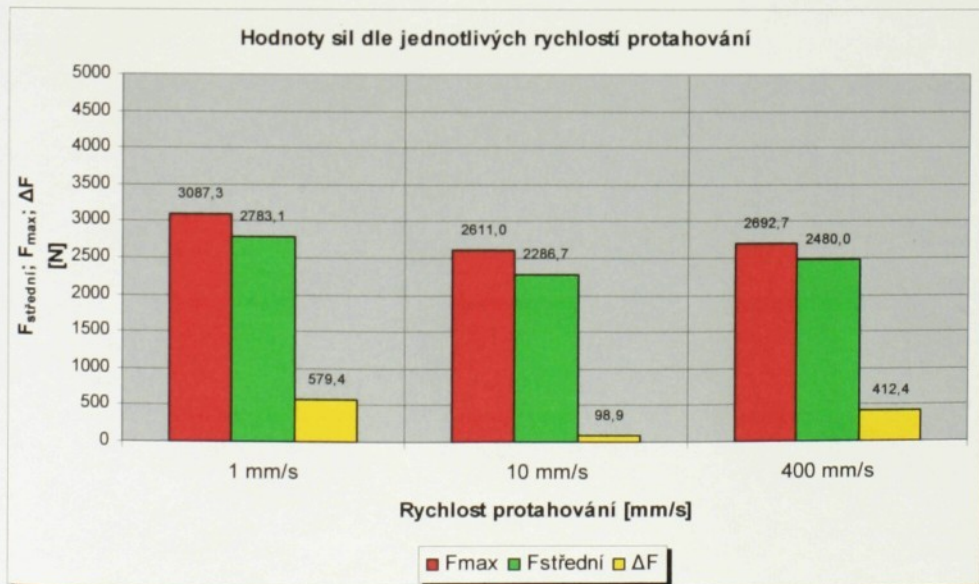
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.6.1.3. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

Multidraw E1: HDG + NIT – 1B

Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.6.1.4. Grafické znázornění velikosti sil na rychlosti protahování pásu

7.6.2. Dílčí výsledky

Firma Zeller + Gmelin dodává na trh mazadlo typu Hotmelt, které nese označení Multidraw E1. Hodnoty získané při tribologickém měření tohoto výrobku jsou do jisté míry srovnatelné s mazadlem AP 171, ale s opačným vztahem k používaným povrchům.

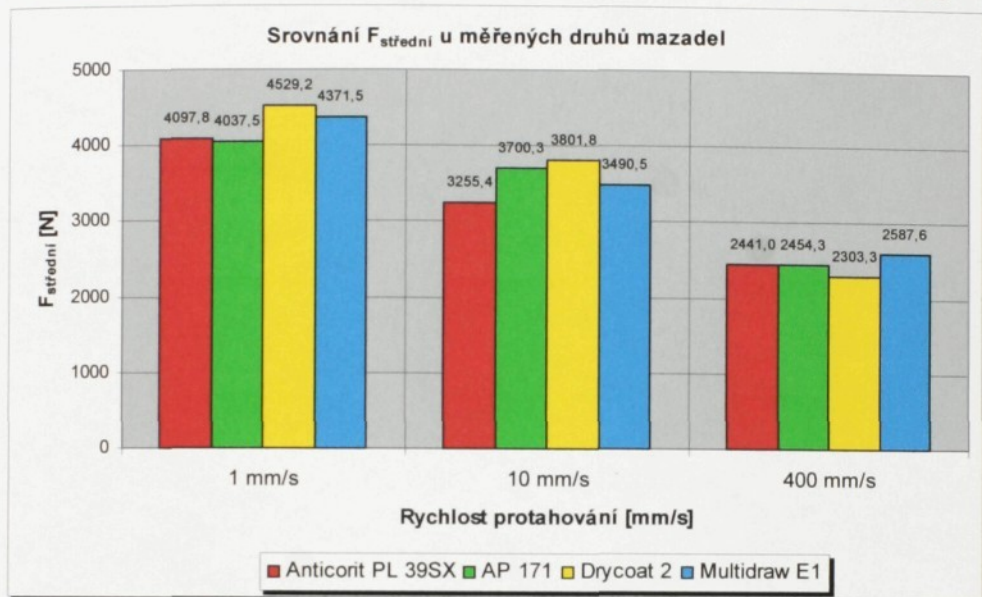
Na substrátu HDG při rychlosti protahování $v = 1$ mm/s byly naměřeny velikosti sil, které jsou srovnatelné spolu s předešlým hodnoceným mazadlem (Drycoat 2) - převyšující 2400 N u obou metod. Je také patrný velký pokles sil $F_{\max}$ mezi rychlostmi $v = 1$ mm/s a 10 mm/s, který představuje 1700 N. U zbylých rychlostí a sil pak docházelo ke snížení hodnot vyhodnocovaných sil a to zhruba o 800 N u obou používaných metod. Jejich minimální velikost přísluší k rychlosti protahování $v = 400$ mm/s.

Při nanesení na povrch HDG + NIT bylo zjištěno několik skutečností, které tento druh mazadla poměrně dobře odlišují od předchozích. V celém měření na tomto substrátu nedocházelo k výraznému zadírání a to ani při rychlosti protahování $v = 1$ mm/s. Tato skutečnost byla již zjištěna u mazadla Anticorit PL 39SX. Je poměrně zajímavé, že i u tohoto mazadla nedocházelo k poklesu hodnot měřených sil v závislosti na rychlosti protahování. Naopak opět hodnoty při rychlosti $v = 400$ mm/s převýšily výsledky získané při rychlosti 10 mm/s. Nabízí se tedy určitá souvislost mezi výsledky na povrchu HDG + NIT ohledně velikosti zadírání a nerespektování trendu zjištěného u předcházejících mazadel (vyjma zmíněného Anticoritu PL 39SX), kterým je snižování získaných velikostí měřených sil se vztahem k rychlosti protahování (mezi rychlostmi $v = 400$ mm/s a 10 mm/s).

7.7. Grafické porovnání mazadel na povrchu HDG

$F_{\text{střední}}$: HDG – 1A

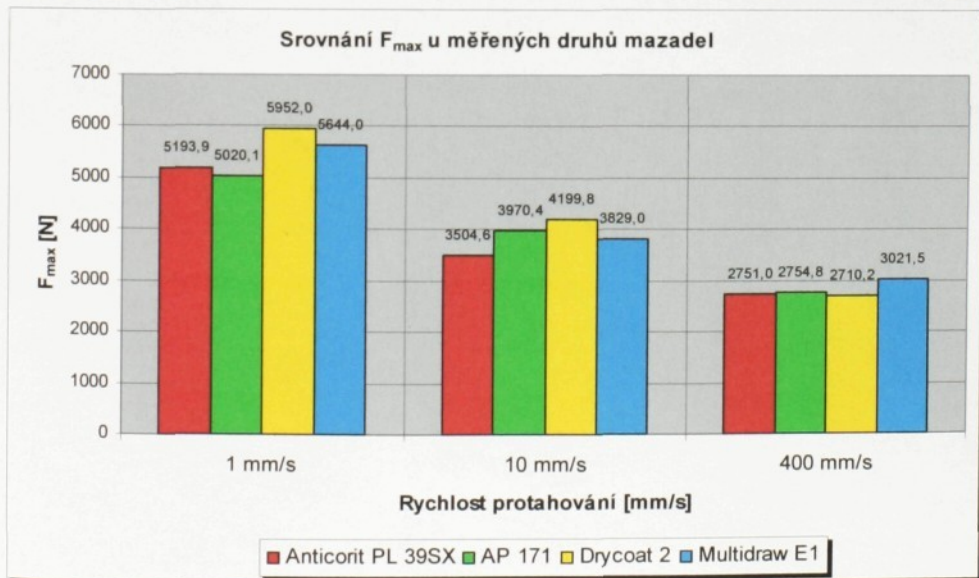
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.7.1. Grafické porovnání $F_{\text{střední}}$ u měřených mazadel podle rychlosti protahování

F_{max} : HDG – 1A

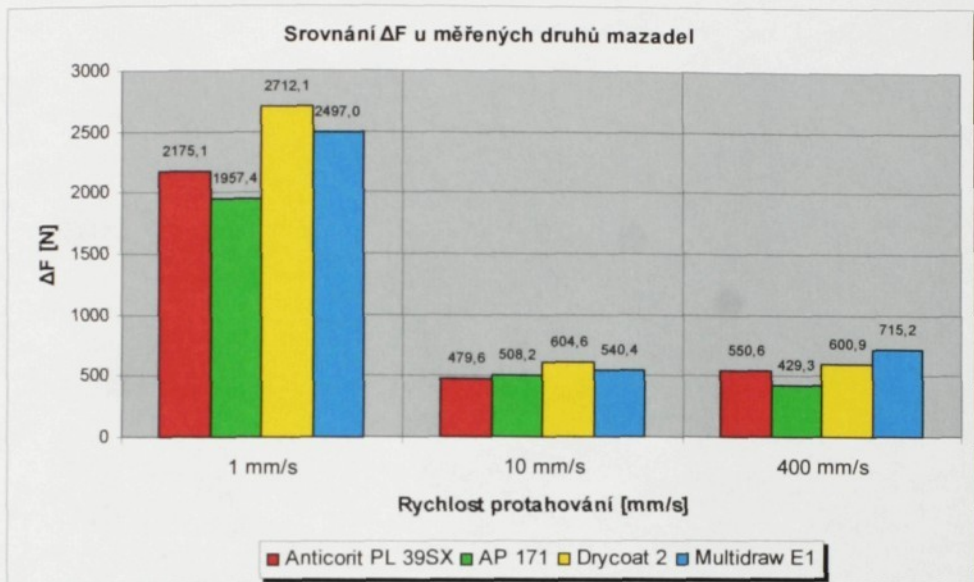
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.7.2. Grafické porovnání F_{max} u měřených mazadel podle rychlosti protahování

ΔF : HDG – 1A

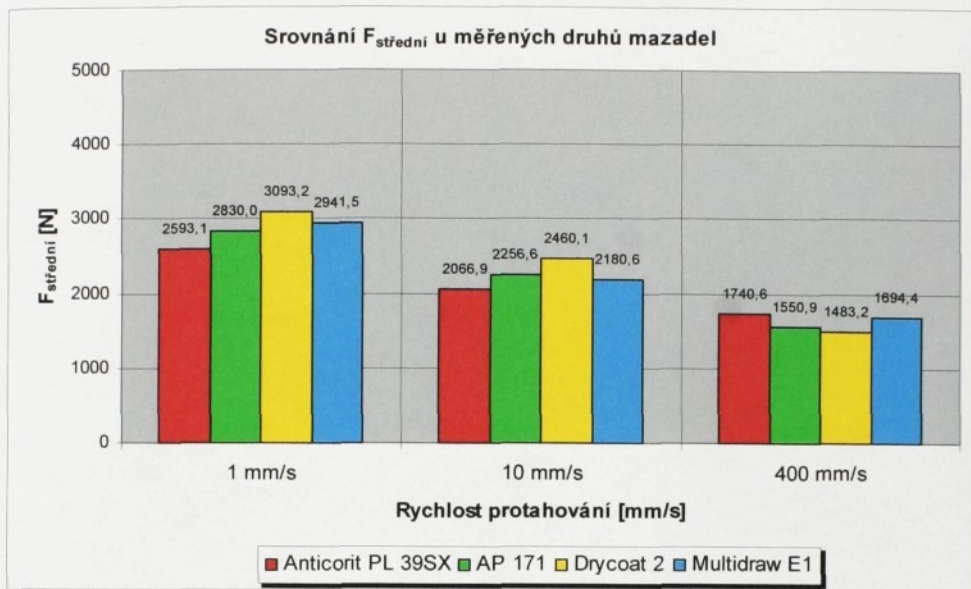
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.7.3. Grafické porovnání ΔF u měřených mazadel podle rychlosti protahování

$F_{\text{střední}}$: HDG – 1B

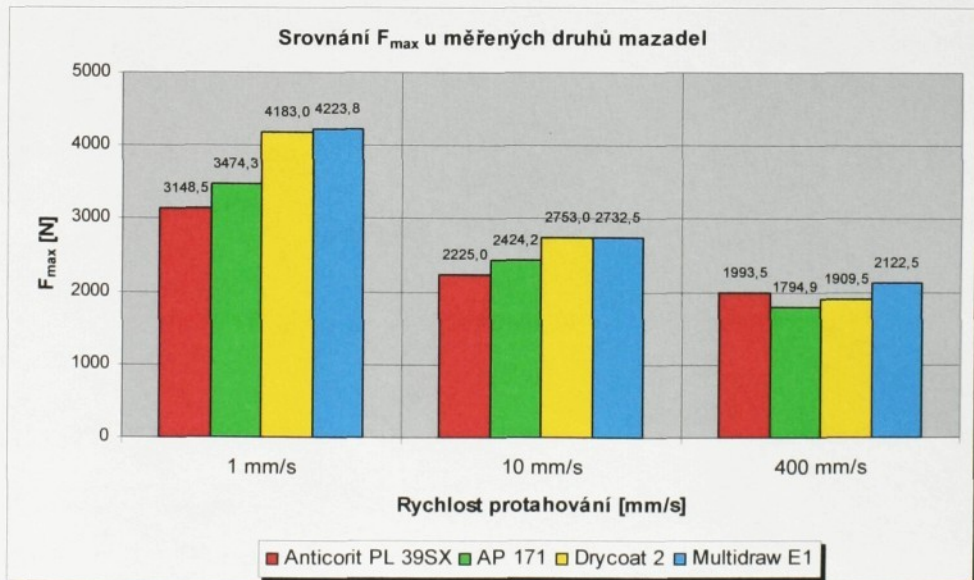
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.7.4. Grafické porovnání $F_{\text{střední}}$ u měřených mazadel podle rychlosti protahování

F_{max} : HDG – 1B

Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$

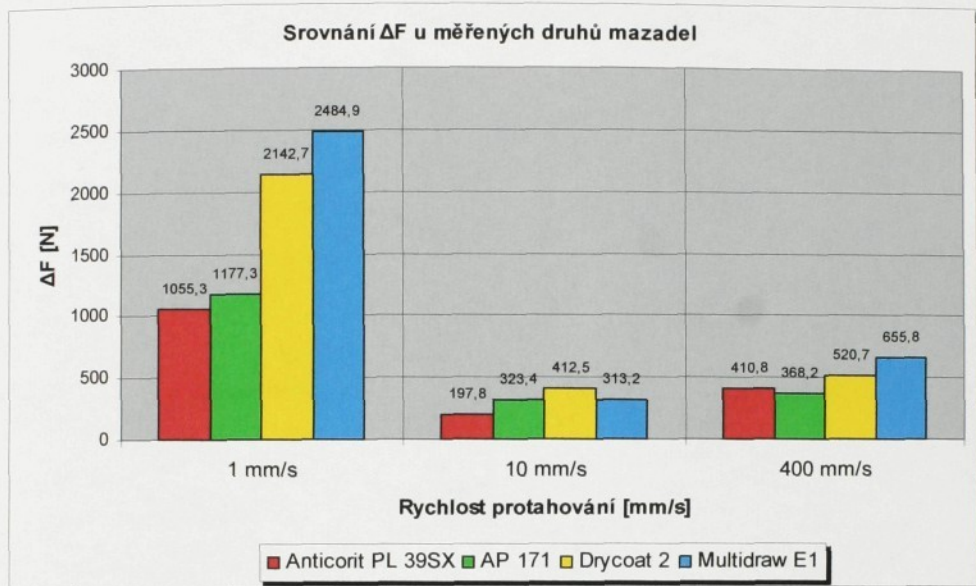


Graf 7.7.5. Grafické porovnání F_{max} u měřených mazadel podle rychlosti protahování



ΔF : HDG – 1B

Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$

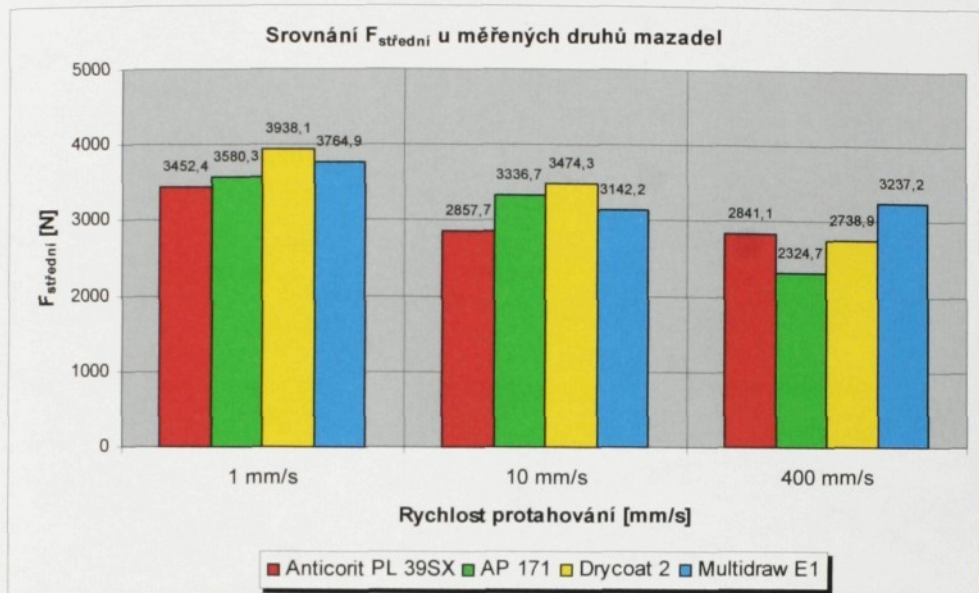


Graf 7.7.6. Grafické porovnání ΔF u měřených mazadel podle rychlosti protahování

7.8. Grafické porovnání mazadel na povrchu HDG + NIT

$F_{\text{střední}}$: HDG + NIT – 1A

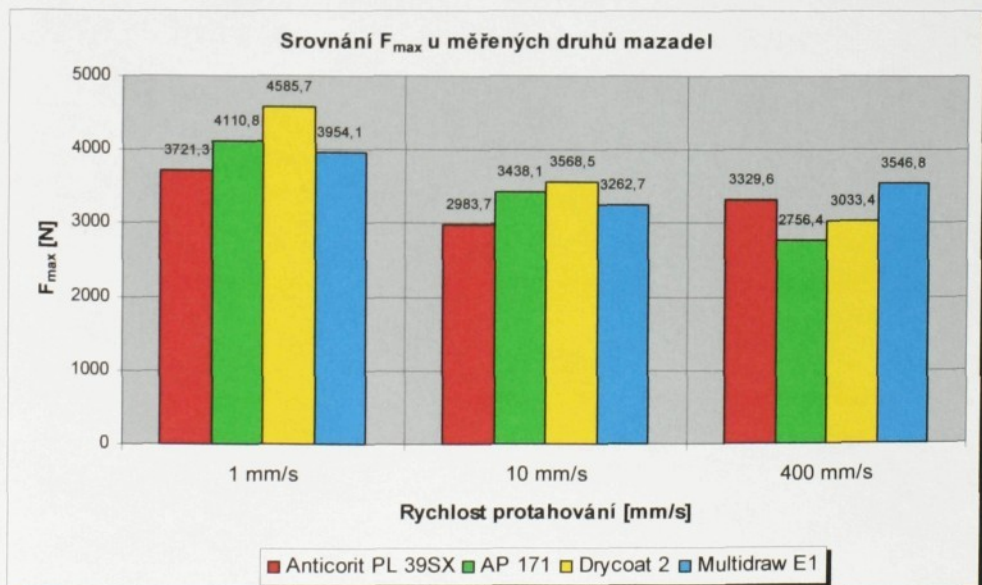
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



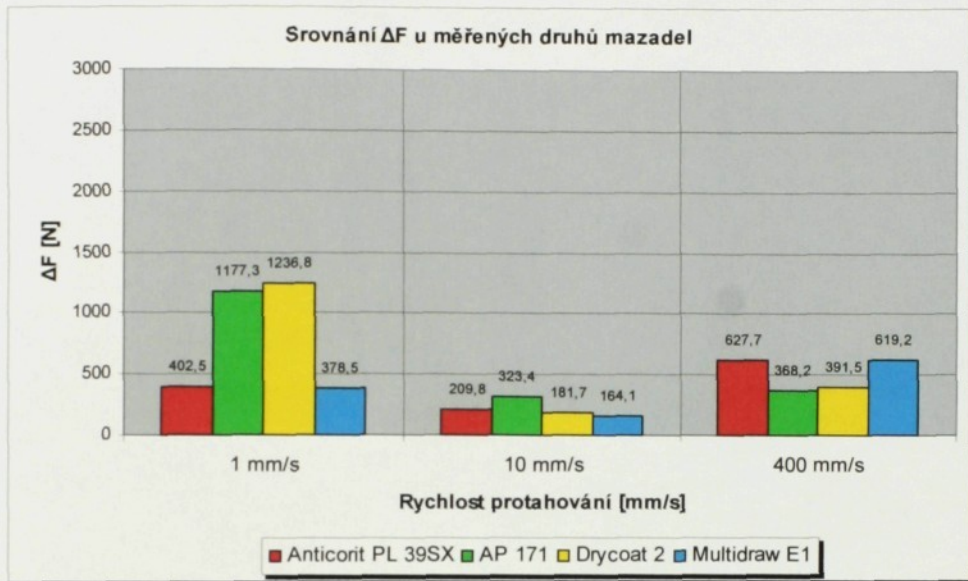
Graf 7.8.1. Grafické porovnání $F_{\text{střední}}$ u měřených mazadel podle rychlosti protahování

F_{max} : HDG + NIT – 1A

Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



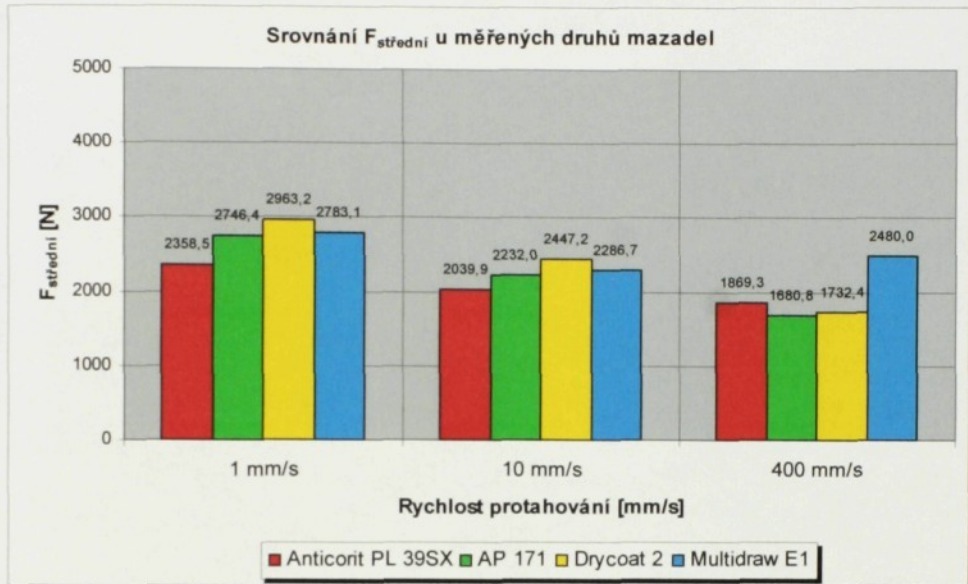
Graf 7.8.2. Grafické porovnání F_{max} u měřených mazadel podle rychlosti protahování

ΔF : HDG + NIT – 1AMnožství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$ 

Graf 7.8.3. Grafické porovnání ΔF u měřených mazadel podle rychlosti protahování

$F_{\text{střední}}$: HDG + NIT – 1B

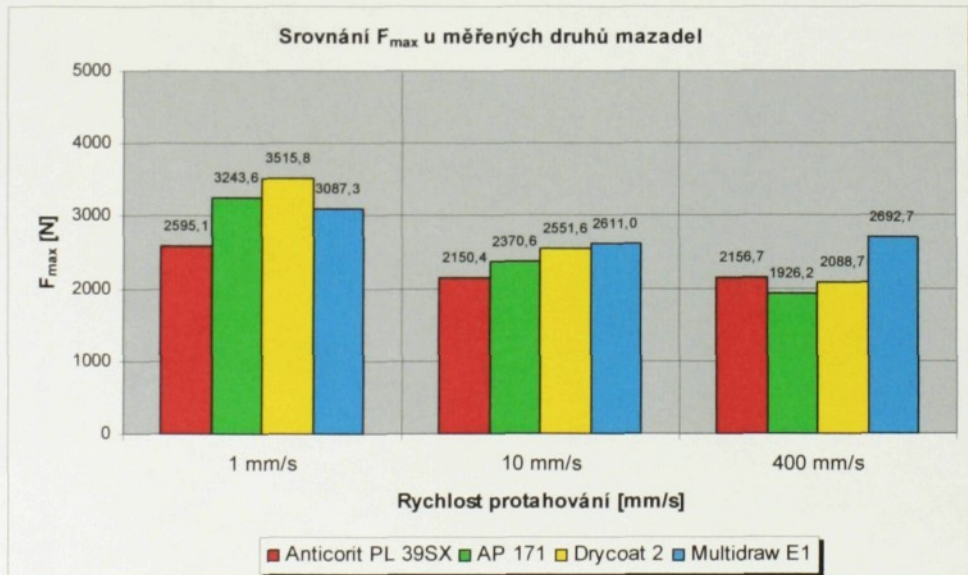
Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.8.4. Grafické porovnání $F_{\text{střední}}$ u měřených mazadel podle rychlosti protahování

F_{max} : HDG + NIT – 1B

Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$

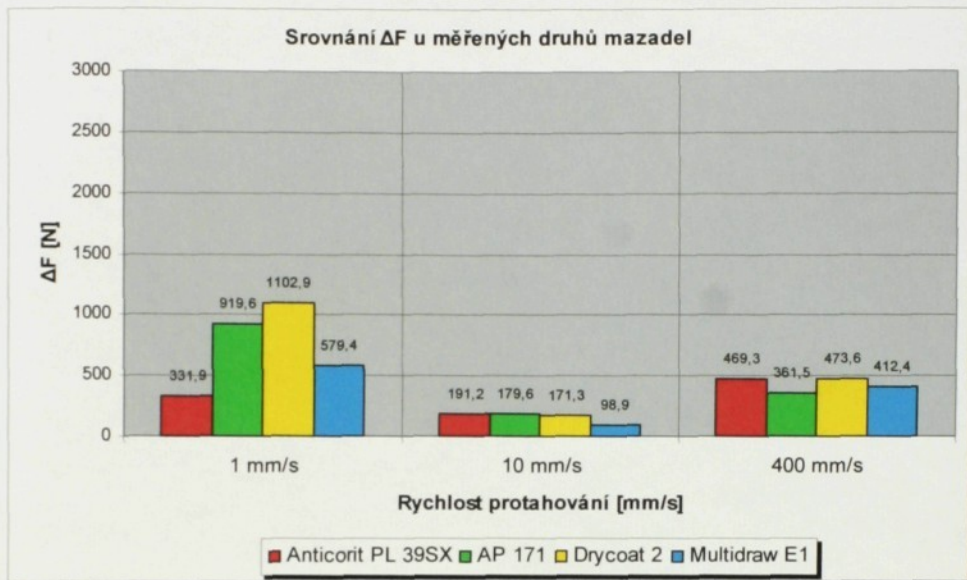


Graf 7.8.5. Grafické porovnání F_{max} u měřených mazadel podle rychlosti protahování



ΔF : HDG + NIT – 1B

Množství: $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$



Graf 7.8.6. Grafické porovnání ΔF u měřených mazadel podle rychlosti protahování

7.9. Rozbor výsledků zjištěných při porovnávání mazadel

Stejně jako u vyhodnocování výsledků u jednotlivých mazadel i zde se jako výhodné jeví opět rozdělit vyhodnocení dle používaných substrátů: HDG a HDG + NIT.

Srovnáme-li dosažené výsledky na povrchu HDG, zjistíme, že při nejnižší rychlosti protahování ($v = 1 \text{ mm/s}$) docházelo k zadírání u všech posuzovaných mazadel při použití obou metod. Určité rozdíly jsou však patrné ve velikosti hodnot sil nutných k protažení pásku u principu 1B. Zde se vytvořily dvě skupiny mazadel. První tvoří Anticorit PL 39SX spolu s AP 171, u kterých se pohybuje hodnota ΔF okolo 1000 N. Pro zbylá dvě měřená mazadla (Drycoat 2 a Multidraw E1) pak dosahuje stejné kritérium dvojnásobku první skupiny. Při měření u dalších dvou použitých rychlostí protahování ($v = 10 \text{ mm/s}$ a 400 mm/s) pak k žádnému podstatnému zadírání již nedocházelo ani u jednoho z mazadel. Lze tedy konstatovat, že za vyšších rychlostí klesá velikost nežádoucího zadírání. Porovnáme-li velikosti zjištěných sil v závislosti na rychlosti protahování, dospějeme k závěru, že při zvyšování rychlosti dochází na tomto povrchu ke snižování hodnot těchto sil. V experimentu maximální používaná rychlost protahování ($v = 400 \text{ mm/s}$) je hodnotou, které se v běžném lisování dosahuje jen u moderních lisovacích nástrojů. Její používání totiž klade velké nároky nejen na lisovací nástroj, ale i na dobré zvládnutí samotného procesu tažení výlisků.

Při nanesení srovnávaných mazadel na povrch HDG + NIT bylo při použití metody 1A dosaženo u první rychlosti protahování ($v = 1 \text{ mm/s}$) hodnot posuzovaných sil, které jsou zhruba o 400 N nižší než při jejich měření na povrchu HDG. U zbylých dvou rychlostí jsou již hodnoty obdobné nebo také vyšší (v případě rychlosti 400 mm/s). Tato skutečnost může poukazovat na nedostatečnou schopnost maziv odolávat tlakům na povrchu HDG + NIT při extrémních rychlostech. Z hlediska výskytu zadírání se dají při nejnižší měřené rychlosti protahování i zde rozdělit srovnávaná mazadla do dvou hlavních skupin. První představuje oblast mazadel, u kterých ani při této malé rychlosti protahování k výraznému zadírání nedocházelo – Anticorit PL 39SX a Multidraw E1. Naopak u mazadel AP 171 a Drycoat 2 k tomuto nežádoucímu jevu při této rychlosti docházelo. Zvýšením rychlosti se výskyt zadírání omezil. Poměrně zajímavé srovnání nabízí pohled na velikosti sil v závislosti na použité rychlosti protahování, kde platí stejné rozdělení na dvě skupiny jako u zadírání. U mazadel, u kterých se výrazné zadírání neprojevovalo při minimální rychlosti protahování ($v = 1 \text{ mm/s}$), převyšují získané hodnoty sil při $v = 400 \text{ mm/s}$ výsledky získané při předcházející měřené rychlosti ($v = 10 \text{ mm/s}$). Vlastní průběh této závislosti pak vykazuje konkávní tvar s určitou minimální hodnotou sil nutných k protažení při rychlosti $v = 10 \text{ mm/s}$.

8. Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení používání pevných a polotuhých mazadel v sériové výrobě při lisování výlisků karosářského typu. Tomuto faktu byla také přizpůsobena experimentální část této práce, která zjišťovala tribologické vlastnosti čtyř vybraných druhů mazadel typu Hotmelt od různých výrobců.

Nosným substrátem byly dva typy hlubokotažných plechů, jichž se užívá v automobilovém průmyslu – konkrétně se jednalo o žárově pozinkované plechy (HDG) a pro srovnání plechy žárově pozinkované s mikrofosfátem (HDG + NIT). K posouzení tribologických vlastností mazadel bylo použito zkoušky ve smyslu kapitoly 6. Jednalo se tedy o modelování tření mezi přidržovačem, tažnicí a tažnou hranou (1A) a mezi přidržovačem a tažnicí (1B). Hodnocení výsledků bylo provedeno dle kapitoly 7.1. a 7.2. a jako měřítko k porovnání mazadel sloužily registrační záznamy sil nutných k protažení pásku zkušebními čelistmi. K nanášení požadovaného množství se používalo textilie a velikost množství představovala $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$. Pro měření byly použity tři rychlosti protahování: $v = 1 \text{ mm/s}$, 10 mm/s a 400 mm/s . Používání poslední rychlosti umožňovala instalace nového zařízení pro tribologické zkoušky. Je nutno poznamenat, že zatím nebyla tato rychlost u těchto druhů mazadel zkoušena, což činí tuto práci do jisté míry průkopnickou. Kontaktní tlak mezi materiálem čelistí a zkušebním vzorkem byl pro všechna měření nastaven na konstantní hodnotu 4 MPa . Také teplota čelistí byla pro celý rozsah experimentu stanovena jako neměnná a sice $40 \pm 2^\circ\text{C}$. Na základě výsledků měření (sepsaných v kapitole 7), praktických i teoretických poznatků z oblasti tažení výlisků, lze učinit určité závěry.

Z hlediska smyslu používání mazadel je zřejmé, že cílem je možná co největší snížení pasivních odporů při posuvech tvářeného plechu a to zejména v oblasti přidržovače a tažné hrany tažnice. Tato snaha ve svých důsledcích vede ke snížení celkové síly potřebné při tažení a tím i k poklesu napětí a deformace v kritických místech výlisku. Nežádoucí skutečnosti v průběhu samotného tažení je výskyt jevu označovaného jako zadírání. Mazadlo plní svoji funkci tím hůře, čím se zadírání objevuje při nižších kontaktních tlacích nebo při vyšší rychlosti protahování. Dalším nepříznivým jevem je případ rychlého nárůstu síly na $F_{\max}$ v náběhové části, tedy v počátku tažení resp. zkoušení. Při posuzování mazadel právě z hlediska náběhu síly se musí brát v úvahu tvar, velikost a složitost výlisků. U výlisků náročných na výrobu se vyžaduje mazadlo s postupným náběhem síly, jinak může docházet k roztrhání mazacího filmu při kontaktu nástroje s plechem. Snahou je tedy postupné zatěžování mazadla. U jednoduchých výlisků již není kladen takový důraz na postupný náběh síly.

Dle zhodnocení jednotlivých měřených mazadel a jejich vzájemného srovnání je možno konstatovat:

Mazadlo **Anticorit PL 39SX** se ze všech sledovaných mazadel jevílo jako poměrně vhodné pro používání při lisování. K zadírání při jeho použití docházelo pouze na povrchu HDG při nejnižší rychlosti protahování. Velikost ΔF patřila mezi sledovanými mazadly k nižším (2000 N u varianty 1A a 1000 N u varianty 1B). Naopak při měření na substrátu HDG + NIT k výskytu tohoto nežádoucího jevu téměř nedocházelo v celém rozsahu rychlostí. Na tomto povrchu u varianty 1A vykazovalo mazadlo jev, kdy hodnoty naměřené při maximální rychlosti protahování ($v = 400$ mm/s) byly větší než při rychlosti $v = 10$ mm/s. Tato skutečnost by však neměla být limitujícím faktorem tohoto mazadla. Lze konstatovat, že použití mazadla Anticorit PL 39SX je výhodné vůči oběma použitým povrchům.

Mazadlo **AP 171** se při malých rychlostech protahování zadíralo na obou typech povrchů. Za vyšších rychlostí byl tento jev minimální ($\Delta F \approx 400$ N). Výskyt zadírání nejen na povrchu HDG, ale i na HDG + NIT je pravděpodobně způsoben vhodností mazadla pouze pro konkrétní povrchy plechů. Lze konstatovat, že jeho výsledky na povrchu HDG + NIT jsou nedostačující. Ostatní měřené hodnoty ($F_{\max}$ a $F_{\text{střední}}$) a jejich závislost na rychlosti protahování již nevykazovaly žádné velké odchylky od ostatních mazadel.

Mazadlo **Drycoat 2** prokázalo v mnoha bodech výsledky, které jej zařadily na konec celého srovnávaného pole mazadel. Vykazovalo největší hodnoty sil při většině kombinací rychlostí s použitými metodami měření a také velikost zadírání patřila k nejvyšším. U metody HDG – 1A + 1B pak byly hodnoty zadírání značné oproti ostatním mazadlům a velikost zadírání na substrátu HDG + NIT byla největší ze všech srovnávaných mazadel. U obou metod přesáhla jeho hodnota 1000 N. Všechna tato fakta je třeba zvážit při použití tohoto mazadla v sériové výrobě.

Poslední použité mazadlo – **Multidraw E1** vykazovalo velice zajímavé výsledky a to jak kladné tak i záporné. Při použití na povrchu HDG byla hodnota zadírání při minimální rychlosti protahování srovnatelná s předešlým hodnoceným mazadlem – tedy > 2000 N (u obou použitých variant). Naopak na povrchu HDG + NIT k výraznému zadírání nedocházelo v celém rozsahu experimentu. Závislost sil dle použitých rychlostí vykazovala skutečnost, kterou jsme již mohli zjistit u mazadla Anticorit PL 39SX. Tedy nárůstem sil při maximální rychlosti protahování. Tato skutečnost může svědčit o určité chemické podobnosti obou výrobků. Toto mazadlo se však odlišuje faktem, že je mnohem více vhodné pro povrch HDG + NIT než HDG. Jeho chování je tedy podobné AP 171, ale s opačným vztahem k povrchům.

Nejzajímavějším výsledkem experimentu byla souvislost mezi použitými mazadly typu Hotmelt na povrchu HDG + NIT s ohledem na výskyt zadírání, protože oba tyto prvky tribologického systému jsou produkty, které se vyvíjí za účelem tento nežádoucí jev eliminovat. Dle naměřených hodnot se ukazuje, že použití povrchu HDG + NIT spolu s mazadlem typu Hotmelt problém zadírání sice zcela nevyřeší, je ale patrné jeho potlačování u dvou ze čtyř sledovaných produktů (Anticorit PL 39SX a Multidraw E1).

Tato práce však pouze nehodnotila tribologické výsledky posuzovaných mazadel, ale snahou bylo i poukázat na problematiku širšího používání tohoto druhu mazadel při lisování výlisků karosářského typu. Zhodnocení jejich používání z hlediska procesního hodnocení bylo sepsáno v kapitole 5.2. Z tohoto hlediska je důležité posuzovat používání mazadel typu Hotmelt dle komplexního přístupu zahrnujícího aspekty celého výrobního procesu. Oblast zpracování ocelových plechů dnes spočívá v již poměrně ustálených postupech, které na sebe cíleně navazují. Proto je jakýkoli zásah do průběhu zpracování ocelových plechů problematický. Domnívám se, že právě poměrně značné přehodnocení procesu lisování v automobilovém průmyslu je v současnosti největší omezující podmínkou nasazení těchto mazadel do výroby. Přesto jsou představitelé této skupiny mazadel do budoucna slibným příslibem pro snahu neustále vylepšovat, zkvalitňovat a zlevňovat výrobu v automobilovém průmyslu.

Na závěr bych rád uvedl několik doporučení, které rozšíří poznání při používání mazadel typu Hotmelt jako součásti tribologického systému.

- Provést proměření v širší závislosti na rychlosti protahování (např. i pro $v = 50$ mm/s nebo $v = 100$ mm/s).
- Použít při měření větší rozsah přidržovacích tlaků (jako dalšího faktoru, který spolu s rychlostí protahování simuluje extrémní podmínky při tažení).
- Zjistit chování tohoto druhu mazadel za zvýšených teplot.
- Pro lepší hodnocení vhodnosti mazadel pro lisování by bylo dobré znát typy výlisků, pro které jsou testována.
- Ověřit vliv morfologie povrchu plechu na chování tohoto druhu mazadel během lisování.
- Zjistit tribologické chování (hlavně s ohledem na výskyt zadírání) materiálů s povrchem HDG + NIT a to bez přítomnosti mazadla.
- Vyzkoušet možné kombinace těchto mazadel, které by mohly vést až k synergickému efektu.



9. Seznam literatury

- [1] MARCINIAK, Z. : Teorie tváření plechů, SNTL Praha 1964
- [2] BAREŠ, K. a kol. : Lisování, SNTL Praha 1971
- [3] BILLY, J. : Trendy vývoja ocelových plechov pre ľahké automobilové konštrukcie, Hutnícké listy č.3, 1999, s. 19–24
- [4] TMĚJ, J.-MIKEŠ, V. : Teorie tváření, skripta VŠST, Liberec 1990
- [5] SOLFRONK, P. : Vliv morfologie povrchu plechů na rozvoj deformace, Disertační práce, TU v Liberci, 2002
- [6] BREDEL, H. a kol. : Tribotechnika, SNTL Praha 1984
- [7] BLAŠKOVIČ, P.-BALLA, J.-DZIMKO, M. : Tribológia, ALFA Bratislava, 1990
- [8] ŠTĚPINA, V.-VESELÝ, V. : Maziva v tribologii, VEDA Bratislava, 1985
- [9] ŠAFR, E. : Technika mazání, SNTL Praha 1970
- [10] DORINSON, A.-LUDEMA, K.C. : Mechanics and chemistry in lubrication, Elsevier Amsterdam, 1985
- [11] JONÁŠ, V. : Vliv teploty na tribologické vlastnosti mazadel používaných při tažení výlisků, Diplomová práce TU v Liberci, 2002
- [12] www.fuchs-oil.com
- [13] www.pfinder.de
- [14] www.quakerchem.com
- [15] www.zeller-gmelin.de
- [16] VLK, F. : Karoserie motorových vozidel, VLK, 2000
- [17] KREIBICH, V.-HOCH, K. : Koroze a technologie povrchových úprav, skripta ČVUT, Praha 1991
- [18] KUNCIPÁL, J. : Teorie svařování, SNTL Praha 1986
- [19] Materiálové listy firem Fuchs, Pfinder, Quaker a Zeller+Gmelin



10. Seznam příloh

1. Výstupní protokoly měřených mazadel
2. Grafické znázornění výsledků dle jednotlivých zkoušek (na přiloženém CD)
3. Technické informace k mazadlu Anticorit PL 39SX (na přiloženém CD)
4. Technické informace k mazadlu AP 171 (na přiloženém CD)
5. Technické informace k mazadlu Drycoat 2 (na přiloženém CD)
6. Technické informace k mazadlu Multidraw E1 (na přiloženém CD)

Příloha č.1

Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

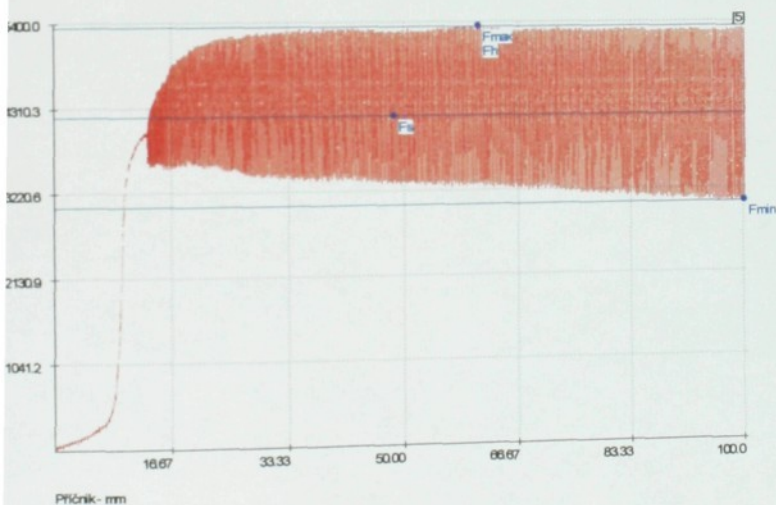
kouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

uvané mazadlo :	Anticorit PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
stvi mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s
vaný substrát :	HDG	Varianta :	1A
ost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
riál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
sktní tlak :	4 MPa	]	

Výstupní hodnoty

ka	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
	4995.0	4048.2	3101.4	4995.0	1893.6
	5265.1	4130.8	2996.5	5265.1	2268.6
	5216.8	4071.1	2999.0	5143.3	2144.2
	5275.8	4144.1	3012.4	5275.8	2263.4
	5337.9	4188.3	3038.8	5337.9	2299.2
	5129.8	4057.4	2988.2	5126.6	2138.4
	5144.5	4088.6	3032.7	5144.5	2111.9
	5074.9	4004.5	2934.1	5074.9	2140.8
	5305.3	4147.4	2989.4	5305.3	2315.8
	5193.9	4097.8	3010.3	5185.4	2175.1
	114.96	58.60	45.63	115.94	131.57



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

kouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

vané mazadlo :	Anticorit PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
stvi mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	10 mm/s
vaný substrát :	HDG	Varianta :	1A
ost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
ái nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
uktní tlak :	4 MPa	]	

Výstupní hodnoty

	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
	4059.2	3706.5	3353.8	4059.2	705.4
	3498.5	3323.0	3147.4	3498.5	351.1
	3543.0	3340.4	3137.7	3543.0	405.3
	3485.1	3149.4	2813.7	3485.1	671.4
	3488.7	3154.0	2819.2	3488.7	669.4
	3194.2	2899.1	2604.0	3194.2	590.2
	3486.6	3308.9	3131.2	3486.6	355.4
	3051.8	2890.7	2669.6	3051.8	382.2
	3669.4	3410.9	3246.1	3575.7	329.6
	3569.1	3401.3	3233.6	3569.1	335.6
	3504.6	3255.4	3015.6	3495.2	479.6
	267.23	251.18	264.39	262.40	158.55



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

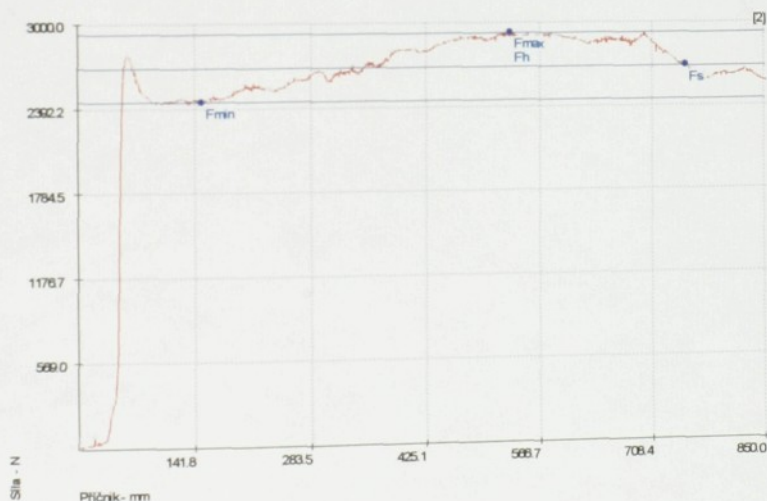
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Anticorit PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Re=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GCG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2617.6	2323.4	2029.2	2617.6	588.4
2	2922.9	2679.7	2436.6	2922.9	486.3
3	2439.5	1896.6	1643.0	2150.1	507.0
4	2649.3	2404.1	2159.0	2649.3	490.3
5	2842.4	2540.5	2238.6	2842.4	603.9
6	3015.6	2612.4	2209.3	3015.6	806.3
7	3380.0	2995.3	2610.7	3380.0	769.3
8	2332.2	2140.4	1971.7	2309.2	337.5
9	2559.5	2376.4	2193.3	2559.5	366.3
x	2751.0	2441.0	2165.7	2716.3	550.6
s	324.19	318.14	275.87	373.14	160.69



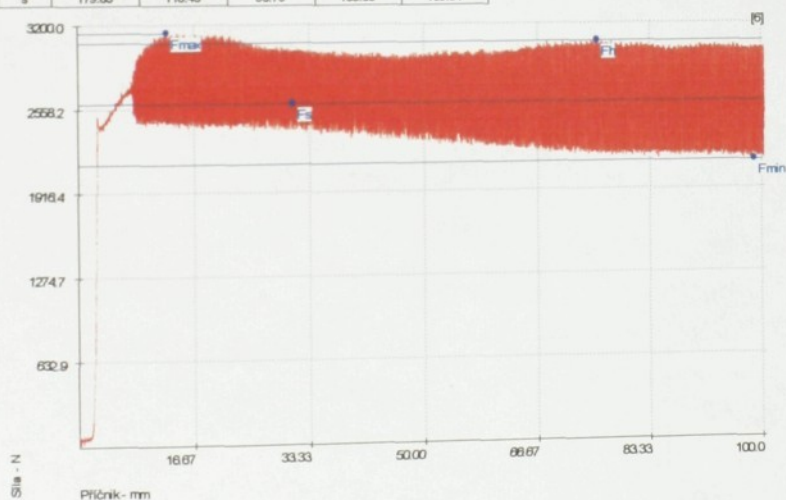
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Anticorit PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s	
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1B	
Drsnost substrátu :	Re=1,07/1,11 mic	PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2959.3	2444.0	1928.7	2959.3	1030.6
2	2832.6	2371.3	1967.1	2775.6	806.5
3	3013.6	2615.6	2217.6	3013.6	796.0
4	3137.7	2523.3	1981.7	3065.0	1083.4
5	3257.7	2666.8	2075.9	3257.7	1181.9
6	3136.6	2594.7	2130.6	3058.8	928.2
7	3432.3	2757.3	2152.0	3362.5	1210.5
8	3331.2	2718.0	2104.8	3331.2	1226.5
9	3131.3	2618.7	2106.0	3131.3	1025.3
10	3252.6	2621.6	1990.7	3252.6	1261.9
x	3148.5	2593.1	2065.5	3120.8	1055.3
s	179.83	118.43	93.79	183.38	169.54



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

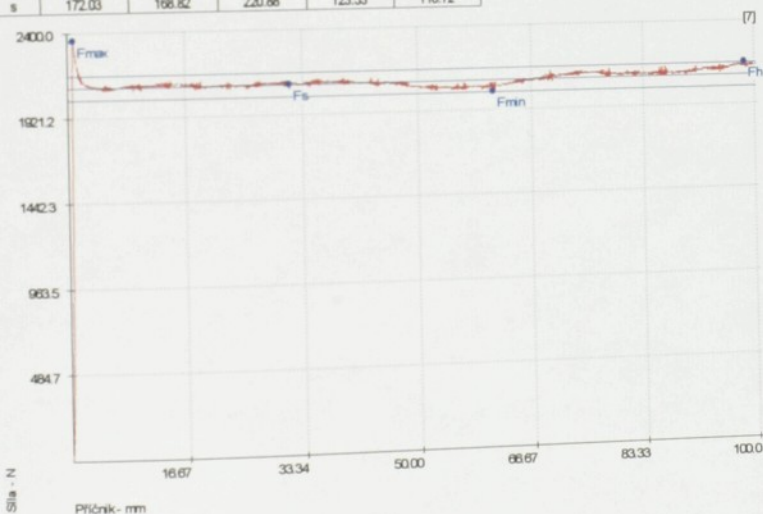
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Používané mazadlo :	Anticorit PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Používané mazadlo :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Používaný substrát :	HDG	Varianta :	1B
Tvrdost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	] :	

Výstupní hodnoty

Pouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2103.8	1973.1	1842.4	2103.8	261.4
2	2456.4	2115.5	2053.4	2177.6	124.2
3	2071.0	1959.4	1847.9	2071.0	223.1
4	2015.0	1855.2	1695.4	2015.0	319.6
5	2142.0	2060.0	1977.9	2142.0	164.1
6	2314.0	2167.4	2080.0	2254.7	174.7
7	2351.8	2088.7	2021.3	2156.2	134.9
8	2192.9	2117.9	2042.9	2192.9	149.9
9	1936.4	1676.7	1417.0	1936.4	519.4
10	2377.9	2263.9	2149.8	2377.9	228.2
x	2196.1	2027.8	1912.8	2142.7	229.9
s	172.03	168.82	220.86	123.53	118.72



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologi

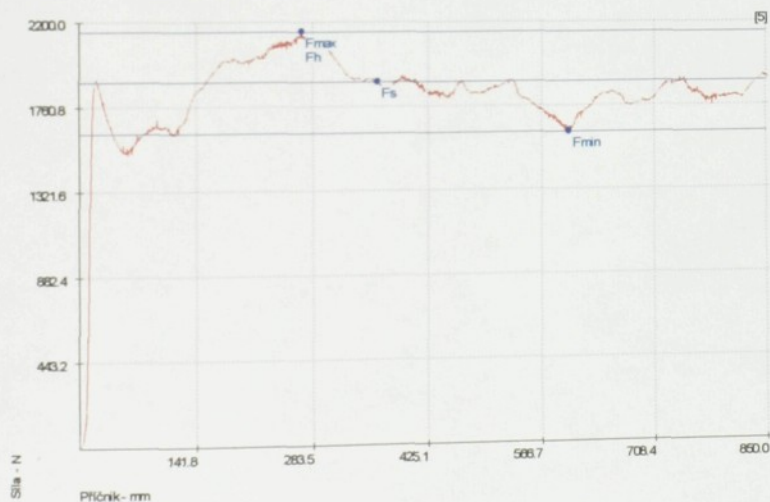
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Anticorit PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Variante :	1B
Drsnost substrátu :	Re=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	2156.6	1958.0	1759.5	2156.6	397.1
2	1877.3	1598.0	1424.5	1771.6	347.1
3	1834.4	1637.0	1439.6	1834.4	394.7
4	1919.1	1702.1	1485.1	1919.1	434.1
5	2148.7	1884.5	1620.3	2148.7	528.4
6	2247.3	1825.8	1678.5	1973.0	294.6
7	1972.8	1746.7	1520.6	1972.8	452.1
8	1791.9	1572.6	1353.3	1791.9	438.5
x	1983.5	1740.6	1535.2	1946.0	410.8
s	169.26	139.40	139.00	148.44	70.57



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

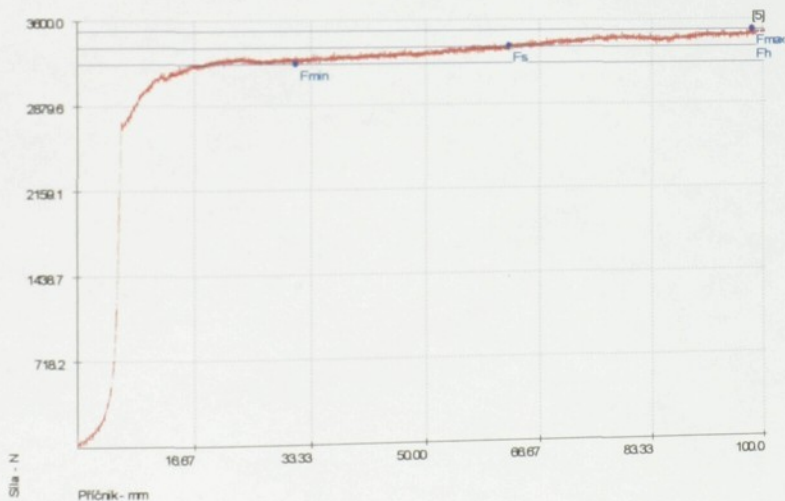
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Anticoril PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=88/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	3860.4	3300.8	3223.0	3378.6	155.6
2	3637.5	3406.0	3174.5	3637.5	463.0
3	3815.8	3649.6	3483.4	3815.8	332.4
4	3800.9	3557.7	3314.4	3800.9	486.5
5	3507.3	3367.2	3227.2	3507.3	280.1
6	3630.3	3501.8	3373.4	3630.3	256.9
7	3471.4	3304.5	3197.9	3411.1	213.3
8	4046.5	3530.8	3015.1	4046.5	1031.4
x	3721.3	3452.3	3251.1	3653.5	402.4
s	194.17	126.95	140.74	226.46	278.79



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

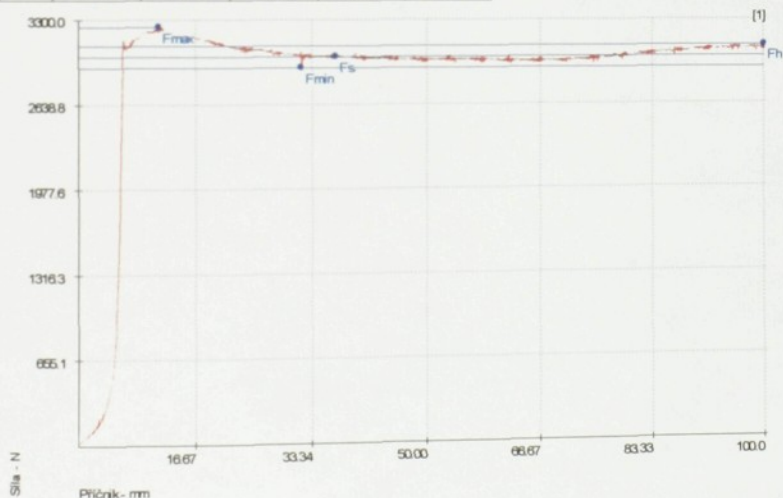
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Anticoril PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	NiTi	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Re=0,97/1,10 mic PC=88/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	3242.0	3006.5	2923.3	3093.8	170.5
2	2906.2	2825.3	2744.3	2906.2	161.9
3	3072.7	2982.1	2891.5	3072.7	181.2
4	3140.3	3061.1	2961.9	3140.3	158.4
5	3120.3	2998.4	2938.9	3057.9	119.1
6	2991.0	2870.3	2749.6	2991.0	241.4
7	2743.1	2580.7	2418.4	2743.1	324.7
8	2879.0	2695.8	2512.7	2879.0	366.3
9	2893.0	2793.9	2694.9	2893.0	198.1
10	2848.8	2760.7	2672.5	2848.8	176.3
x	2963.6	2867.7	2752.8	2962.6	209.8
s	156.06	155.28	187.02	127.78	78.51



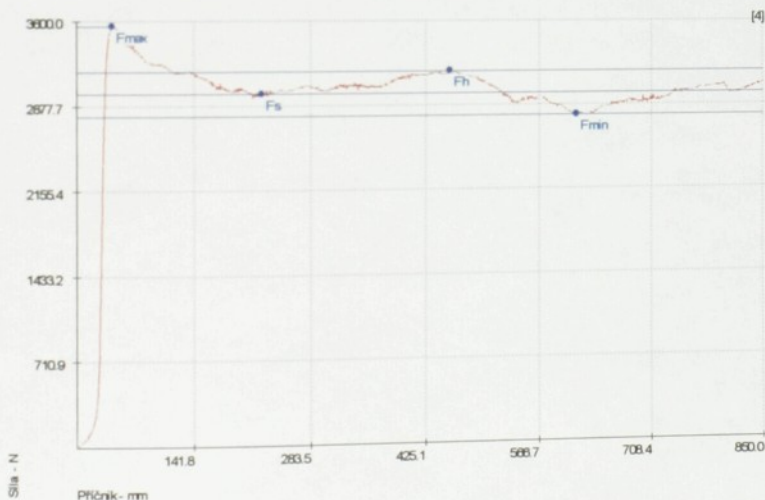
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Anticoril PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	3235.0	2886.5	2538.0	3235.0	697.0
2	3422.3	3129.6	2837.0	3422.3	585.2
3	3171.2	2871.9	2451.3	2892.6	441.3
4	3555.6	2976.2	2785.1	3167.4	382.4
5	2859.2	2096.7	1714.7	2478.7	763.9
6	3733.6	3285.5	2837.3	3733.6	896.3
x	3329.5	2841.1	2527.2	3154.9	627.7
s	309.26	420.42	430.02	433.38	196.09



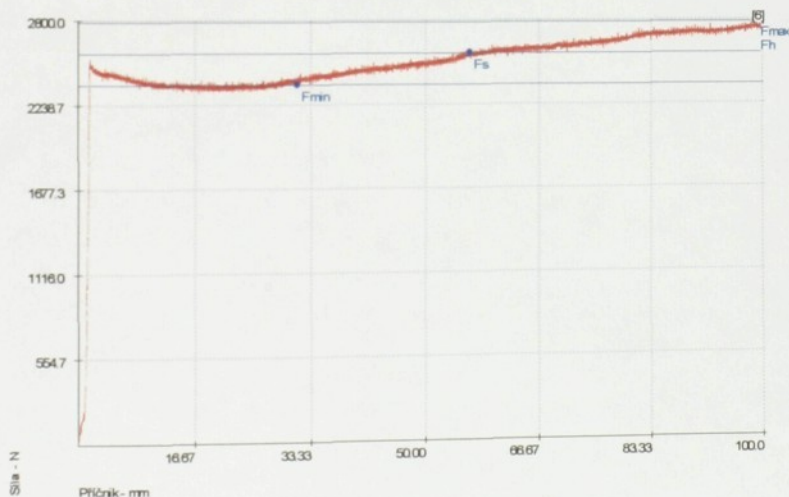
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Anticorit PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	2302.3	2075.3	1848.3	2302.3	454.1
2	2584.7	2333.1	2081.6	2584.7	503.1
3	2879.7	2597.4	2315.1	2879.7	564.5
4	2872.9	2476.9	2421.7	2532.0	110.3
5	2641.9	2452.0	2262.1	2641.9	379.9
6	2783.4	2575.9	2368.3	2783.4	415.0
7	2611.5	2414.7	2309.2	2520.2	211.1
8	2324.9	2160.8	2070.9	2250.8	179.9
9	2354.7	2140.5	2055.9	2225.1	169.2
x	2595.1	2368.5	2192.5	2524.5	331.9
s	227.12	192.90	187.49	230.37	166.14



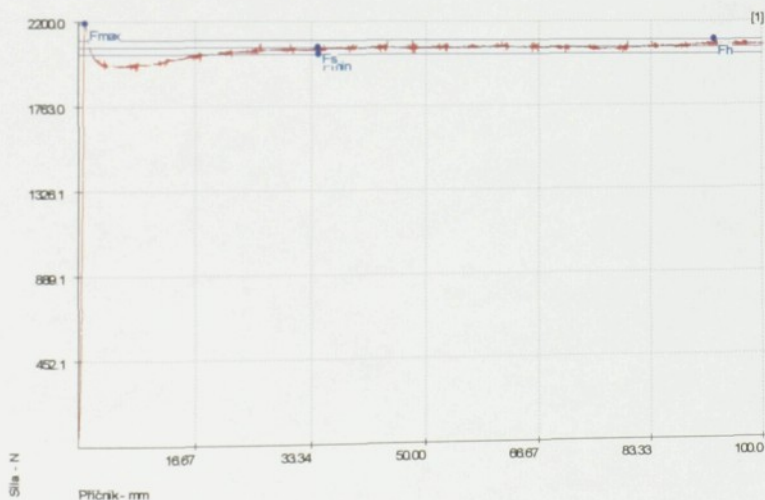
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Anticoril PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	2186.2	2064.6	2028.6	2100.6	72.0
2	1992.9	1858.3	1723.8	1992.9	269.1
3	1971.1	1823.1	1675.0	1971.1	296.1
4	2209.5	2109.2	2008.9	2209.5	200.6
5	2292.6	2194.5	2124.5	2264.6	140.1
6	2184.9	2081.8	1978.7	2184.9	206.2
7	2038.2	1947.3	1856.3	2038.2	181.9
8	2149.0	2045.7	1942.5	2149.0	206.5
9	2329.2	2234.3	2160.1	2308.5	148.4
x	2150.4	2039.9	1944.3	2135.5	191.2
s	126.34	140.29	165.98	118.70	67.43



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

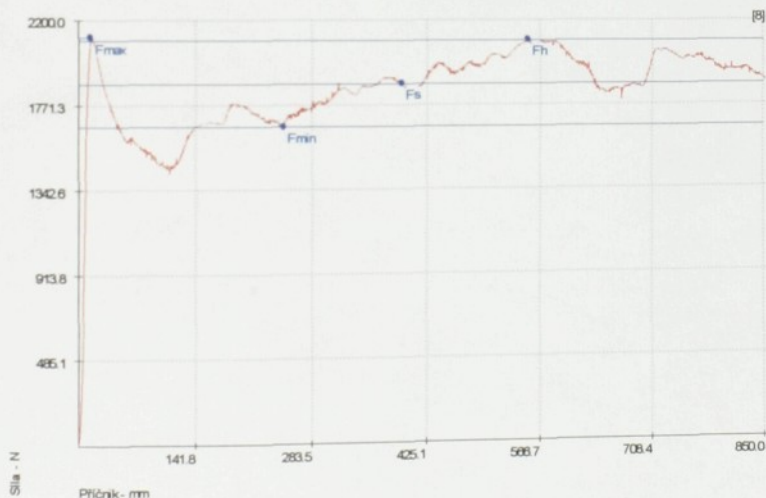
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Anticoril PL 39SX	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Verzanta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2505.2	2368.7	2232.2	2505.2	273.0
2	2182.2	1581.9	1428.5	1735.3	306.8
3	2250.2	2068.3	1886.3	2250.2	363.9
4	2031.7	1804.5	1589.6	2019.5	429.9
5	2671.3	2208.4	1745.4	2671.3	925.8
6	1572.5	1409.3	1246.2	1572.5	326.2
7	2557.0	2313.3	2069.5	2557.0	487.6
8	2111.4	1877.7	1669.7	2095.6	435.9
9	1528.0	1190.7	853.4	1528.0	674.6
x	2156.6	1869.2	1634.5	2103.8	469.3
s	404.69	412.31	422.51	428.20	209.18



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie

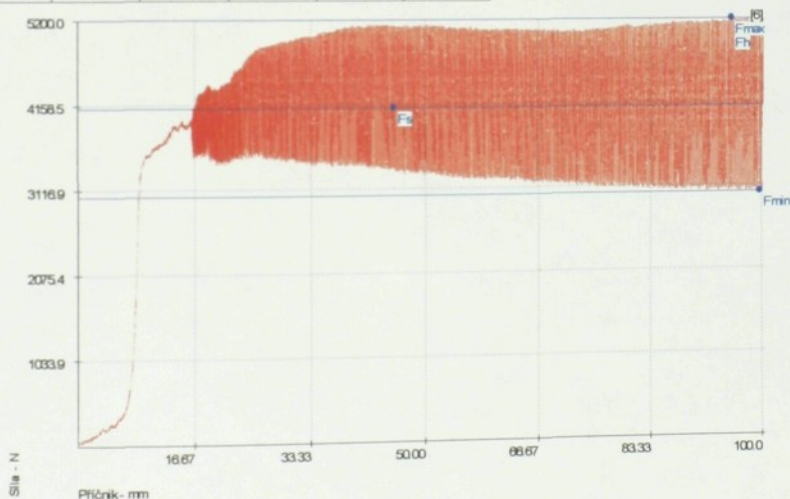
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varienta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	4342.5	3729.0	3115.5	4342.5	1227.0
2	4968.3	4029.4	3070.4	4968.3	1917.9
3	4867.0	3946.3	3025.6	4867.0	1841.5
4	5462.3	4251.6	3041.0	5462.3	2421.3
5	5359.7	4204.7	3049.6	5359.7	2310.1
6	5197.0	4114.4	3031.8	5197.0	2165.2
7	4965.7	4021.1	3094.9	4947.2	1852.3
8	4963.7	4009.6	3035.4	4963.7	1948.3
9	5134.6	4100.0	3065.3	5134.6	2069.3
10	4879.8	3969.2	3058.5	4879.8	1821.3
x	5020.1	4037.5	3058.8	5016.2	1957.4
s	309.31	146.40	28.81	310.02	328.87



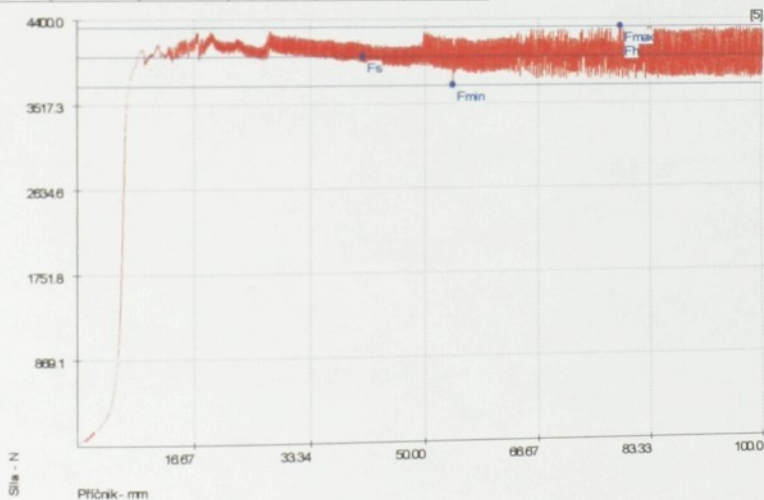
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Re=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3939.1	3731.1	3523.1	3939.1	416.0
2	3834.7	3635.6	3472.3	3798.9	326.7
3	3867.3	3595.0	3322.8	3867.3	544.5
4	4126.7	3925.2	3723.8	4126.7	402.9
5	4315.7	4009.9	3704.0	4315.7	611.6
6	3482.4	3327.6	3172.9	3482.4	309.6
7	4088.9	3735.5	3382.1	4088.9	706.8
8	4503.1	4098.0	3692.9	4503.1	810.2
9	3411.4	3154.9	3022.6	3287.1	264.4
10	4134.4	3789.9	3445.5	4134.4	688.9
x	3970.4	3700.3	3446.2	3954.4	508.2
s	341.40	291.83	232.01	366.95	190.54



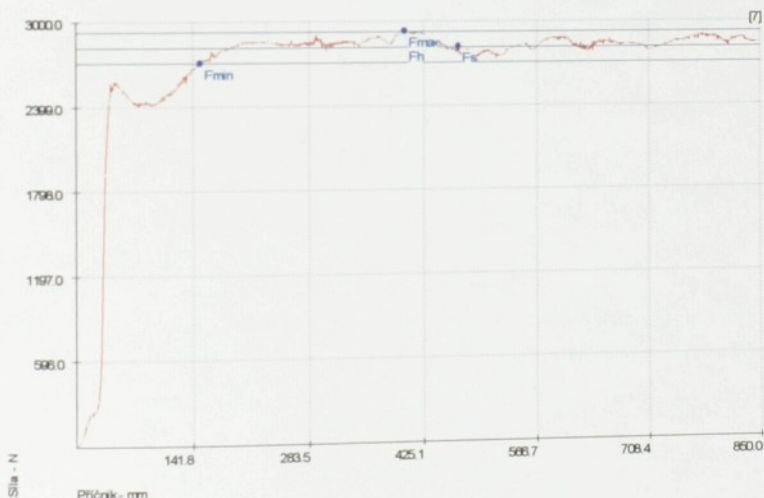
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2764.8	2581.4	2397.9	2784.8	366.8
2	2796.3	2310.3	2109.5	2511.2	401.7
3	2586.4	2334.9	2083.4	2586.4	503.0
4	2609.4	2471.3	2333.2	2609.4	276.2
5	2910.5	2638.5	2366.5	2910.5	544.0
6	2365.7	1844.0	1732.0	1956.1	224.1
7	2924.3	2813.5	2702.7	2924.3	221.6
8	3218.3	2864.9	2511.5	3218.3	706.8
9	2617.2	2229.9	1920.1	2539.7	619.6
x	2754.8	2454.3	2239.6	2669.0	429.3
s	247.35	317.36	304.01	352.60	175.05



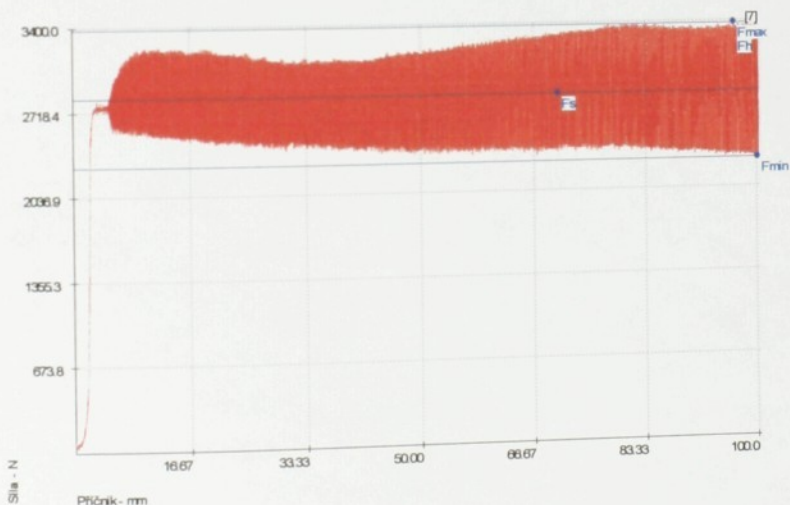
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s	
Testovaný substrát :	HDG	Varianeta :	1B	
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic	PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3565.1	2829.7	2227.0	3432.3	1205.2
2	3409.3	2804.4	2199.5	3409.3	1209.8
3	3355.4	2681.3	2303.0	3059.6	756.6
4	3443.2	2845.5	2247.7	3443.2	1195.5
5	3515.4	2904.0	2292.6	3515.4	1222.7
6	3858.7	3060.9	2263.0	3858.7	1595.7
7	3378.1	2824.3	2270.5	3378.1	1107.5
8	3372.9	2806.4	2239.8	3372.9	1133.1
9	3370.6	2785.8	2201.1	3370.6	1169.5
x	3474.3	2838.0	2249.4	3426.7	1177.3
s	160.97	102.31	36.74	205.62	213.06



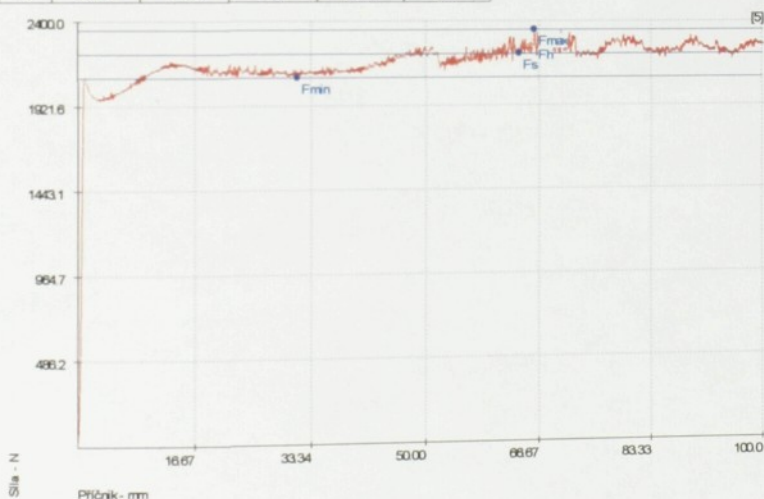
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Re=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2380.0	2234.3	2068.5	2380.0	291.5
2	2545.6	2278.3	2068.6	2488.0	419.3
3	2450.7	2237.3	2023.9	2450.7	426.8
4	2205.9	2064.7	1923.6	2205.9	282.3
5	2346.7	2212.9	2079.2	2346.7	267.5
6	2360.7	2222.2	2084.8	2369.6	274.8
7	2452.0	2284.1	2116.2	2452.0	335.8
8	2499.7	2324.6	2149.5	2499.7	350.1
9	2399.5	2256.1	2112.8	2399.5	286.6
10	2600.8	2451.4	2301.9	2600.8	298.9
x	2424.2	2256.6	2094.9	2418.3	323.4
s	112.23	96.93	95.50	106.70	58.61



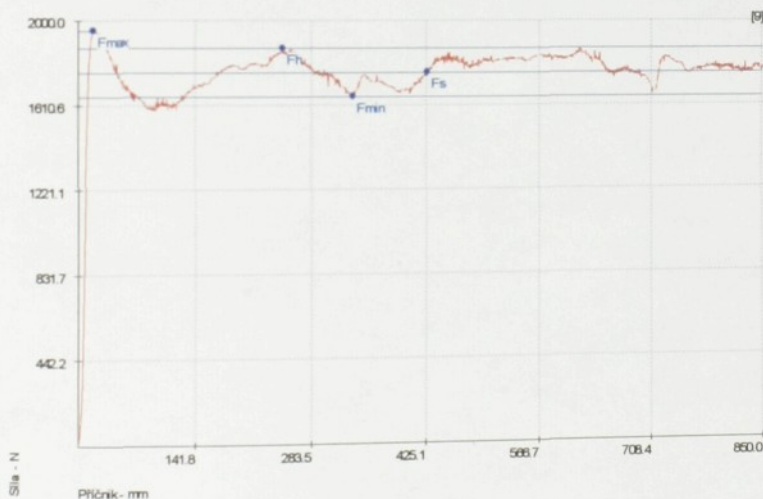
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GCG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2056.1	1707.9	1583.2	1832.7	249.5
2	1968.6	1850.2	1731.8	1968.6	236.8
3	2000.6	1663.8	1327.1	2000.6	673.5
4	1669.0	1460.0	1251.6	1668.3	416.7
5	1731.0	1400.2	1225.4	1575.1	349.7
6	1672.9	1479.9	1286.8	1672.9	386.1
7	1576.9	1358.8	1219.0	1496.5	279.6
8	1528.0	1278.5	1029.0	1528.0	499.0
9	1951.1	1758.5	1647.2	1869.8	222.6
x	1794.9	1550.9	1366.8	1735.0	368.2
s	199.58	199.13	233.42	188.89	147.36



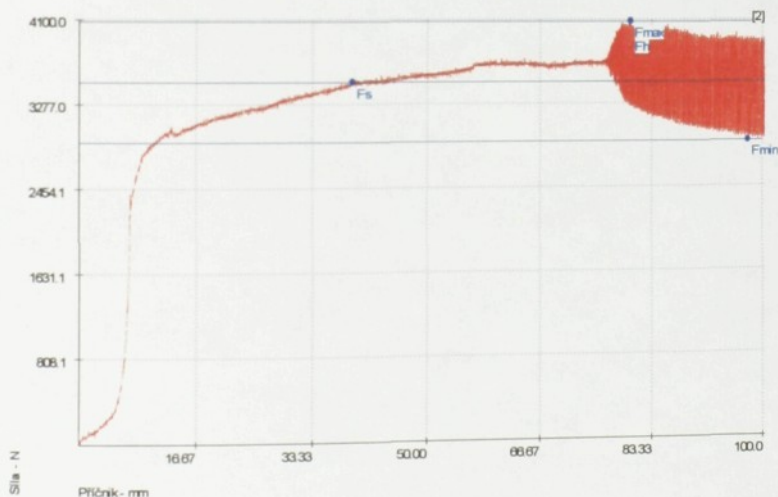
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s	
Testovaný substrát :	NIT	Varienta :	1A	
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic	PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3159.1	2776.3	2393.5	3159.1	765.6
2	4076.6	3488.3	2900.0	4076.6	1176.6
3	4246.8	3714.5	3182.2	4246.8	1064.6
4	4585.7	3952.8	3319.9	4585.7	1265.8
5	4130.3	3653.1	3175.8	4130.3	954.6
6	4151.5	3631.5	3111.6	4151.5	1039.9
7	4031.7	3595.2	3158.8	4031.7	872.9
8	4205.1	3665.1	3125.2	4205.1	1079.9
9	4410.2	3745.9	3081.7	4410.2	1328.5
x	4110.8	3580.3	3049.8	4110.8	1060.9
s	396.50	326.80	269.70	396.50	180.85



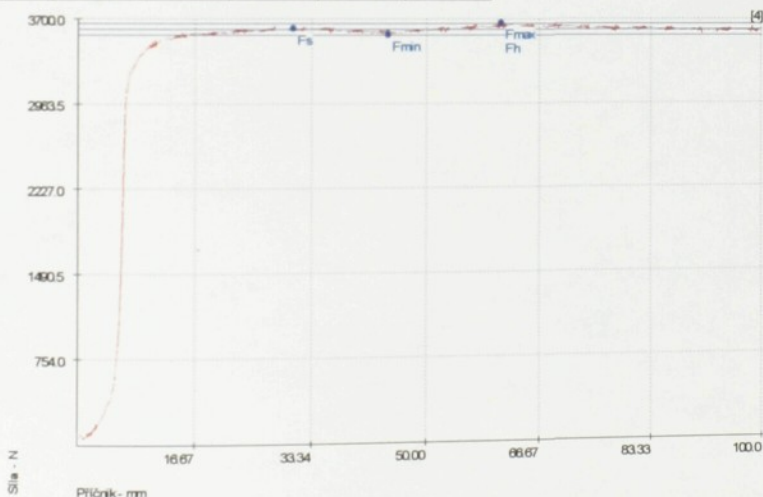
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varienta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3560.4	3460.7	3361.1	3560.4	199.2
2	3400.4	3257.2	3196.5	3317.9	121.4
3	3492.7	3382.1	3271.5	3492.7	221.2
4	3657.9	3607.7	3557.5	3657.9	100.5
5	3302.2	3240.1	3178.0	3302.2	124.2
6	3450.7	3307.5	3244.1	3370.9	126.7
7	3286.0	3222.7	3159.4	3286.0	126.6
8	3338.6	3227.9	3117.1	3338.6	221.5
9	3148.5	3104.6	3060.6	3148.5	88.0
10	3743.2	3657.0	3370.8	3743.2	372.4
x	3438.1	3336.7	3251.7	3421.8	170.2
s	181.44	161.48	145.96	185.90	86.19



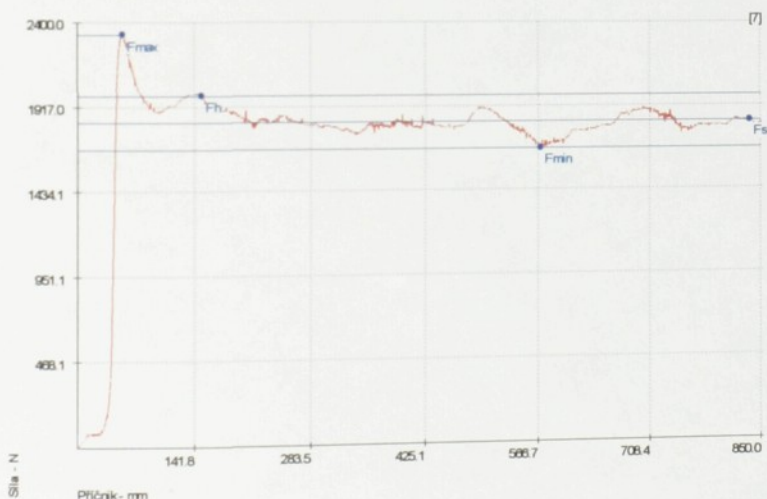
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Verzanta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3169.9	2703.8	2458.1	2949.6	491.5
2	2656.9	2266.2	1875.5	2656.9	781.4
3	2684.9	2395.2	2105.5	2684.9	579.4
4	2990.7	2711.1	2431.4	2990.7	559.3
5	2526.7	1785.5	1626.8	1944.3	317.5
6	2937.2	2567.2	2237.2	2937.2	700.0
7	2328.1	1824.2	1669.7	1978.6	308.9
x	2756.3	2324.7	2057.7	2591.7	534.0
s	291.50	389.77	342.52	449.93	178.35



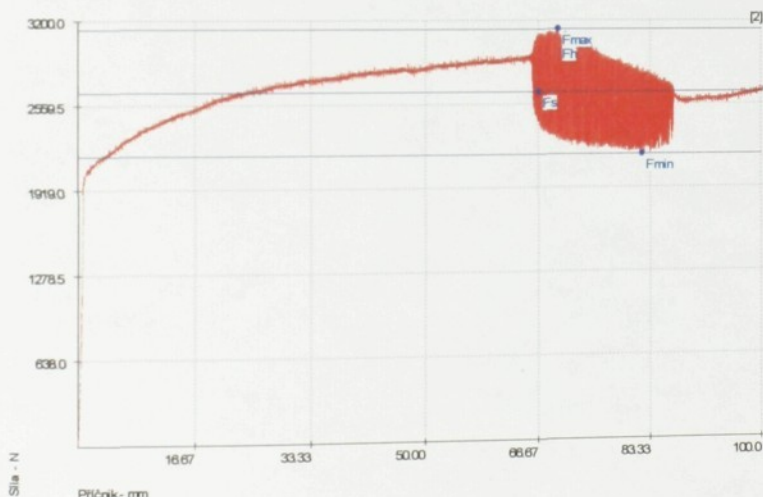
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Verzanta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2898.8	2558.3	2217.7	2898.8	681.1
2	3129.6	2650.8	2172.0	3129.6	957.6
3	3613.4	2977.3	2341.1	3613.4	1272.3
4	3262.2	2718.6	2293.5	3143.7	850.2
5	3157.1	2684.5	2211.9	3157.1	945.3
6	3524.9	2897.2	2399.3	3395.0	995.7
7	2921.1	2530.3	2139.5	2921.1	781.6
8	3481.5	2880.5	2367.7	3393.4	1025.7
9	3203.3	2819.9	2436.6	3203.3	766.7
x	3243.6	2746.4	2286.6	3206.2	919.6
s	254.42	156.23	106.00	230.35	175.96



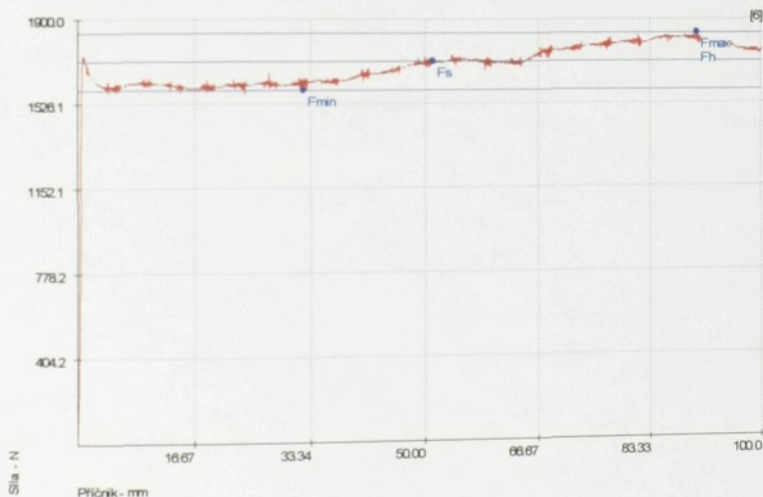
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo : AP 171 Kontaktní plocha : 78 mm x 40 mm
Množství mazadla : 1,5 g/m² Rychlost posuvu : 10 mm/s
Testovaný substrát : NIT Varianta : 1B
Drsnost substrátu : Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm Teplota : 40 °C
Materiál nástroje : GGG70L Rychlost snímání dat : 2 kHz
Kontaktní tlak : 4 MPa] :

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	2810.3	2517.4	2464.8	2570.1	105.3
2	2688.1	2487.6	2287.1	2688.1	401.0
3	2477.1	2247.1	2190.1	2304.2	114.1
4	2370.2	2293.2	2216.3	2370.2	153.8
5	2020.6	1945.0	1869.4	2020.6	151.2
6	1836.9	1710.4	1584.0	1836.9	252.9
7	2479.8	2414.8	2369.3	2470.3	111.0
8	2469.1	2379.5	2306.8	2452.1	145.3
9	2183.5	2092.6	2001.7	2183.5	181.9
x	2370.6	2232.0	2142.2	2321.8	179.6
s	310.14	269.21	276.77	269.84	94.57



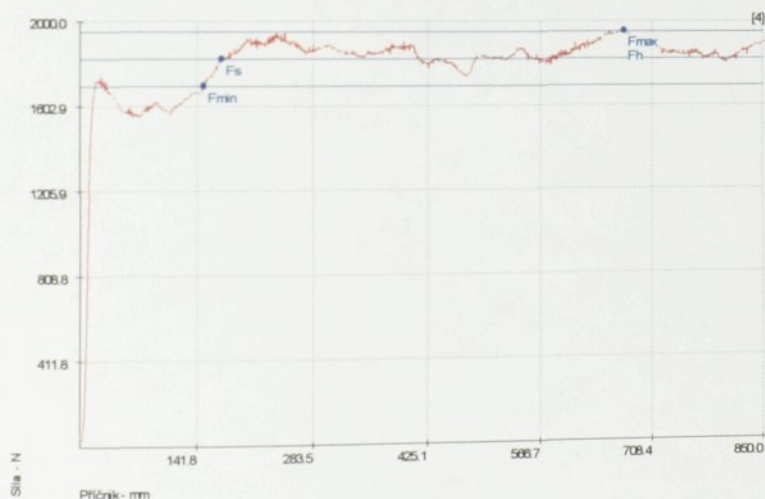
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	AP 171	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2325.1	1996.8	1856.7	2136.9	280.1
2	2166.9	2012.1	1885.4	2138.8	253.4
3	2176.7	2045.4	1914.1	2176.7	262.6
4	1950.5	1822.1	1693.6	1950.5	256.9
5	1948.3	1432.7	1276.2	1589.3	313.0
6	1972.6	1701.8	1431.0	1972.6	541.6
7	1798.0	1560.1	1322.2	1798.0	475.8
8	1548.1	1321.7	1095.2	1548.1	453.0
9	1449.1	1234.5	1026.1	1442.8	416.7
x	1926.2	1680.8	1500.1	1861.5	361.5
s	289.42	309.69	346.35	279.29	110.83



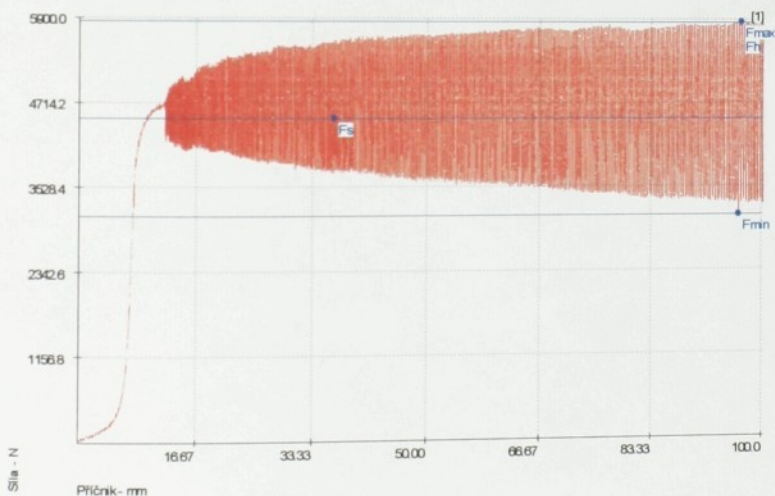
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	5856.7	4485.9	3115.0	5856.7	2741.7
2	5527.3	4510.1	3493.0	5527.3	2034.3
3	5786.3	4338.1	2895.9	5780.2	2884.3
4	5774.6	4472.8	3171.0	5774.6	2603.6
5	5993.3	4547.5	3157.6	5937.3	2779.8
6	6399.3	4891.0	3416.3	6365.7	2949.4
7	6293.2	4517.5	3143.7	5891.3	2747.7
8	6175.4	4678.0	3180.6	6175.4	2994.7
9	5761.4	4321.5	2984.9	5658.2	2673.3
x	5952.0	4529.2	3173.1	5885.2	2712.1
s	285.65	172.69	186.50	255.32	283.99



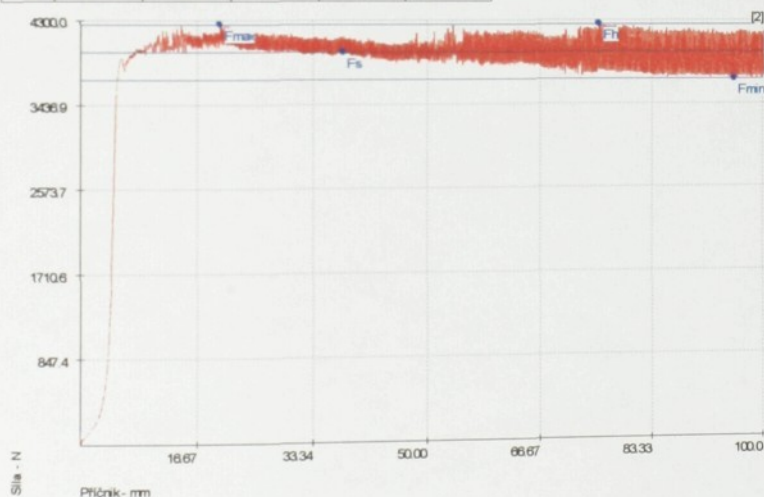
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianata :	1A
Drsnost substrátu :	Re=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	4116.6	3549.3	3268.3	3830.2	561.9
2	4257.1	3971.3	3686.3	4256.4	570.1
3	4391.6	3995.8	3600.0	4391.6	791.6
4	4450.5	3986.5	3710.0	4263.0	553.0
5	3855.4	3537.5	3334.7	3740.3	405.6
6	3950.7	3620.7	3337.5	3903.8	566.3
7	4105.5	3671.0	3375.3	3966.7	591.4
8	4043.9	3754.4	3464.9	4043.9	579.0
9	4365.0	4014.6	3664.2	4365.0	700.8
10	4461.6	3917.0	3553.7	4280.4	726.7
x	4199.8	3801.8	3499.5	4104.1	604.6
s	215.91	195.74	164.25	235.75	108.89



Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	2790.9	2456.6	2122.4	2790.9	668.5
2	2280.4	1561.2	1318.6	1803.8	485.2
3	2842.0	2684.5	2526.9	2842.0	315.1
4	2035.0	1588.6	1319.7	1857.6	537.9
5	2690.3	2256.1	1822.0	2690.3	868.3
6	2571.1	2239.3	1907.5	2571.1	663.6
7	3003.5	2716.8	2430.2	3003.5	573.3
8	3184.8	2691.0	2500.8	2881.2	380.4
9	2993.5	2535.6	2077.8	2993.5	915.7
x	2710.2	2303.3	2002.9	2603.8	600.9
s	366.70	448.86	461.21	459.03	202.32



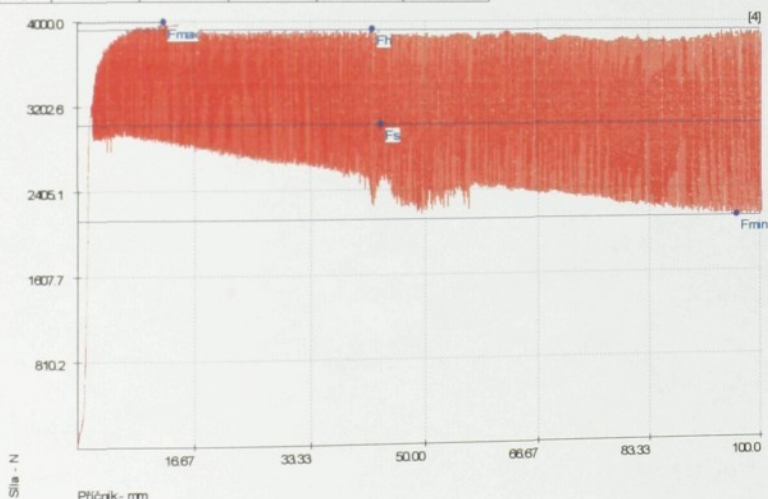
Zkouška protahováním pásu

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s	
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1B	
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic	PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3702.1	2980.4	2258.7	3702.1	1443.4
2	3786.0	2736.6	1726.7	3746.6	2019.9
3	3965.5	3082.6	2199.7	3965.5	1765.9
4	3987.5	3025.6	2129.1	3922.1	1793.0
5	4641.8	3293.9	1945.9	4641.8	2695.8
6	4358.8	2996.0	1683.3	4308.7	2625.4
7	4377.4	3269.4	2161.5	4377.4	2215.9
8	4570.5	3321.1	2071.7	4570.5	2498.8
9	4234.0	3045.1	1886.3	4203.8	2317.5
10	4206.8	3181.2	2155.6	4206.8	2051.1
x	4183.0	3093.2	2021.9	4164.5	2142.7
s	317.43	178.67	201.36	324.72	405.32



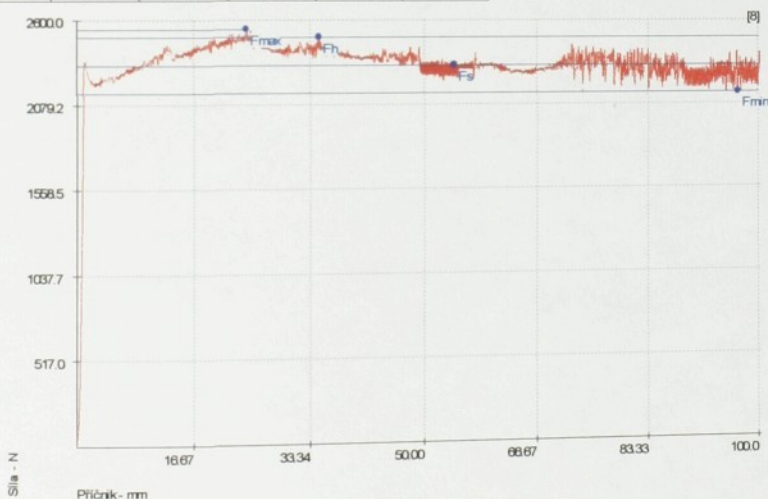
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]:	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2976.0	2707.7	2438.4	2976.0	536.6
2	2855.4	2312.9	2115.9	2509.9	394.1
3	3022.6	2766.5	2510.4	3022.6	512.3
4	2996.1	2367.6	2159.5	2635.7	476.2
5	2720.4	2487.6	2254.8	2720.4	465.6
6	2465.8	2284.8	2103.8	2465.8	362.0
7	2663.1	2414.5	2275.9	2553.1	277.2
8	2541.6	2319.1	2146.9	2491.3	344.4
9	2669.7	2464.3	2258.9	2669.7	410.9
10	2618.9	2446.1	2273.3	2618.9	345.6
x	2753.0	2460.1	2253.9	2666.3	412.5
s	198.12	161.39	134.58	193.53	83.37



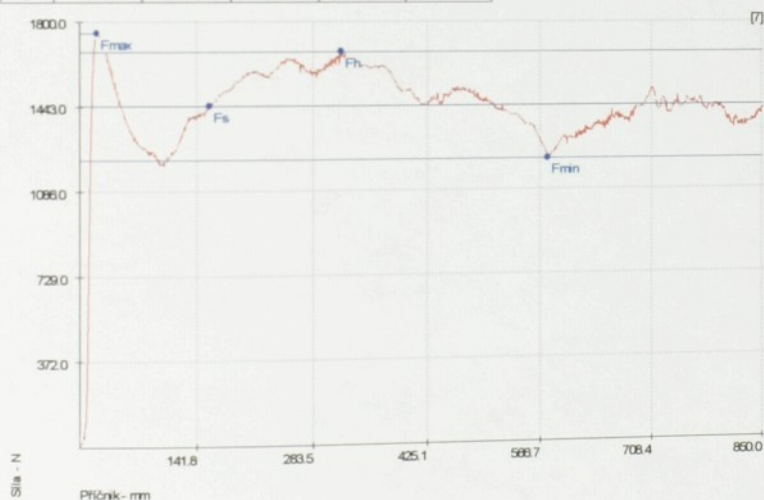
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varienta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GCG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2034.9	1514.8	1361.1	1668.5	307.3
2	1588.2	1334.3	1080.4	1588.2	507.7
3	1807.0	1675.7	1558.7	1792.7	234.0
4	2054.7	1333.2	949.3	1717.1	767.8
5	2043.8	1918.9	1794.1	2043.8	249.7
6	2231.6	1258.3	955.4	1561.2	605.8
7	1750.0	1443.4	1215.9	1671.0	455.1
8	1911.6	1637.5	1363.3	1911.6	548.3
9	1865.2	1329.7	914.3	1745.2	830.9
10	1807.6	1385.6	1035.7	1735.6	699.9
x	1909.5	1483.2	1222.8	1743.5	520.6
s	185.64	205.92	293.43	145.24	211.62



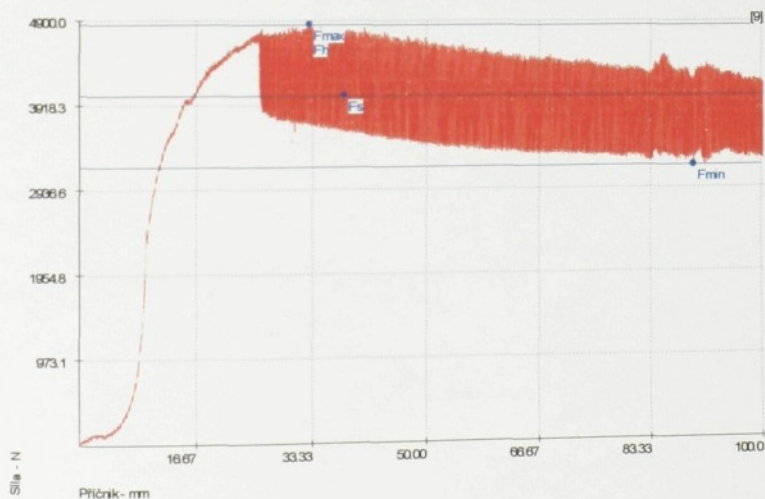
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s	
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1A	
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic	PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :		

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	4635.8	3954.9	3274.0	4635.8	1361.8
2	4598.6	3934.7	3270.8	4598.6	1327.8
3	4466.7	3934.4	3402.1	4466.7	1064.6
4	4472.3	3841.7	3332.5	4351.0	1018.5
5	4472.0	3854.1	3236.2	4472.0	1235.8
6	4961.5	4199.0	3567.6	4830.5	1262.9
7	4447.4	3834.1	3231.3	4436.8	1205.5
8	4366.3	3865.7	3365.2	4366.3	1001.1
9	4850.8	4024.4	3198.0	4850.8	1652.8
x	4585.7	3938.1	3319.7	4556.5	1236.7
s	200.44	116.32	114.31	186.30	203.55



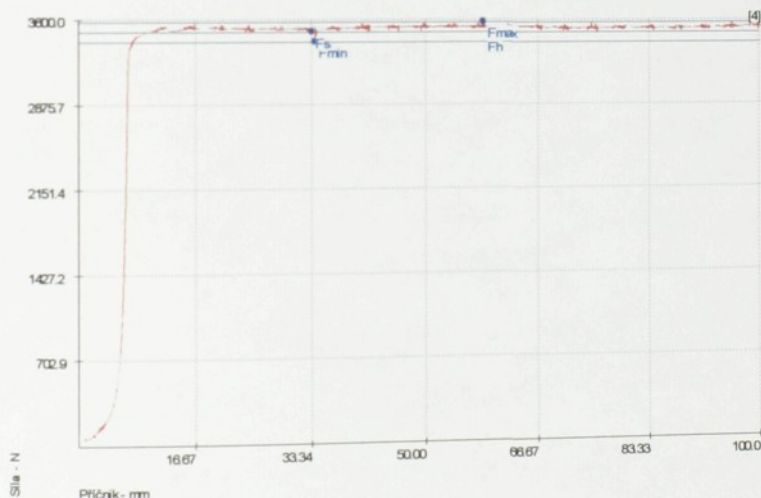
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	10 mm/s	
Testovaný substrát :	NIT	Varianeta :	1A	
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic	PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	]		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3618.7	3481.5	3344.2	3618.7	274.6
2	3494.4	3415.5	3366.3	3464.8	98.5
3	3467.7	3414.1	3360.6	3467.7	107.1
4	3574.8	3490.8	3406.8	3574.8	168.0
5	3620.5	3511.0	3401.4	3620.5	219.1
6	3421.1	3335.0	3248.9	3421.1	172.3
7	3719.1	3561.3	3403.5	3719.1	315.5
8	3594.3	3523.1	3451.9	3594.3	142.4
9	3605.4	3536.8	3468.1	3605.4	137.3
x	3568.4	3474.3	3383.5	3565.2	181.6
s	91.74	72.45	64.80	95.19	74.34



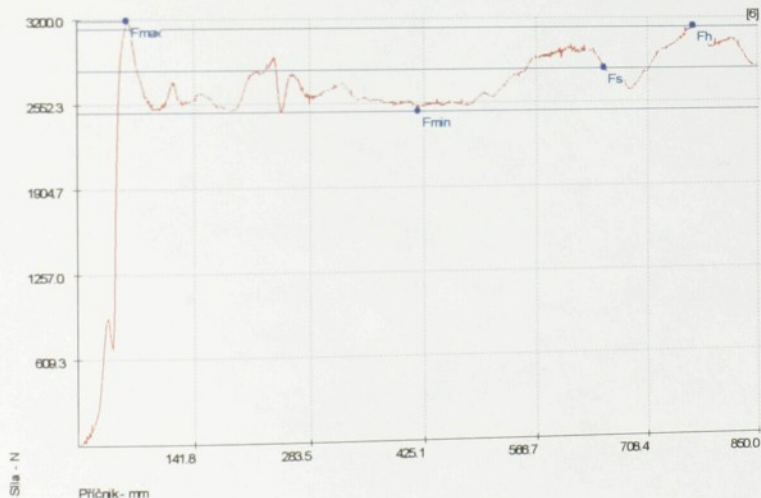
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	3197.7	2803.6	2649.2	2958.0	308.9
2	3332.8	3225.8	3118.8	3332.8	214.0
3	3527.9	3406.4	3285.0	3527.9	242.9
4	3508.8	3378.1	3247.5	3508.8	261.4
5	2428.0	2062.6	1697.2	2428.0	730.7
6	3187.2	2805.2	2483.8	3126.6	642.8
7	2051.3	1490.3	1320.6	1660.1	339.6
x	3033.4	2738.9	2543.1	2934.6	391.5
s	568.91	730.66	774.90	678.06	207.47



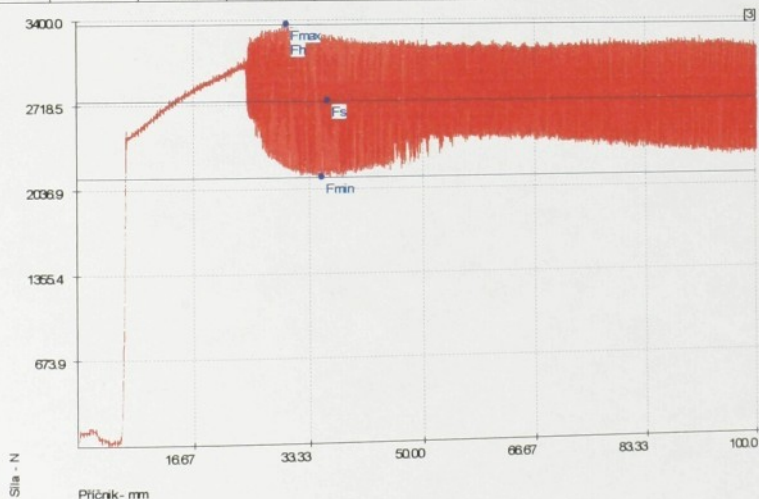
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3853.0	3264.2	2675.4	3853.0	1177.6
2	3533.0	2891.0	2259.8	3522.2	1262.3
3	3362.0	2745.9	2129.9	3362.0	1232.0
4	3516.5	2911.2	2306.0	3516.5	1210.5
5	3555.4	3028.4	2501.5	3555.4	1053.9
6	3439.4	3000.8	2562.2	3439.4	877.2
7	3362.9	2885.0	2407.0	3362.9	956.0
8	3411.8	2945.4	2478.9	3411.8	932.9
9	3803.3	3119.4	2435.6	3803.3	1367.7
10	3320.6	2841.0	2361.4	3320.6	959.1
x	3515.8	2963.2	2411.8	3514.7	1102.9
s	182.58	148.01	156.89	182.49	167.95



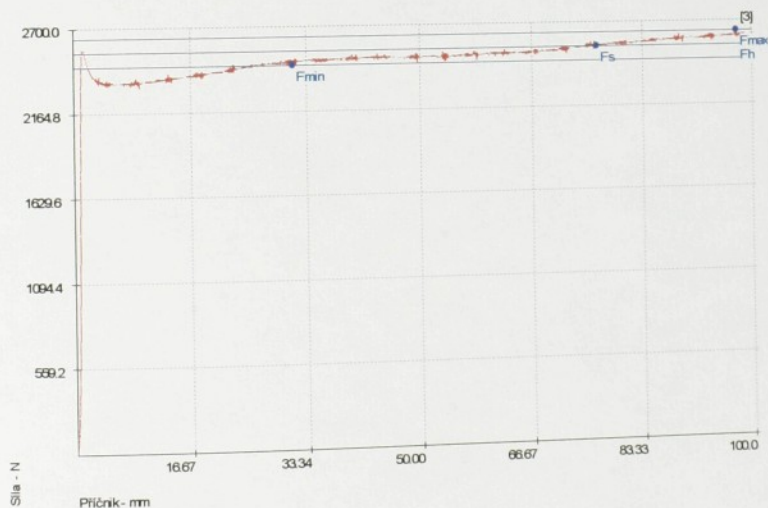
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2690.1	2524.1	2358.1	2690.1	332.1
2	2514.0	2297.9	2212.6	2383.2	170.6
3	2631.5	2542.5	2453.5	2631.5	178.0
4	2683.9	2625.3	2566.6	2683.9	117.3
5	2524.9	2422.4	2319.9	2524.9	205.1
6	2447.0	2392.8	2339.6	2446.0	106.4
7	2369.9	2325.1	2280.4	2369.9	89.5
x	2551.6	2447.2	2361.5	2532.8	171.3
s	121.91	120.74	116.56	137.75	82.52



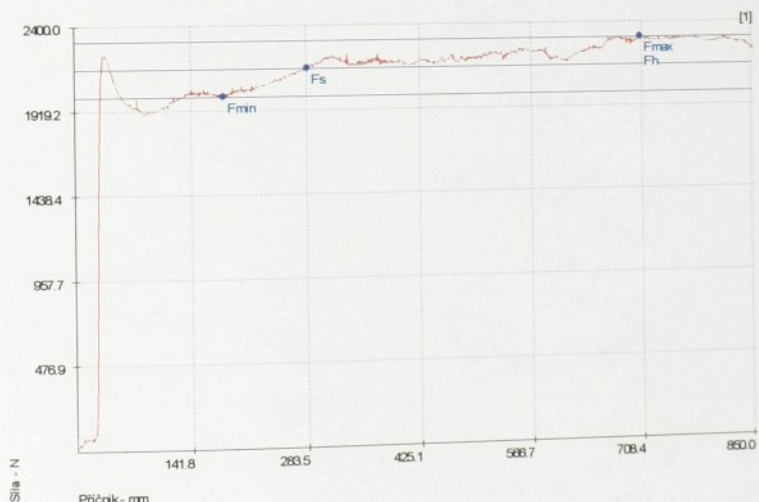
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Drycoat 2	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s	
Testovaný substrát :	NIT	Varianita :	1B	
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic	PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	]		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2311.0	2153.0	1995.0	2311.0	316.0
2	1803.5	1405.9	1008.3	1803.5	795.2
3	2424.3	2320.0	2215.6	2424.3	208.7
4	2285.7	1460.5	1151.0	1770.0	619.0
5	2164.5	2029.9	1895.2	2164.5	269.3
6	1925.0	1321.7	984.9	1658.6	673.8
7	1803.1	1308.4	987.8	1629.0	641.2
8	1992.1	1859.5	1726.8	1992.1	265.2
x	2088.6	1732.4	1495.6	1969.1	473.5
s	240.72	406.33	514.91	302.83	230.81



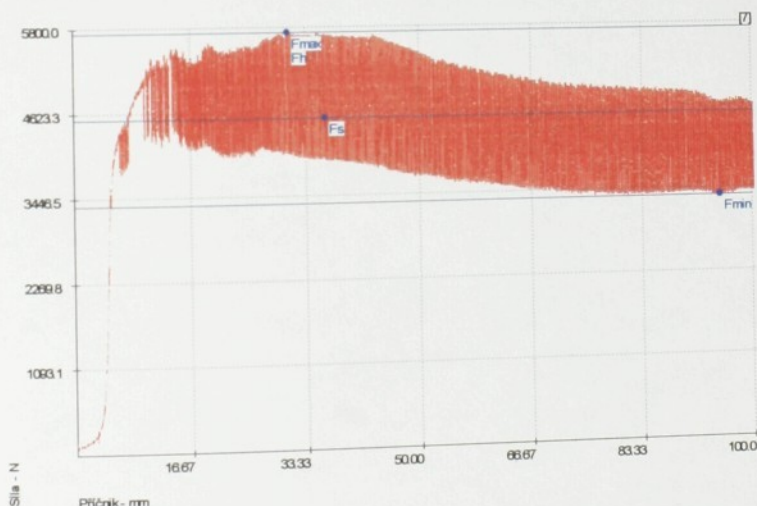
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	5340.4	4485.3	3630.3	5340.4	1710.2
2	5615.4	4359.2	3185.8	5532.6	2346.8
3	5789.6	4382.5	2975.4	5789.6	2814.2
4	5555.1	4167.0	2778.9	5555.1	2776.2
5	5926.9	4499.2	3071.4	5926.9	2855.5
6	5701.8	4469.0	3236.2	5701.8	2465.6
7	5722.0	4530.2	3338.3	5722.0	2383.6
8	5731.7	4289.3	2930.1	5648.5	2718.4
9	5413.1	4162.0	2961.0	5363.1	2402.1
x	5644.0	4371.5	3123.0	5620.0	2497.0
s	184.58	139.94	256.60	192.65	357.18



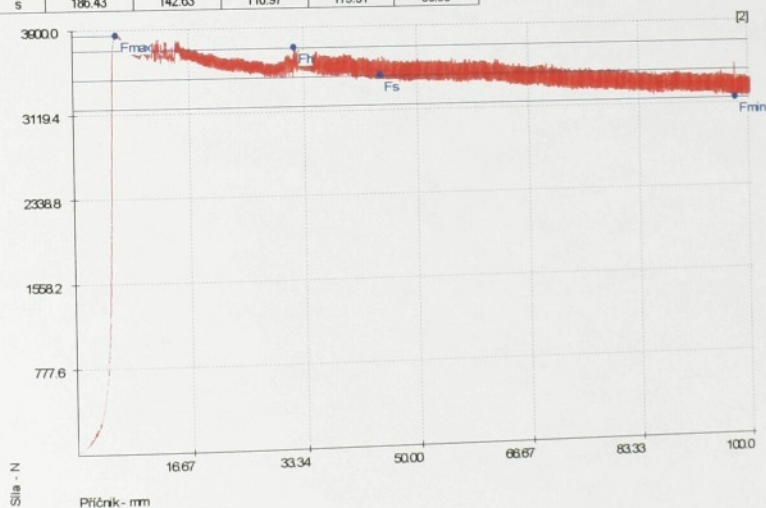
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Variananta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]:	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	3841.9	3472.8	3188.0	3757.7	569.7
2	3845.5	3434.8	3163.3	3706.3	543.0
3	3455.6	3285.7	3115.9	3455.6	339.7
4	3769.2	3448.5	3162.3	3734.6	572.3
5	3881.8	3563.0	3244.3	3881.8	637.5
6	3618.7	3339.0	3107.7	3570.2	462.6
7	3846.3	3512.4	3231.6	3793.1	561.5
8	3923.3	3482.7	3208.0	3757.4	549.4
9	4131.2	3811.7	3492.1	4131.2	639.0
10	3976.9	3554.4	3289.7	3819.1	529.4
x	3829.0	3490.5	3220.3	3760.7	540.4
s	186.43	142.63	110.97	179.31	86.93



Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

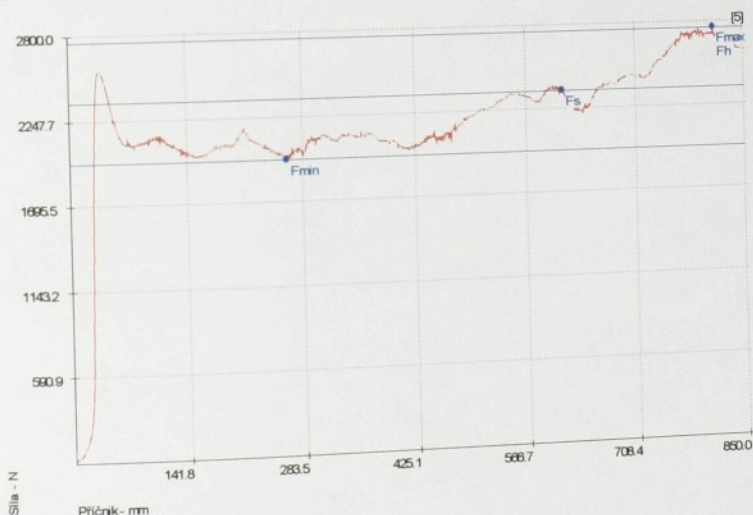
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Variananta :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mik PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2954.0	2679.8	2405.6	2954.0	548.4
2	3135.3	2642.7	2176.3	3109.1	932.7
3	3015.1	2603.0	2190.8	3015.1	824.4
4	2814.5	2275.3	2000.6	2550.1	549.5
5	2755.6	2362.8	1970.0	2755.6	785.6
6	2704.2	2052.0	1872.3	2231.8	359.5
7	3013.2	2728.8	2444.4	3013.2	568.8
8	3211.2	3037.3	2863.4	3211.2	347.8
9	3469.5	2931.4	2393.2	3469.5	1076.3
x	3008.1	2590.3	2257.4	2923.3	665.9
s	241.59	313.63	306.29	367.22	252.72



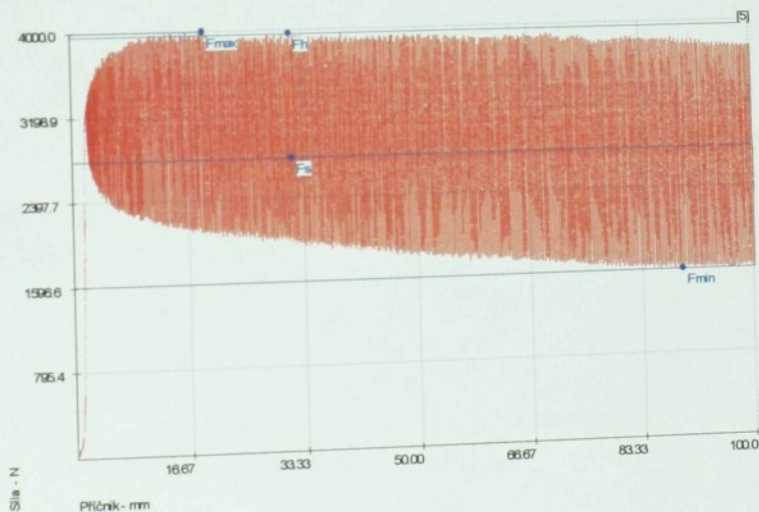
Zkouška protahováním pásu

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s	
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1B	
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic	PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :		

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	4301.5	2944.1	1586.8	4301.5	2714.7
2	4324.7	2965.9	1607.1	4324.7	2717.7
3	4408.9	3016.0	1623.0	4408.9	2785.9
4	4433.1	3085.4	1850.1	4320.7	2470.6
5	3991.9	2779.5	1599.8	3959.1	2359.3
6	4191.5	2932.3	1720.6	4143.9	2423.4
7	4094.8	2926.4	1823.0	4029.7	2206.8
8	4189.1	2910.5	1697.1	4123.9	2426.8
9	4078.8	2913.6	1784.2	4043.1	2258.9
x	4223.8	2941.5	1699.1	4184.0	2484.9
s	153.29	83.03	101.60	159.02	208.92



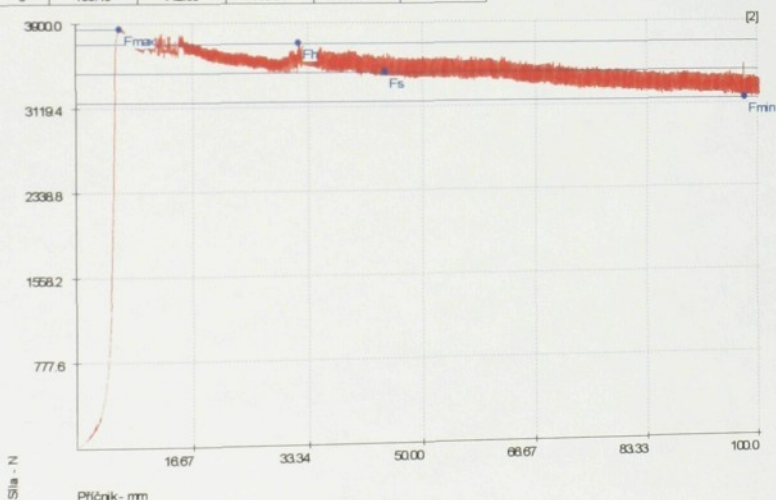
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	10 mm/s	
Testovaný substrát :	HDG	Varianeta :	1A	
Drsnost substrátu :	Ra=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm		Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	]		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3841.9	3472.8	3188.0	3757.7	589.7
2	3845.5	3434.8	3163.3	3706.3	543.0
3	3455.6	3285.7	3115.9	3455.6	339.7
4	3769.2	3448.5	3162.3	3734.6	572.3
5	3881.8	3563.0	3244.3	3881.8	637.5
6	3618.7	3339.0	3107.7	3570.2	462.6
7	3846.3	3512.4	3231.6	3793.1	561.5
8	3923.3	3482.7	3208.0	3757.4	549.4
9	4131.2	3811.7	3482.1	4131.2	639.0
10	3976.9	3554.4	3289.7	3819.1	529.4
x	3829.0	3490.5	3220.3	3760.7	540.4
s	186.43	142.63	110.97	179.31	86.93



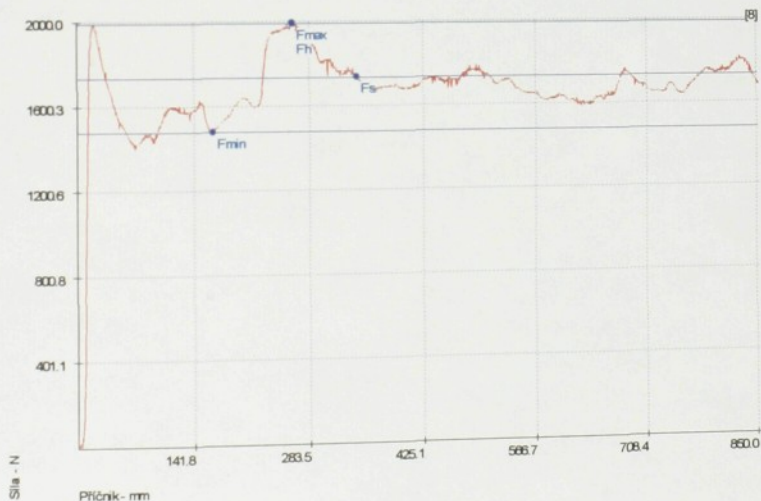
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s
Testovaný substrát :	HDG	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Re=1,07/1,11 mic PC=81/86 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2264.6	1832.8	1505.9	2159.6	653.7
2	2034.7	1685.3	1375.0	1995.6	620.5
3	2086.4	1701.4	1316.4	2086.4	770.0
4	2145.3	1655.8	1463.7	1848.0	384.3
5	2006.3	1393.6	1055.3	1731.8	676.5
6	2309.2	1895.9	1482.6	2309.2	826.6
7	2143.8	1657.4	1257.2	2057.7	800.5
8	1989.3	1732.7	1476.0	1989.3	513.3
x	2122.4	1694.4	1366.5	2022.2	655.7
s	117.25	148.65	153.86	178.51	150.64



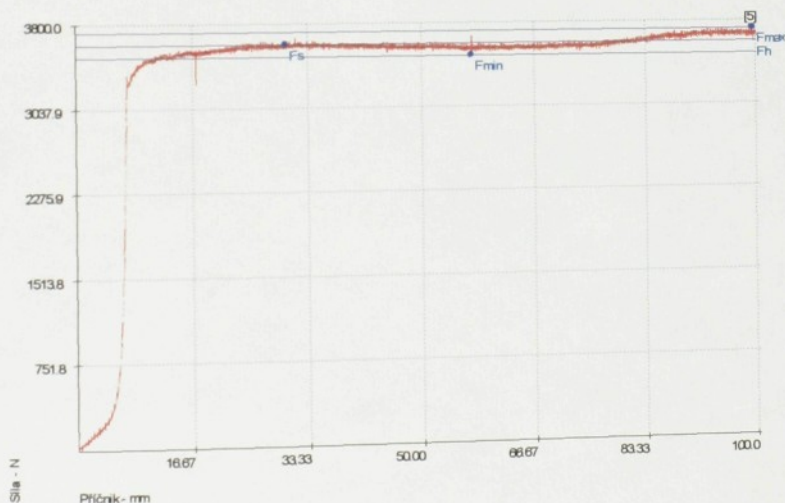
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s	
Testovaný substrát :	NIT	Varienta :	1A	
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic	PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3847.4	3715.7	3584.0	3847.4	263.4
2	4027.1	3804.7	3582.3	4027.1	444.8
3	3830.5	3586.6	3342.6	3830.5	487.8
4	3871.2	3625.1	3378.9	3871.2	492.3
5	3723.5	3610.4	3497.3	3723.5	226.2
6	4086.6	3889.2	3691.8	4086.6	394.7
7	4068.1	3827.8	3587.5	4068.1	480.6
8	4178.5	4059.7	3940.8	4178.5	237.7
x	3954.1	3764.9	3575.7	3954.1	378.5
s	157.19	162.80	187.55	157.19	117.25



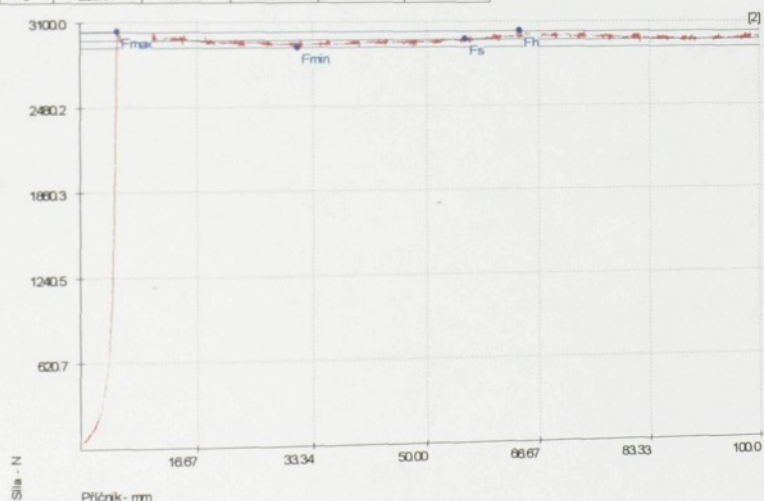
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianita :	1A
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]	:

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	3819.2	3362.1	3274.7	3449.5	174.8
2	3029.3	2966.7	2908.4	3024.9	116.4
3	3109.6	3033.1	2956.5	3109.6	153.1
4	3242.5	3190.8	3148.7	3233.0	84.3
5	3260.5	3193.1	3125.6	3260.5	134.9
6	3255.7	3161.9	3068.1	3255.7	187.6
7	3359.7	3259.2	3158.7	3359.7	201.1
8	3035.6	2941.7	2847.9	3035.6	187.7
9	3180.4	3082.6	2984.9	3180.4	195.5
10	3334.0	3231.3	3128.5	3334.0	205.5
x	3262.7	3142.2	3060.2	3224.3	164.1
s	226.31	134.08	132.12	139.02	40.68



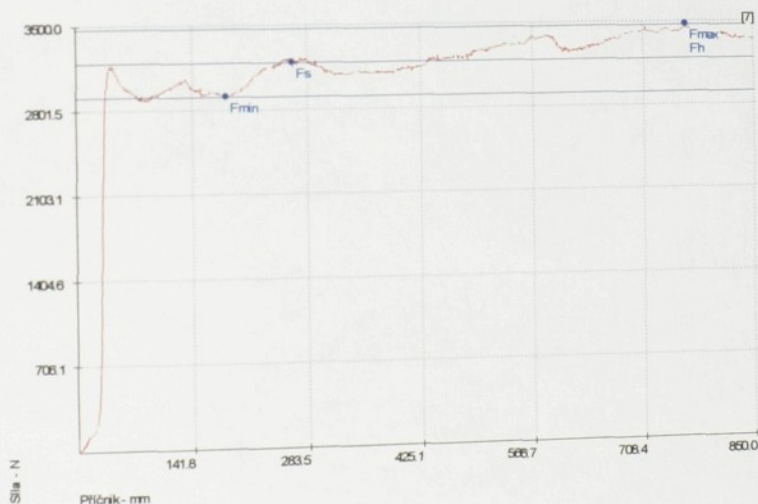
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s	
Testovaný substrát :	NIT	Varienta :	1A	
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic	PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :		

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	3589.7	3220.0	2850.2	3589.7	739.5
2	3200.5	2878.1	2555.6	3200.5	644.9
3	3362.5	3008.8	2655.0	3362.5	707.5
4	3709.6	3410.2	3110.9	3709.6	598.7
5	3619.3	3453.1	3286.9	3619.3	332.4
6	4000.8	3551.1	3101.3	4000.8	899.5
7	3470.2	3189.0	2907.7	3470.2	562.5
8	3503.7	3252.4	3001.1	3503.7	502.6
9	3464.8	3172.2	2879.5	3464.8	585.2
x	3546.8	3237.2	2927.6	3546.8	619.2
s	225.86	213.11	229.03	225.86	158.98



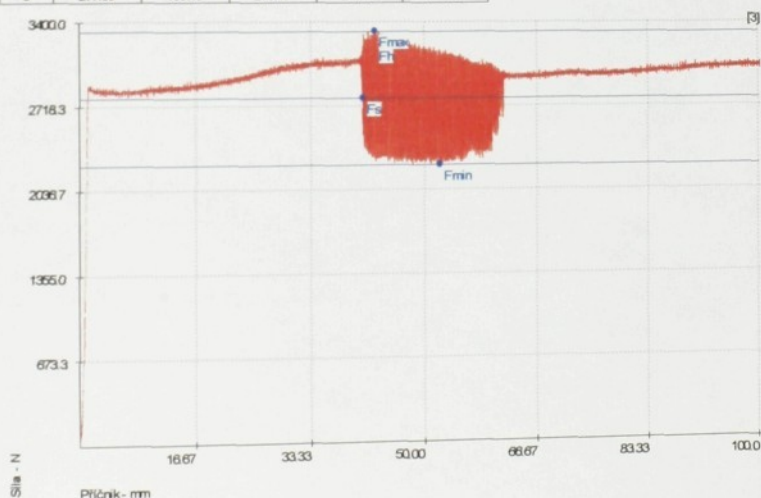
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianeta :	1B
Drsnost substrátu :	Re=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	] :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2613.0	2463.9	2314.9	2613.0	298.2
2	3389.3	2774.3	2159.2	3389.3	1230.1
3	3318.5	2776.1	2233.7	3318.5	1084.8
4	3217.7	2763.9	2310.1	3217.7	907.6
5	2963.7	2896.5	2829.2	2963.7	134.5
6	2779.9	2660.1	2540.2	2779.9	239.7
7	2965.5	2843.8	2722.1	2965.5	243.4
8	3511.5	2874.3	2237.0	3511.5	1274.4
9	3085.2	2876.1	2812.0	2940.1	128.1
10	3028.5	2901.8	2775.0	3028.5	253.4
x	3087.3	2783.1	2493.4	3072.8	579.4
s	277.80	135.43	270.48	281.68	481.29



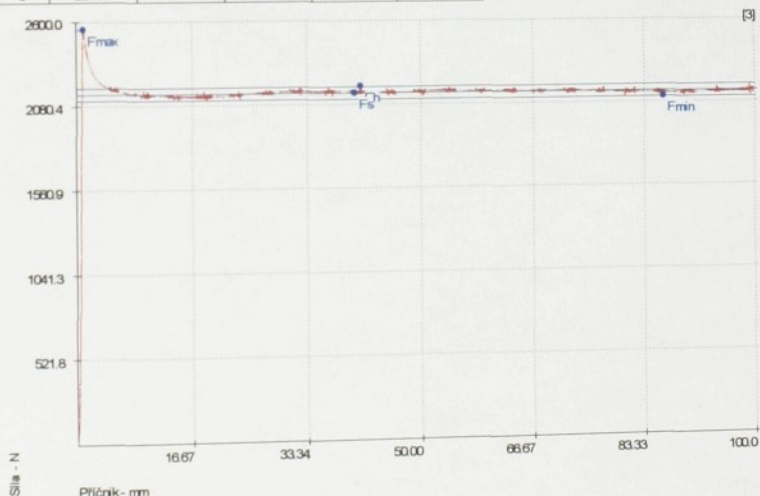
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm
Množství mazadla :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	10 mm/s
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1B
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	4 MPa	]:	

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _{min} N	F _h N	delta F N
1	3102.5	2423.4	2362.4	2484.4	122.0
2	2845.2	2384.0	2346.5	2421.4	74.9
3	2550.2	2149.2	2110.3	2188.1	77.8
4	2632.2	2271.4	2207.6	2335.3	127.7
5	2434.1	2199.9	2152.0	2247.7	95.7
6	2330.4	2183.4	2116.3	2250.5	134.2
7	2515.5	2276.5	2225.9	2327.1	101.2
8	2666.4	2379.7	2332.4	2427.1	94.8
9	2479.8	2238.0	2198.1	2277.9	79.8
10	2553.3	2361.1	2320.4	2401.8	81.4
x	2611.0	2286.7	2237.2	2336.1	98.9
s	221.96	95.54	96.67	95.66	21.95



Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazadlo :	Multidraw E1	Kontaktní plocha :	78 mm x 40 mm	
Množství mazadla :	1,5 g/m2	Rychlost posuvu :	400 mm/s	
Testovaný substrát :	NIT	Varianta :	1B	
Drsnost substrátu :	Ra=0,97/1,10 mic	PC=89/94 1/cm	Teplota :	40 °C
Materiál nástroje :	GGG70L	Rychlost snímání dat :	2 kHz	
Kontaktní tlak :	4 MPa	J :		

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fmin N	Fh N	delta F N
1	2441.7	2120.0	1813.7	2426.3	612.6
2	2589.1	2411.6	2234.0	2589.1	355.1
3	2744.1	2501.5	2283.7	2719.3	435.6
4	2728.6	2456.0	2183.3	2728.6	545.4
5	2595.2	2385.5	2175.8	2595.2	419.5
6	2725.7	2598.2	2482.8	2713.6	230.8
7	2962.6	2760.1	2557.6	2962.6	405.0
8	2754.8	2607.2	2459.6	2754.8	295.1
x	2692.7	2480.0	2273.8	2686.2	412.4
s	153.51	190.07	236.03	155.84	124.45

