

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: **M2301 strojní inženýrství**
Obor: **2303T002 Strojírenská technologie**
Zaměření: **Tváření kovů**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Název: **Volba alternativního maziva pro výrobu šroubů tvářením**

Title: **Choice of Alternative Lubricant for Production of Screws
by Forming**

Autor: **Ing. Štěpánka P á r a l o v á**

Vedoucí DP: Ing. Pavel S o l f r o n k, Ph.D.

Konzultant: Ing. Michaela K o l n e r o v á

Rozsah diplomové práce:

Počet stran: 69

Počet příloh: 3

Počet obrázků: 27

Počet tabulek: 22

Anotace

Téma práce: Volba alternativního maziva pro výrobu šroubů tvářením
Vypracovala: Ing. Štěpánka P á r a l o v á

Diplomová práce se zabývá praktickým ověřením testovaných typů maziv v závislosti na navržených metodikách tvářením, simulující proces výroby pevnostních šroubů v laboratorních podmínkách.

Velká část této práce byla věnována návrhu a realizaci těchto metodik s vytvořením reálných podmínek, které by vhodně simulovaly výše zmiňovaný proces výroby.

První část diplomové práce je zaměřena na teoretické poznatky z oblasti tribologie a z oblasti technologie tvářením- výroby šroubů.

Praktická část práce popisuje experimentálně navržené metodiky zkoušení simulující proces výroby a jejich posouzení o vhodnosti z hlediska zjištění tribologických vlastností maziv.

Klíčová slova: protahování drátu, protlačování, tažení plechu, tribologie, tření, mazivo

Summary

Topic of theses: Choice of Alternative Lubricant for Production of Screws by Forming
Elaborated by: Ing. Štěpánka P á r a l o v á

The thesis deals with practical verification of dependence of tested lubricants on proposed methods of forming, simulating the process of production of hardened screws in laboratory conditions.

A big part of the work is devoted to a proposal and realization of these methods and to a creation of suitable conditions for simulation of the above mentioned process of fabrication.

The first part of the work deals with theoretical knowledge from the branch of tribology and of technology of forming- screws fabrication.

Practical part describes proposed experimental testing methods, simulated process of production, and evaluation of its convenience for assessing tribological properties of lubricants.

Key words: elongation and forming of wire, tribology, friction, lubricant

Mistopřísežné prohlášení

Mistopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 15.05. 2006

.....
Ing. Štěpánka P á r a l o v á

Poděkování

„Chtěla bych touto cestou vyslovit poděkování Ing. Pavlu SOLFRONKOVI, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, cenné rady v průběhu vypracovávání diplomové práce”.

“Děkuji rovněž také řadě odborníků, kteří radou i pomocí přispěly ke vzniku této diplomové práce.”

4.1.2.5 Použité mazivo	36
4.1.2.6 Mazací technika- nanášené množství maziva	37
4.1.2.7 Teplota nástroje	38
4.1.3 Tribologická zkouška protahování pásku	38
4.1.4 Vyhodnocení výsledků	39
4.1.4.1 Diskuze k hodnocení typu použitého testovaného maziva v závislosti na rychlosti tažení	48
4.2 Experimentální tribologické měření protahování drátu pro pevnostní šrouby	49
4.2.1 Princip metody, metodika zkoušení	49
4.2.2 Podmínky zkoušky	50
4.2.2.1 Rozměry vzorků testovaného materiálu	50
4.2.2.1.1. Mechanické vlastnosti materiálu	50
4.2.2.2 Rychlost posuvu	51
4.2.2.3 Použité mazivo	51
4.2.2.4 Mazací technika- nanášené množství maziva	51
4.2.2.5 Teplota nástroje- upínacího přípravku pro matici s daným substrátem- drátem	52
4.2.3 Tribologická zkouška protahováním drátu	52
4.2.4 vyhodnocení výsledků	53
4.2.4.1 Diskuze k hodnocení typu použitého testovaného maziva v závislosti na aplikované technologii objemového tváření- protahování drátu	56
4.3 Experimentální tribologické měření při dopředném protlačování	57
4.3.1 Princip metody, metodika zkoušení	57
4.3.2 Podmínky zkoušky	58
4.3.2.1 Rozměry vzorků testovaného materiálu	58
4.3.2.2 Rychlost posuvu	59
4.3.2.3 Použité mazivo	59
4.3.2.4 Mazací technika- nanášené množství maziva	59
4.3.2.5 Teplota nástroje- průtláčnice- průtláčník	60
4.3.3 Tribologická zkouška protahováním drátu	60
4.3.4 vyhodnocení výsledků	60
4.3.4.1 Diskuze k hodnocení typu použitého testovaného maziva v závislosti na aplikované technologii objemového tváření- protlačování	62
5. Diskuze výsledků diplomové práce	64
6. Závěr	66
7. Seznam použité literatury	68
8. Seznam příloh	69

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Rozměr	Význam
A	J	deformační práce
A_c	J	je celková deformační práce při tažení
A_d	J	užitečná deformační práce
$A_{tř}$	J	práce potřebná k překonání vnějšího tření
A_{vn}	J	práce potřebná k překonání vnitřního tření
A_{50}	%	celková tažnost materiálu
A_{gt}	%	homogenní tažnost materiálu
b_p	mm	šířka testovaného pásku
F_d	N	deformační síla na plastické přetvoření
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	tlaková síla
F_S	N	střední síla
F_t	N	celková třecí síla
$F_{Tř}$	N	třecí síla na stykové ploše průvlaku a taženého materiálu
F_T	N	tažná síla
ΔF	N	velikost rozkmitu sil
F_p	N	přidržovací síla
h	mm	tloušťka vrstvy maziva
K_r		součinitel rezervy
L_{mez}	mm	mezní délka pásku pro určení sil
l_2	m	délky drátu po tažení
l_p	mm	délka měřeného úseku protahovaného pásku
M	Nm	vnější ohybový moment
p	Pa	přidržovací tlak
Rm	MPa	smluvní mez pevnosti materiálu
$R_{p0,2}$	MPa	smluvní mez kluzu materiálu
R_T	mm	poloměr tažné hrany
S	mm ²	činná plocha styku
S_1, S_2	m ²	příčný průřez před průchodem a po průchodu
s_p	mm	tloušťka pásku
T	°C	teplota
v	ms ⁻¹	rychlost pohybu
α		úhel průvlaku (tažný úhel)
η	Pa.s	dynamická viskozita

Označení	Rozměr	Význam
μ		koeficient tření
μ_{sm}		smykový koeficient tření
ρ	gcm^{-3}	hustota materiálu
σ_1	N	tahové v podélném směru (σ_1)
σ_2	N	tlakové radiální (σ_r)
σ_3	N	tlakové tangenciální (σ_{tan})
σ_{ds}	Pa	střední deformační odpor
φ		logaritmická deformace
φ_1		tahová logaritmická deformace
φ_r		radiální logaritmická deformace
φ_{tan}		tangenciální logaritmická deformace
V	m^3	objem

1. Úvod

Většina tvářecích procesů je bez vhodného maziva neuskutečnitelná. Na jeho složení, vlastnostech a použití záleží životnost tvářecích nástrojů, povrchové vlastnosti tvářených materiálů a velikost tvářecí práce. Avšak každé mazivo má své specifické tribologické vlastnosti, které souvisejí s podmínkami pro daný proces tváření.

K zjišťování vhodnosti maziv pro proces tváření je k dispozici řada zkušebních metod, je pochopitelné, že se nejvhodnější postup při výzkumu tribosoučástí volí podle důležitosti a složitosti daných reálných tribosystémů. Čím přesněji známe spektrum zatížení, tribostrukturu a velikost ztrát, tím cílevědoměji lze zvolit zkušební metodu.

Získat dokonalé informace o reálném tribosystému v laboratorních podmínkách je velmi obtížné. Vyžaduje to dokonalou modelovou simulaci reálných podmínek za kterých je proces uskutečňován přímo v provozu.

Obecně lze konstatovat, že čím je tribologický systém složitější, tím nákladnější je jeho zkoušení. Vysokou korelaci výsledků laboratorních měření a reálného tribosystému lze očekávat v tom případě, jestliže simulační zkoušky odpovídají provozním poměrům.

Při sledování simulujícího procesu tváření, jakožto tribologického systému zjišťujeme velké množství vlivů vstupujících do tohoto systému. Obecně lze říci, že velikost třecí síly při tváření závisí na:

- mikrogeometrii povrchu substrátu (druh povrchové textury a drsnost této textury).
- rychlosti posuvu,
- deformaci materiálu (mechanické vlastnosti materiálu)
- druhu použitého substrátu (nepokovený, typ pokovení, chemickém složení povrchu použitého substrátu),
- druhu materiálu nástroje a stav jeho povrchu,
- použitém mazivu a jeho množství,
- velikostí kontaktního tlaku mezi materiálem a nástrojem.

Je třeba si uvědomit, že každá z uvedených veličin se podílí na tribologických dějích ve sledované soustavě. Bohužel se však neuplatňují samostatně, ale vzájemně se ovlivňují. Je proto velmi obtížné výše uvedené vlivy hodnotit odděleně a proto se často při vyhodnocování tribologických podmínek posuzují komplexně výsledky zkoušek pro soustavu nástroj-mazadlo-materiál-technologické podmínky.

Předložená diplomová práce se zabývá výběrem vhodného typu maziva pro výrobu šroubů ve firmě Šroubárna Kyjov, spol. s r.o.. Jedná se o výběr alternativního oleje, který by vyhovoval požadavkům technologického procesu výroby pevnostních šroubů.

Práce podává návrh na možné metodiky zkoušení charakterizující reálnou simulaci výroby šroubů aplikovanou v laboratorních podmínkách. Uvádí také přehled o používaných technologických mazivech v oblasti tváření, jejich základních vlastnostech, a jejich aplikaci v procesu.

Praktická část práce popisuje experimentálně navržené metodiky zkoušení simulující proces výroby a jejich posouzení o vhodnosti z hlediska zjištění tribologických vlastností. Dosažené tribologické výsledky testovaných maziv z jednotlivých simulujících procesů jsou v závislosti na vhodně zvolených technologických podmínkách tváření; rychlost posuvu materiálu v nástroji, kontaktní tlak, mazivo a jeho nanášené množství, které je bezprostředně provázejí a dají se pokládat za stěžejní.

1.1 Současný stav technologických maziv v oblasti tváření [1, 2, 6, 7]

Při tvářecích technologiích dochází k vývinu tepla, způsobeného jednak vnitřní deformací materiálu, tak též třením mezi povrchy materiálu a nástroje. Protože jsou nové výrobky vyráběny vysokou rychlostí ve velkých počtech, musí být tento proces snadno reprodukovatelný a stabilní. Tohoto je dosaženo volbou vhodného výchozího materiálu a nástroje s vysokou životností a **aplikací filmu maziva**, které **sníží koeficient tření mezi nástrojem a materiálem**.

Koeficient tření je jedním, z rozhodujících technologických parametrů při tváření a významně ovlivňuje vzájemnou interakci soustavy „nástroj – materiál“. Hodnota této veličiny závisí na kvalitě povrchu tvářeného materiálu, nástroje a na vlastnostech maziva. Výskyt tření souvisí s vzájemným relativním pohybem dvou povrchů.

Koeficient tření je poměrnou veličinou a určuje vztah mezi velikostí složek normálové a třecí síly. K odvození tohoto parametru slouží zjišťování velikosti třecí síly jako základního parametru třecího procesu, který je východiskem pro výpočet koeficientu tření. V současné době existuje celá řada třecích zkoušek sledujících tribologické poměry ve sledované soustavě. S použitím rozličné konstrukce přípravků u těchto zkoušek, lze naměřit a zjistit příslušné hodnoty koeficientu tření v hodnocené soustavě testovaný substrát – mazadlo – zkušební nástroj.

Na velikost součinitele tření má vliv mnoho konstrukčních a technologických faktorů, mezi nejvýznamnější patří (materiál nástroje, způsob jeho opracování v souvislosti s mikrogeometrií, tvářený materiál, jeho morfologie, vlastnosti a typ případné povrchové vrstvy, rychlost tažení, kontaktní tlak, mazivo atd...).

Jak již bylo výše uvedeno tření významně ovlivňuje technologii tváření. Je tedy nasnadě snaha tření a jeho negativní vlivy pokud možno zcela vyloučit nebo alespoň významně omezit; toho je možné dosáhnout s pomocí vhodných látek, dopravených do třecího kontaktu. Hlavním úkolem takovýchto pomocných

prostředků je optimalizovat (tj. snížit nebo zcela vyloučit) tření mezi třecími povrchy dvou těles ve vzájemném pohybu.

Látky, které využíváme k ovlivnění třecích procesů v pohyblivých kontaktech, označujeme společným názvem **maziva**.

Požadavky na maziva při tvářecích procesech, jsou velmi rozdílné. Je nutno mít na zřeteli značné množství nestabilních ovlivňujících veličin při volbě maziva vzhledem k jeho optimálnímu působení. Na prvním místě jsou dva požadavky: snížení tření t.j. energetická bilance a jakost povrchu tvářeného dílce a nástroje. Oba požadavky se vzájemně překrývají a mají vzájemné působení. Místní tření vyvolává teplo. Mimořádně obtížně měřitelné teploty, které při tom vznikají, mohou vést bez použití vhodných maziv jako oddělujícího prostředí, ke kovovému spojení můstků (mikrosvary) třecích dvojic materiálů.

Mazivo, dopravené mezi pohybující se třecí plochy, má zásadní vliv na to, k jakým třecím projevům (a důsledkům) dojde. To ovlivní v zásadě už i typ použitého maziva- v tribotechnické praxi se můžeme setkat s mazacími prostředky nejrozličnějších podob a užitečných vlastností. Mazivem může být v zásadě látka jakéhokoli skupenství. V praktických aplikacích se používají maziva plynná, kapalná, plastická i tuhá. Použití určitého typu maziva závisí na tom, pro jaký materiál a technologii má být mazadlo použito.

Pro tvářecí operace se využívá široké škály mazacích prostředků nejrozličnějších typů a druhů. Lze použít maziva kapalná, tuhá nebo konzistenční. Ve většině případů se používá kapalných maziv.

Vzhledem k mnohostranným pochodům a metodám tváření a v současné době k extrémním celosvětovým požadavkům na potřebnou skladbu chladicí a mazací látky s přihlédnutím k ekologickým požadavkům, je třeba mít na zřeteli, že dobré mazivo má mít hlavně *schopnost vytvářet nosné mazací filmy* nebo filmy s optimálním koeficientem tření. Aby při vysokých tlacích nedocházelo k vytlačování maziva, přidávají se do něho vysokotlaké přísady (nejčastěji grafitu síry a mastku).

Mazivo musí být *nekorozivní*, tedy jak nástroj, tak i polotovar nesmí podléhat korozi. Dalším požadavkem je *snadné nanášení* a též i *odstraňování maziva z povrchu tvářeného materiálu*. Obtížnost nanášení je dána především viskozitou maziva. Snadná odstranitelnost maziva je důležitou vlastností, neboť mazivo nesmí mít negativní vliv na další zpracování polotovaru (např. svařování). Mazivo *nemá vyvolávat barevné změny na povrchu kovů, nevytvářet lepivé nánosy*.

Mazivo musí být *chemicky stálé*. Jeho vlastnosti se nesmí s časem výrazně měnit a to *např. působením vzduchu, světla a tepla*. S *teplotou souvisí další vlastnost maziva: tepelná stálost*, ta určuje schopnost maziva se změnou teploty stále plnit svůj úkol.

Mazivo by mělo být *snášlivé s ostatními procesními látkami* v průběhu konstrukce

daného výrobku. Též důležitá je *skladovatelnost* bez potřeby dodatečných úprav před nanášením.

Komplexním požadavkem na mazivo je, aby mělo *dostatečnou mazací schopnost*. To je vlastnost, která určuje schopnost přilnutí maziva k povrchu. Tento požadavek je dán především *mazivostí* a *viskozitou*. Mazivostí posuzujeme pevnost mezní vrstvy maziva. Viskozita je ukazatelem vnitřního tření a vyjadřuje odpor proti vzájemnému posunutí molekul maziva. Lepší výsledky se dosahují u maziv s vyšší viskozitou, neboť mají schopnost odolávat vyšším tlakům. Kromě toho se od maziv požaduje i *malá biologická agresivita*, *nízká toxicita*, snadná dostupnost v potřebném sortimentu, přijatelná cena a bezproblémová likvidace po upotřebení.

Samozřejmě požadavky na různé typové skupiny maziv jsou rozdílné a závisí zejména na druhu maziva a na aplikačních podmínkách, které musí splnit.

Při výběru vhodných metod tváření k zjištění vhodnosti maziva pro danou technologii musíme hledat vhodnou kombinaci struktury, rozmezí tvářecích teplota převažujících stavů s tlakovou napjatostí daného tvářeného materiálu.

2. Charakteristika technologie tažení drátu [3, 4]

Tažení je protahování polotovaru otvorem průvlatku, při kterém se zmenšuje příčný průřez a zvětšuje délka. Dosahuje se přesných rozměrů a tvarů, zlepšuje se jakost povrchu a mechanické vlastnosti. Nástroj je nepohyblivý.

Nejdůležitější podmínkou pro tažení drátů, trubek a profilů je snížení vnitřního pnutí pomocí mazání. Mazivo musí snižovat součinitel tření, oddělovat polotovar a průvlak, odvádět teplo a zajišťovat hladký povrch. Jako výchozí polotovar se používají např. tyče válcované za tepla. Následně se očistí od okují, na jednom konci zašpičatí a za takto upravený konec se chytne polotovar kleštěmi a následuje proces tažení.

Tvářecí proces tažení drátů a profilů se provádí za studena a to ve více stupních. Možné přetvoření je omezeno pevností daného materiálu. Sám název výstižně upozorňuje na to, že při této operaci se materiál prodlouží ve směru tažení a tedy - má-li být zachován jeho objem - zmenší se průřez. Redukcí průřezu napomáhá radiální tlak vznikající v kuželové části průvlatku. Tahové a tlakové síly vykonávají potřebnou deformační práci (tj. mění rozměry), třecí síly působí proti směru tažení a ohřívají materiál.

Z hlediska stavu napjatosti vzniká v pásmu deformace při tažení drátů kruhového průřezu stav prostorové napjatosti tah, tlak, tlak. Deformací je zde vlastně změna z původního průřezu na vstupu S_1 na průřez na výstupu S_2 .

Přetvoření drátu není v celém průřezu homogenní - prodloužení je v ose větší, než u okrajů.

2.1 Průvlaky pro tažení [3]

Průvlaky jsou značně namáhané na otěr. Jejich životnost a jakost povrchu má velký vliv na výrobnost a jakost tažených drátů. Tvar průvlatku (kalibrace) plní tyto funkce:

- vstupní kužel přivádí mazivo do pracovní části průvlatku a současně tvoří plynulý přechod do pracovní části,
- vstupní mazací kužel má otevření 45° až 60° ,
- tažný kužel deformuje polotovar na žádaný rozměr. Úhel vrcholu tažného kuželu a je 10 až 12° .

Kalibrační válcová část zajišťuje taženému drátu přesný rozměr a hladký povrch. Výstupní kužel brání poškození průvlatku při přetržení drátu nebo porušení okrajů kalibračního válce.

U všech průvlatku vyžaduje zvýšenou péči povrch pracovního kužele a válcové části. Pro životnost průvlatku, zejména při vysokých tažných rychlostech, je důležité mazání.

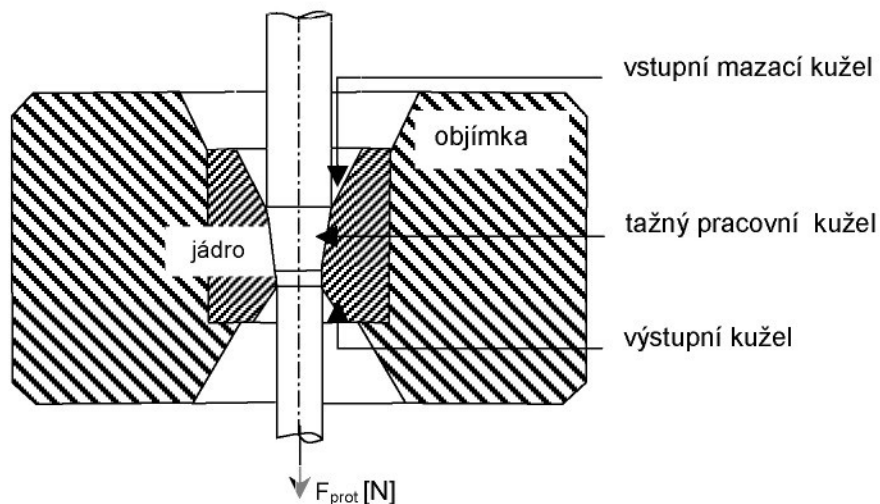
2.1.1 Základy tažení [3, 4]

Při tažení působí v pásmu deformace tyto síly:

F_T ... tahová síla ve směru podélné osy,

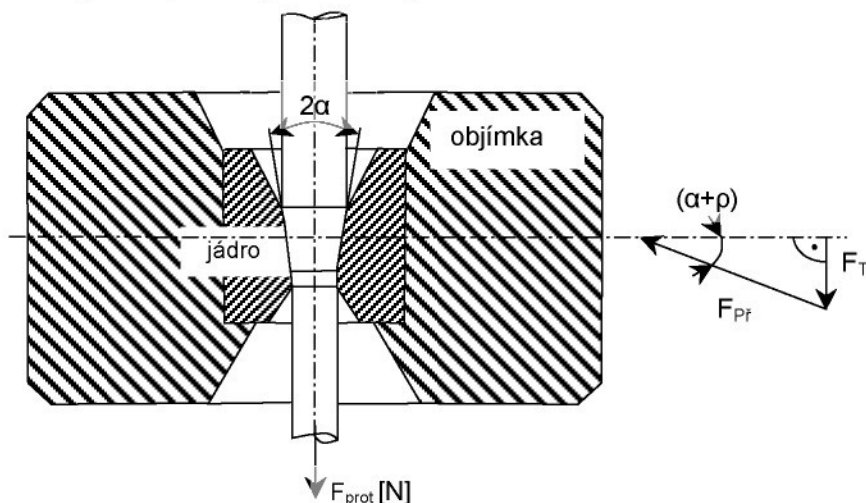
F_N ... tlaková síla, vznikající reakcí mezi taženým materiálem a stěnou průvlaku,

F_{Tf} ... třecí síla na stykové ploše průvlaku a taženého materiálu.



Obr. 2.1- Schéma průvlaku

Tahové a tlakové síly vykonávají užitečnou deformační práci, tj. mění rozměry tíženého materiálu, třecí síly působí proti směru tažení, zvyšují potřebu energie a způsobují ohřívání průvlaku a taženého materiálu.



Obr. 2.8- Síly a napětí působící při tažení

Následkem tření nepůsobí výsledná příčná síla (síla F_{Pf}) kolmo na stěny průvlaku (síla F_N), ale je skloněna o úhel ρ (třecí úhel) proti směru tažení

$$F_T = F_{Pf} \cdot \sin(\alpha + \rho) \quad (2.1)$$

z toho

$$F_{Pf} = F_T / \sin(\alpha + \rho) \quad (2.2)$$

Pro nejčastěji používané úhly α v rozmezí 5 až 10° a při dobrém mazání $\tan p = 0,05$ (odpovídající třecí úhel $p = 3^\circ$) je $(\alpha + p)$ v rozmezí 8 až 13°.

Potom:

$F_{Pr} = F_T / 0,225$ až $F_T / 0,14$, tzn. je 4krát až 7krát větší než tažná síla F_T

V pásmu deformace vzniká při tažení drátů kruhového průřezu osově symetrický nerovnoměrný stav prostorové napjatosti s hlavním tahovým napětím a dvěma tlakovými napětími (+ - -).

Hlavní napětí σ_1 se zmenšuje od maximální hodnoty v rovině výstupu až k nule ve vstupní rovině.

$$\sigma_1 = F_T / S_2 \quad (2.3)$$

kde S_2 je rovina výstupu z průvlaku [mm²].

Při tažení platí vztah:

$$\sigma_1 = (F_T / S_2) < \sigma_k \quad (2.4)$$

Při nesplnění tohoto vztahu by docházelo k dodatečným deformacím po výstupu z průvlaku. Pro vyčíslení přípustných tahových napětí se užívá součinitel rezervy:

$$K_r = (\sigma_k \cdot S_2) / F_T = \sigma_k / \sigma_1 = 1,1 \text{ až } 1,2 \quad (2.5)$$

Hlavní napětí:

σ_1 - tahové v podélném směru (σ_1)

σ_2 - tlakové radiální (σ_r)

σ_3 - tlakové tangenciální (σ_{tan})

Platí:

$$\sigma_1 - \sigma_2 \geq \sigma_{ps}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 \geq \sigma_{ps}$$

$$\sigma_2 = \sigma_3$$

Odpovídající skutečná deformace φ_1 (φ_1); φ_2 (φ_r) a φ_3 (φ_{tan}):

$$\varphi_1 > \varphi_2$$

$$\varphi_1 = \varphi_3$$

$$\text{tedy: } \varphi_r / \varphi_{tan} = 1 \text{ a } \varphi_1 / \varphi_{tan} = 2$$

$$\text{Hlavní deformace: } \varphi_1 = \ln l_2 / l_1 = \ln S_1 / S_2 = \varphi_1.$$

2.1.2 Výpočet tažné síly [3, 4]

Správně zvolená tažná síla umožňuje optimální využití tažných stolic vyloučením nebezpečí porušení celistvosti taženého materiálu.

Na tažnou sílu mají vliv tyto činitele:

- mechanické vlastnosti taženého materiálu (chemické složení, strukturní stav, stav předchozího zpevnění),
- plošný úběr: tažná síla se zvětšuje se zvětšujícím se plošným úběrem,
- tvar výrobku: se zvětšujícím se obvodem při stejném příčném průřezu se zvětšuje tažná síla. Nejnižší tažná síla je při tažení drátů kruhového

průřezu.

- tvar průvlatku: při malé hodnotě tažného úhlu a se zvětšuje účinek třecích sil, ale zlepšují se podmínky mazání. Naopak zvětšení tažného úhlu zvyšuje nerovnoměrnou deformaci, rychlost deformace a ztěžuje mazání. Velikost optimálních úhlů, při nichž je tažná síla minimální, závisí především na velikosti úběru.
- mazání: čím je tvrdší materiál průvlatků, tím menší je součinitel tření. Například použitím diamantových průvlatků se sníží tažné síly až o 20 % ve srovnání se slinutými karbidy. Vhodným mazáním lze součinitel tření snížit až na šestinu původní hodnoty.
- rychlost tažení: ovlivňuje zvýšení teploty taženého materiálu a způsob mazání. V oblasti malých rychlostí tažení zvýšení tažných rychlostí poněkud zvyšuje tažné síly, při vysokých tažných rychlostech je obrácení závislost.

Schéma výpočtu tažné síly podle E. Siebela; tažná síla F_T se vyjadřuje pomocí deformační práce A jako podíl deformační práce a délky drátu po tažení:

$$F_T = A/l_2 \quad (2.6)$$

kde:

F_T ... je tažná síla [N],

A ... deformační práce [J],

l_2 ... délky drátu po tažení [m].

Deformační práci dělí E. Siebel na složky:

$$A_c = A_d + A_{tf} + A_{vn} \quad (2.7)$$

kde:

A_c ... je celková deformační práce při tažení [J],

A_d ... užitečná deformační práce [J],

A_{tf} ... práce potřebná k překonání vnějšího tření [J],

A_{vn} ... práce potřebná k překonání vnitřního tření [J].

Vyčíslení jednotlivých složek deformační práce:

$$A_d = V \cdot \sigma_{ds} \cdot \ln(S_1/S_2) \quad (2.8)$$

$$A_{tf} = V \cdot \sigma_{ds} \cdot [\mu / (\sin \alpha \cdot \cos \alpha)] \cdot \ln(S_1/S_2) \quad (2.9)$$

$$A_{vn} = (2/3) \cdot A_d \cdot [\alpha / \ln(S_1/S_2)] = (2/3) \cdot V \cdot \sigma_{ds} \cdot \alpha. \quad (2.10)$$

Konečná rovnice pro výpočet tažné síly:

$$F_T = \sigma_{ds} \cdot V \cdot \ln(S_1/S_2) \cdot \{1 + [\mu / (\sin \alpha \cdot \cos \alpha)] + [2\alpha / (3 \cdot \ln(S_1/S_2))]\} / l_2 \quad (2.11)$$

kde:

S_1, S_2 ... je příčný průřez před průchodem a po průchodu [m²],

μ ... součinitel tření na stykové ploše,

α ... úhel průvlatku (tažný úhel),

σ_{ds} ... střední deformační odpor [Pa],

V ... deformovaný objem [m³].

3. Vliv tribologie na tvářecí procesy [1, 6]

Tribologie (slovo pochází z řeckých základů tribos - tření, logos - nauka, věda) je vědním oborem, který se zabývá chováním (vzájemným působením) dotýkajících se povrchů ve vzájemném pohybu, nebo při jejich pokusu o vzájemný pohyb. Vzájemný pohyb může být kluzný nebo valivý, rotační nebo přímočarý, kontinuální nebo vratný (kmitavý), trvalý nebo občasný, případně různě kombinovaný. K vzájemnému působení dochází mezi tuhými povrchy, nebo mezi tuhým povrchem a kapalinou, plynem, parou nebo jinými látkami.

3.1 Kontaktní procesy [1]

Kontakt mezi jednotlivými členy tribologického systému je základním znakem a jevem chování tribologického systému. Při kontaktních procesech je třeba uvažovat se základními tvarově-rozměrovými a materiálovými vlastnostmi dotýkajících se částí, jejich vzájemnou vazbou a reakcích mezi nimi. Tyto interakce mohou být materiálové, fyzikální, chemické, atd.

Vzhledem k velké variabilitě kontaktních situací je třeba zvažovat řadu vlivů:

- počet těles zúčastňujících se na kontaktním procesu,
- makrogeometrii a mikrogeometrii kontaktních těles,
- fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti těles tvořících tribologický systém,
- charakteristický druh deformace mezi jednotlivými tělesy,
- typ a rychlost vzájemného relativního pohybu,
- velikost kontaktních napětí.

Při řešení tribologických problémů v praxi má velký význam plocha styku, jež zprostředkuje přenos pohybu. Nerozhoduje však geometrická plocha, ale skutečná plocha styku, jež je menší a jen výjimečně se rovná geometrické ploše.

3.2 Procesy tření [1]

Průvodním jevem každého pohybu nebo pokusu o pohyb je tření. Tření s sebou ale, z pohledu základních aspektů aplikované tribotechniky, přináší řadu negativních důsledků; jedním z nejvýznamnějších, který přímo ovlivňuje spolehlivost, funkčnost a životnost strojů je opotřebení.

Tření

Tření lze definovat jako *ztráta mechanické energie v průběhu, na začátku nebo při ukončení relativního pohybu navzájem se dotýkajících materiálových oblastí.*

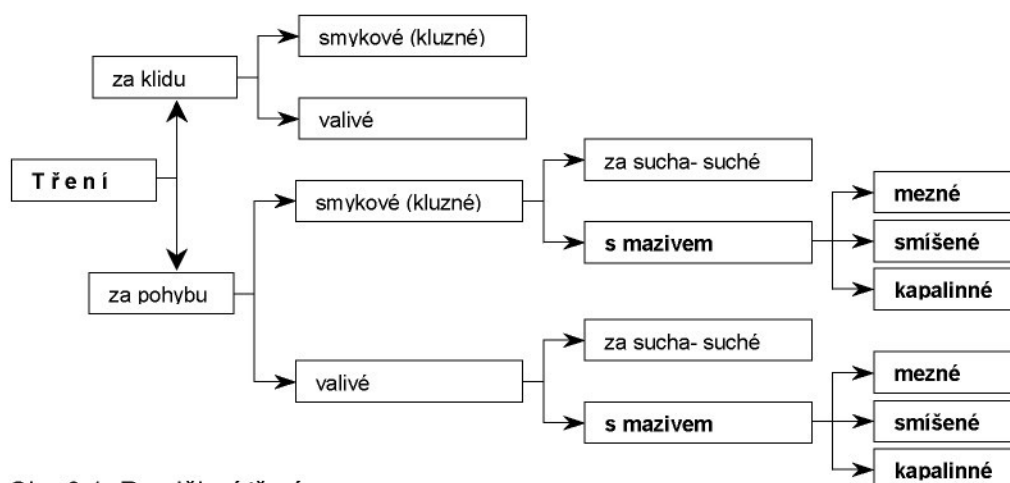
Při vzájemném kontaktu povrchů, které jsou v pohybu, dochází k odporu proti pohybu vlivem působení třecí síly; ta působí v rovině styku pohybujících se

těles a její velikost závisí na řadě faktorů. Efekt, který v důsledku jejího působení vzniká se označuje termínem tření.

Při relativním pohybu tuhých, vzájemně se dotýkajících povrchů je tření vždy provázeno ztrátou mechanické energie, která se proměňuje v energii tepelnou. Dalším důsledkem tření je opotřebení, které bývá definováno jako trvalá změna tvaru na plochách tuhých těles, která vznikla právě následkem tření, nikoliv tedy záměrnou změnou tvaru (jako je tomu např. při obrábění a tváření kovů).

Tření může na jedné straně sloužit k přenášení nebo naopak k zastavování pohybu (třecí spojky, pásové, kotoučové a diskové brzdy aj.); v takových případech ho využíváme. Většinou však je negativním průvodním jevem pohybu, který se snažíme zcela odstranit, nebo alespoň, podle možností, přiměřeně zmenšit.

V technické praxi se pravidelně setkáváme s několika kvalitativně odlišnými typy tření. Obvykle se uvádí toto základní rozdělení - viz následující obr. 3.1.



Obr. 3.1- Rozdělení tření

Při řešení jednotlivých tvářecích technologií nelze nikdy dosáhnout ideální rovinnosti stýkajících se ploch nástroje a tvářeného materiálu. Skutečný styk se děje pouze mezi konečným množstvím vyvýšených bodů, které jsou během technologického procesu deformovány.

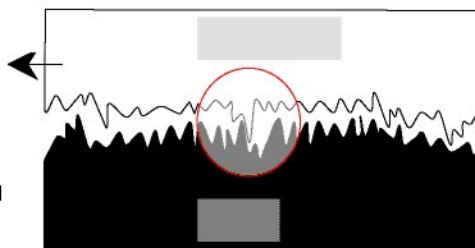
Tření smykové (kluzné) vzniká mezi povrchovými plochami těles ve vzájemném pohybu na rovinné ploše (např. kluzné vodící plochy, axiální kluzná ložiska), nebo na zakřivené ploše (radiální kluzná ložiska). Třecí síla bývá relativně velká a je poplatná podmínkám, které panují v třecím kontaktu.

Tření valivé vzniká při odvalování rotačního tělesa po zakřivené nebo rovinné ploše a styk těles je jen bodový, příp. přímkový a trvá vždy jen krátkou dobu. Třecí síla je v takovém případě malá (např. valivá ložiska).

Tření smykové a valivé se v technické praxi může u některých pohyblivých

součástí vyskytovat současně - ve vzájemné kombinaci (např. boky zubů ozubených převodů - soukolí). Vznik smykového tření je možné chápat (při určitém zjednodušení) jako výsledek vzájemného abrazivního a adhezivního účinku kontaktních povrchů v relativním pohybu.

Abrazivní tření je způsobeno ostrými výčnělky (nebo úlomky) tvrdšího třecího povrchu a závisí zejména na drsnosti povrchů pohybujících se těles. Dochází k němu zejména tehdy, když se třecí plochy k sobě přiblíží tak blízko, že dojde ke kontaktu vyvýšenin obou povrchů.



Obr. 3.2- Podstata vzniku abrazivní složky tření

Ty se při dalším vzájemném pohybu třecích ploch o sebe zachycují a deformují nebo se ulamují (abrazivní opotřebení). Velikost abrazivní složky tření se samozřejmě zvyšuje s rostoucí drsností povrchů.

Abraze je jevem zcela nežádoucím, jelikož energetické ztráty, vznikající v jejím důsledku a zejména velikost opotřebení pohyblivých kontaktů (strojních dílů), dosahují nepříjemně vysokých hodnot.

Adhezivní tření je způsobeno adhezí výčnělků nerovností povrchů. Tato adhezivní spojení - tzv. můstky, vznikají na vrcholcích mikronerovností vlivem aktivovaných mezi-molekulárních sil třecích povrchů, při přiblížení kontaktních ploch na tzv. meznou vrstvu maziva (k tomu



Obr. 3.3- Podstata vzniku adhezivní složky tření

dochází obvykle vlivem extrémně vysokých lokálních tlaků). Vzniklé můstky mají charakter svarů, které se za vzájemného pohybu od sebe odtrhují (adhezivní opotřebení), tím vzniká třecí síla a samozřejmě i energetické ztráty. Jelikož často dochází k odtržení kontaktních povrchů nikoliv v rovině svaru, ale k vytržení materiálu (obvykle měkčího) jednoho či druhého povrchu, dochází k opotřebení, případně k plastické deformaci materiálu.

Třecí síla působí, jak již bylo uvedeno, vždy v opačném směru relativní rychlosti pohybů.

Podmínky, ovlivňující její vznik i velikost jsou odlišné podle toho, jedná-li se o tření smykové (kluzné) nebo valivé.

Třecí sílu, jako odpor proti pohybu třecích ploch dvou těles, lze vyjádřit matematickým vztahem:

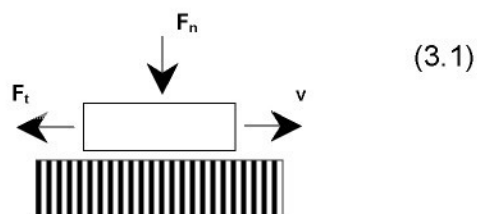
$$F_t = \mu_{sm} \cdot F_n$$

Legenda použitých symbolů:

F_t ... třecí síla [N]

F_n ... normálová síla [N]

μ_{sm} ... součinitel smykového tření



Obr.3.4- Podstata smykového (kluzného) tření

Ze vztahu vyplývá, že výsledná třecí síla je nezávislá na velikosti stykové plochy a že její velikost je charakterizována tzv. součinitelem (koeficientem) tření. Třecí síla u suchého tření závisí na:

- fyzikálně chemických vlastnostech materiálů třecích ploch,
- drsnosti a čistotě povrchu třecích ploch,
- zatížení třecích ploch,
- době klidu (statický součinitel tření s dobou klidu omezeně stoupá),
- na době pohybu (u některých materiálových dvojic v omezené míře μ_{sm} klesá - záběh).

Součinitel suchého tření smykového se pohybuje v rozsahu asi $\mu_{sm} = 0,2$ až $0,5$ i více. Součinitel valivého tření je pro stejné materiály a zatížení menší než u tření smykového a pohybuje se obvykle v rozmezí $\mu_v = 0,001$ až $0,01$. Při suchém tření dochází k velkým ztrátám energie a k velkému opotřebení.

Těmto ztrátám a opotřebení můžeme zabránit, nebo je přijatelně snížit vhodnou látkou (mazivem), které dopravíme mezi třecí plochy. Vlastnosti maziva (samozřejmě kromě ostatních vlivů jako je zatížení, smyková rychlost aj.) mají zásadní vliv na tzv. „stav mazání“, tj. na to, zda bude tření probíhat v oblasti:

- suchého tření,
- kapalinného tření,
- mezního tření,
- smíšeného tření.

3.2.1 Suché tření [1, 6]

Tento druh tření vzniká při bezprostředním styku dotykových ploch bez přítomnosti jakéhokoli maziva.

Při tváření je tento stav nežádoucí a vyskytne se pouze při chybném nanesení a nebo při opomenutí nanesení mazadla.

Dva po sobě pohybující se povrchy se stýkají pouze na vrcholcích nerovností a ty jsou plasticky deformovány. Přítlačná normálová síla F_n vyvolává plastickou deformaci na vrcholcích nerovností vlivem velkého místního tlaku.

Vytvoří se činná plocha styku S , která je dána rovnicí (3.2):

$$S = F_n / p_m \quad (3.2)$$

Legenda použitých symbolů:

p_m ... střední tlak potřebný pro vznik plastické deformace nerovností [Pa].

F_n ... normálová síla [N]

Při vlastním styku vrcholů v oblasti suchého tření dochází k jejich svařování. Tato svarová spojení se při posunutí materiálu v nástroji přerušují. Obtížnost k přerušení svaru je závislá na jejich kvalitě, takže nabývá na důležitosti jejich vzájemná rozpustnost.

Podle dnešních představ má suché tření dva aspekty:

- deformační,
- adhezní.

V prvním se více uplatňuje mechanika, v druhém chemie. Na obojí mají vliv vlastnosti povrchů, jejich velikost, topografie, tepelné vlastnosti, mechanické vlastnosti, chemické složení včetně přítomných nečistot, adsorbovaných, reakčních a nanesených tuhých vrstev a chemická reaktivita.

3.2.2 Kapalinné tření [1]

Jestliže při vzájemném pohybu těles dojde mezi nimi k vytvoření souvislé vrstvy maziva, jejíž tloušťka je větší než součet nerovností povrchů (tzn. že dojde k dokonalému oddělení třecích ploch), mluvíme o kapalinném tření. Při něm probíhá vlastní proces tření pouze v mazivu a výsledná třecí síla je závislá jen na velikosti vnitřního tření mazacího prostředku v mazací vrstvě.

Součinitel tření, který je možný exaktně (dle matematických výpočtů) stanovit je pak dán vztahem:

$$\mu = \eta \cdot v / h \cdot p \quad (3.3)$$

Legenda použitých symbolů:

μ ...součinitel tření

η ...dynamická viskozita maziva [Pa.s]

v ...lineární rychlost pohybu třecích povrchů [m.s⁻¹]

h ...tloušťka vrstvy maziva [m]

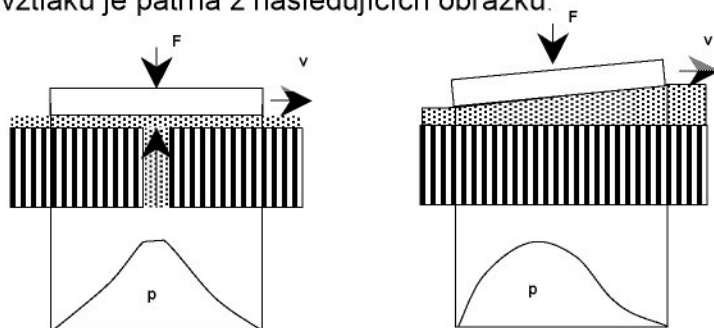
p ...měrný tlak [N m⁻²] = F/S

F ... kolmé zatížení [N]

S ...styčná plocha třecích povrchů [m²]

Koeficient tření se při kapalinném tření obvykle pohybuje přibližně v rozsahu 0,0001 až 0,05.

Potřebný tlak ve vrstvě maziva (vztlak) lze dosáhnout hydrostatickým (obr.3.7- a) nebo hydrodynamickým (obr. 3.7- b) způsobem; podstata vytváření vztlaku je patrná z následujících obrázků:



Obr. a

Obr. b

Obr. 3.5- Princip hydrostatického a hydrodynamického mazání- vytvoření tlaku

Vznik hydrodynamického vztlaku je podmíněn vytvořením klínové vrstvy maziva. Ta vznikne, jestliže je kapalné mazivo unášeno do zúženého prostoru, kde povrch jednoho tělesa je nakloněn nebo sešikmen proti druhému (obr. b). V klínové vrstvě maziva se v důsledku rozdílů rychlostí vytvoří hydrodynamický tlak, který působí na smykové plochy.

Základní podmínkou tvorby klínové vrstvy je dostatečná smyková rychlost- obvykle se za minimální hranici považuje hodnota cca 0,5 m/s; její hodnota závisí kromě jiného především na přenášeném zatížení (F). Velikost (tloušťka) vytvořené klínové vrstvy závisí tedy na relativní smykové rychlosti kontaktní dvojice, na viskozitě maziva a na sešikmení pohybujících se povrchů. Samozřejmou a nezbytnou podmínkou je stálý přívod maziva mezi smykové plochy v dostatečném množství.

Hydrostatický tlak bývá nezbytné generovat v takových případech, kdy v uložení nejsou vytvořeny podmínky pro vznik hydrodynamického vztlaku v mazivu. To jsou např. případy velmi nízkých smykových rychlostí a velkých tlaků. Hydrostatického tlaku se dosahuje zavedením kapalného maziva mezi smykové plochy pomocí čerpadla (tlak musí odpovídat přenášenému zatížení- obr. a). V oblasti hydrodynamického a hydrostatického mazání je rozhodující funkční vlastností kapalného maziva jeho viskozita.

3.2.3 Mezní tření [1]

Jestliže nejsou v uložení vytvořeny podmínky pro vznik kapalinného tření (malé smykové rychlosti, velká zatížení ale také nedostatečný přívod maziva nebo nevhodná viskozita) dojde k přiblížení třecích ploch až na tzv. meznou vrstvu maziva. Ta je tvořena polárními molekulami, které mazivo ve větší nebo menší míře obsahuje; ty jsou adsorbovány na třecích plochách. Za těchto podmínek sice dochází ke zvýšení koeficientu tření, ale opotřebení zůstává obvykle ještě v technicky přijatelných mezích.

Koeficient mezného smykového tření se pohybuje podle experimentálních zjištění v rozsahu cca 0,02 až 0,2.

Rozhodující vlastností maziva v oblasti mezného tření je jeho mazivost (přilnavost) jejímiž nositeli jsou již zmíněné polární molekuly.

Mazivost můžeme definovat jako komplex vlastností, které způsobují, že dvě maziva stejné viskozity pracující za stejných podmínek, teplot a tlaků, mají v režimu mezného mazání dvě různé hodnoty součinitele tření. Menší hodnota odpovídá mazivu s lepší mazivostí.

Mezné tření je vždy přímo spojeno jednak s fyzikální nebo chemickou adsorbací kapalných maziv na povrchu třecích dvojic, jednak s chemickými změnami třecích povrchů (tvorba filmu kovových sloučenin na povrchu třecích ploch vlivem působení přísad vysokotlakých látek).

3.2.4 Smíšené tření [1]

Smíšené tření je přechodovým stavem mezi třením kapalinným a mezným; vzniká, jestliže třecí plochy nejsou dokonale odděleny vrstvou maziva dostatečného tlaku a dochází k určitému kontaktu jejich nerovností. Hranice mezi třením mezným, smíšeným a kapalinným je dána tloušťkou vrstvy maziva mezi třecími povrchy. Jestliže je menší než tloušťka h (nejmenší přípustná tloušťka maziva k docílení hydrodynamického mazání respektující i drsnost a vlnitost třecích povrchů), ale je větší než tloušťka tenkého filmu při mezném mazání, dochází k mazání smíšenému.

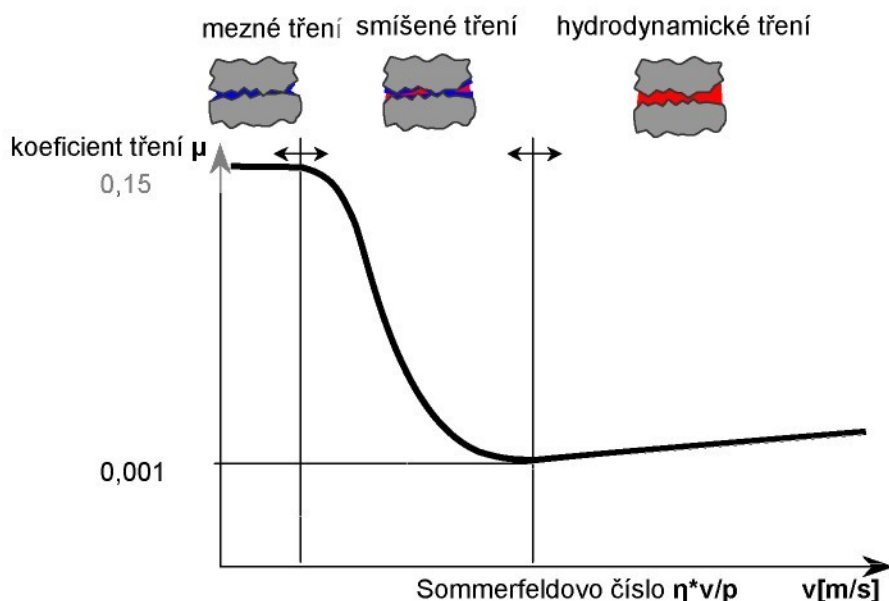
Při velmi malých smykových rychlostech- asi pod 50 mm/min- má viskozita oleje i zatížení třecích ploch jen malý vliv na koeficient tření, protože převažuje mezné tření, kdy jsou rozhodující mazivostní vlastnosti maziva (přilnavost a aditivace).

Při větších rychlostech se koeficient tření s rostoucím zatížením zmenšuje a s rostoucí viskozitou oleje naopak zvyšuje. Hodnoty koeficientu smíšeného smykového tření se pohybují podle experimentálních zjištění v rozsahu 0,05 až 0,1.

Ke smíšenému až meznému tření dochází při relativně malých rychlostech třecích ploch, při změnách směru jejich pohybu a při jejich velkém zatížení. Může k němu ale dojít i při poklesu viskozity oleje na hodnotu, která při dané rychlosti a zatížení třecích ploch nezajišťuje vytvoření dostatečné tlusté mazací vrstvy. Příčinou může být mj. i nedostatečný přívod maziva.

Jednotlivé oblasti mezného, kapalinného a smíšeného tření jsou graficky znázorněny v tzv. Stribeckově diagramu, v němž je zachycen průběh koeficientu tření v závislosti na kluzné rychlosti (obr. 3.6).

Křivka charakterizuje kontinuální průběh hodnot třecích odporů (vyjádřených součinitelem tření) v kluzném uložení při měnící se kluzné rychlosti.



Obr. 3.6- Vliv koeficientu tření na kluzné rychlosti

3.3 Tribotechnika [1]

Tribotechnika je jak již bylo řečeno dílčí oblastí tribologie. Obecně je možné zájmovou oblast tribotechniky definovat třemi hesly -tření, opotřebení, mazání. Tribotechnika vychází z tribologických poznatků a snaží se o technické a ekonomické ovládání tření a opotřebení třecích míst vědecky odůvodněnými opatřeními při jejich dimenzování, výrobě, provozu a údržbě; tato opatření jsou cíleně zaměřena zejména na:

- snížení spotřeby energie potřebné k pohonu strojů,
- snížení nákladů na údržbu a opravy strojů,
- snížení prostojů, vzniklých v důsledku poruch a následných oprav,
- zvýšení produkční schopnosti a životnosti strojů a zařízení,
- zvýšení výrobní přesnosti strojů,
- optimální využívání maziv a způsobů jejich aplikace,
- snížení nákladů potřebných na zajištění vhodných maziv.

Přesné číselné zhodnocení úspor, dosažených pomocí uplatňování poznatků tribotechniky je obtížné, zejména vzhledem k tomu, že řadu druhotných faktorů (např. zvýšení přesnosti a trvanlivosti strojů aj.) lze jen těžko přesně numericky vyjádřit.

Mezi hlavní předměty, kterými se tribotechnika zabývá, patří především maziva v celé šíři své problematiky; v tomto směru se zejména jedná o aspekty, týkající se jejich aplikace, zkoušení, diagnostiky a forem či způsobů používání. Neméně důležité jsou ale i základní poznatky, týkající se tření a opotřebení.

3.3.1 Mazání z pohledu základních tribotechnických principů

Tření, vznikající mezi pohyblivými povrchy, díly strojů a zařízení, je jevem, který může zásadně měrou ovlivnit jejich efektivnost i životnost. Je tedy nasnadě snaha tření a jeho negativní vlivy pokud možno zcela vyloučit nebo alespoň významně omezit; toho je možné dosáhnout s pomocí vhodných látek, dopravených do třecího kontaktu. Hlavním úkolem takovýchto pomocných prostředků je optimalizovat (tj. snížit nebo zcela vyloučit) tření mezi třecími povrchy dvou těles ve vzájemném pohybu.

3.3.2 Základní vlastnosti maziv [8]

Látky, které využíváme k ovlivnění třecích procesů v pohyblivých kontaktech, označujeme společným názvem **maziva**; aby mohly plnit požadované funkce, musí mít některé specifické vlastnosti - k nim patří především:

- dokonalá smáčivost povrchů,
- malé vnitřní tření,
- dostatečné mazací vlastnosti a vysoká únosnost mazacího filmu,
- dostatečná mechanická a chemická stálost,
- snášenlivost s konstrukčními materiály - kovy, plasty, těsnicí materiály aj..

Kromě toho se od maziv požaduje i malá biologická agresivita, nízká toxicita, snadná dostupnost v potřebném sortimentu, přijatelná cena a bezproblémová likvidace po upotřebení.

Samozřejmě požadavky na různé typové skupiny maziv jsou rozdílné a závisí zejména na druhu maziva a na aplikačních podmínkách, které musí splnit. Např. od olejů určených pro krátkodobé (ztrátové) mazání zatížených kluzných uložení se vyžadují velmi dobré mazací vlastnosti, bez vyšších nároků na jejich chemickou stálost.

Mazivo, dopravené mezi pohybující se třecí plochy, má zásadní vliv na to, k jakým třecím projevům dojde. To ovlivní v zásadě už i typ použitého maziva - v tribotechnické praxi se můžeme setkat s mazacími prostředky nejrůznějších podob a užitných vlastností. Mazivem může být v zásadě látka jakéhokoli skupenství. V praktických aplikacích se používají maziva kapalná, plastická i tuhá.

3.3.2.1 Základní úkoly maziva [8, 10]

Základním úkolem každého maziva je, jak bylo uvedeno, snižovat tření, ale počet jeho skutečných funkcí je daleko větší. Mezi ně patří zejména:

- redukce opotřebení - zabránit nadměrnému opotřebení třecích ploch,
- odvod tepla - v každém třecím kontaktu vzniká teplo, které je třeba odvést,
- dotěsnění - mazivo zabraňuje, aby do mazané části stroje nevnikaly cizí příměsi z okolí (prach), příp. utěsňuje větší vůle, snižuje hladinu hluku a ztráty únikem. U kapalných maziv je pro jejich těsnicí schopnost rozhodující viskozita.
- ochrana kovových ploch před korozí - při vniku vlhkosti musí mít mazivo

schopnost zabránit rezivění železných kovů a samo nesmí korozivně napadat neželezné slitiny (maziva s obsahem silně reaktivních přísad),

- čistící a oplachovací účinek - mazivo musí oplachovat povrchy třecích ploch, případně rozpouštět usazeniny a nečistoty a oděrové částice odnášet k filtrům.

K tomu, aby mazivo mohlo plnit danou funkci, nebo funkce musí mít odpovídající vlastnosti a tyto vlastnosti si musí podržet po přiměřeně dlouhou dobu, aniž by došlo k takovým změnám, které by jeho funkci ohrozily. Mazivo je během svého použití vystaveno různým vlivům, které mění jeho složení a tím i funkční vlastnosti. Je to zejména vliv vzdušného kyslíku, účinek energií (tepla, světla, příp. záření či elektrického pole), tlaku, katalytického účinku kovů zejména mědi a cizích příměsí, především vlhkosti a prachu. Tyto vlivy nepůsobí izolovaně, ale nikdy v celém rozsahu. Komplexně obvykle působí vliv kyslíku, tepla příp. světla, katalyzátoru a často i vody a tlaku, ostatní vlivy se vyskytují obvykle jen při speciálních aplikacích.

3.3.3 Druhy maziv využívaných v praktických aplikacích- dělení

Použití určitého typu maziva závisí na tom, pro jaký materiál a technologii tváření má být mazadlo použito.

3.3.3.1 Základní skupiny maziv- třídění podle skupenství [5]

Podle skupenství řadíme jednotlivé mazací prostředky do tří základních skupin:

Kapalná maziva (KM) (mazací oleje), složena ze *základového oleje* a *zušlechťujících (vysokotlakých) přísad*. Základové mazací oleje nesplňují vždy požadavky na konečné vlastnosti pro jednotlivé druhy olejů a proto jsou přidávány látky, které jejich vlastnosti zlepšují, se nazývají zušlechťující přísady. Zušlechťující přísady se používají v případech, kdy není možno zajistit požadované vlastnosti pouze základovým olejem.

Od základových olejů jsou požadovány velmi dobré viskozitně teplotní vlastnosti a vysoký viskozitní index, nízká odparnost oleje, nízká pěnovitost oleje, velmi dobrá tepelně oxidační stálost a velmi dobré nízkoteplotní vlastnosti.

Přestože se vlastnosti základových olejů neustále zdokonalují, není možno zajistit všechny požadované vlastnosti oleje jen použitím základového oleje a je nutno používat přísady pro další zlepšení jejich vlastností.

Používají se:

- modifikátory viskozity pro zlepšení viskozitně teplotní závislosti,
- depresanty (zlepšují teplotu tekutosti),
- antioxidanty (pro zlepšení tepelně oxidační stálosti),
- detergentně- disperzní přísady pro udržení mazacího systému v čistotě,
- (zlepšení mazací schopnosti oleje),
- protioděrové přísady,

- deemulgátory (přísadady zabraňující vzniku emulze oleje s vodou) pro zlepšení deemulgačních vlastností,
- protikoroziční přísady pro zlepšení protikorozních vlastností a ochranu proti korozi,
- vysokotlaké přísady pro zlepšení mazací schopnosti za vysokých tlaků,
- protipěnovostní přísady pro snížení pěnovosti olejů.

Základové oleje rozdělujeme na ropné a syntetické.

Oleje, především syntetické, mají vynikající nízkoteplotní vlastnosti a viskozitně teplotní závislost. Dále mají nízkou odparnost, vytvářejí stabilní olejový film a díky němu je dosahováno při použití těchto olejů nižšího opotřebení. Nevýhodou je nutnost odmašťování.

Olejové emulze, složené z olejů rozpustných ve vodě, se snadno odstraňují z povrchu výlisků, ale mají problémy s odmašťování po tepelném zatížení a s lepidly.

Plastická maziva (PM) představují rozsáhlou skupinu mazacích „přípravků“, kterou lze při kategorizaci maziv zařadit do „mezery“ mezi maziva kapalná a pevná. Lze je popsat jako tuhé až polotekuté disperze zahušťovadla v kapalném mazivu. Obvykle obsahují také přídavné složky zajišťující zvláštní vlastnosti a zahušťovadlem je obvykle kovové mýdlo.

Plastická maziva jsou plnohodnotným konstrukčním prvkem, zvláště tehdy, jsou-li použita pro dlouhodobé mazání nebo jako celoživotnostní náplň. Podobně jako jiné druhy maziv zabráňují přímému kontaktu třecí dvojice a tím minimalizují tření a opotřebení a zvyšují účinnost přenosu energie. Ve srovnání s kapalnými mazivy mají řadu výhod:

- plastická maziva tečou jen vlivem síly,
- mají menší součinitel tření,
- mají lepší přilnavost k povrchům,
- jsou odolnější vůči vodě,
- (zdánlivá) viskozita plastických maziv je méně závislá na teplotě.

Ve srovnání s kapalnými mazivy mají jen dvě nevýhody. Nejsou ideální volbou je-li důležitým problémem odvod tepla, a mají nižší hodnotu mezní rychlosti, protože mají vyšší viskozitu

Tuhá maziva (TM) zahrnují grafit, sirník molybdenu a teflon. Tyto látky aplikujeme ve formě prášku, který přilne k oběma třecím plochám a chemicky s nimi reaguje. Posláním těchto maziv je oddělit od sebe obě třecí plochy prostředím s malým koeficientem tření. Tohoto způsobu mazání se používá při vysokých teplotách a tlacích a v agresivním prostředí, kde jsou jiné druhy maziv neefektivní.

3.3.3.2 Základní skupiny maziv- třídění podle úrovně [5]

Také v tomto případě existují v zásadě dvě hlavní skupiny:

- běžná maziva,
- speciální maziva.

Běžná maziva- přibližná definice uvádí, že se jedná o maziva, určená pro obvyklé (běžné) provozní podmínky; jedná se v tomto případě o běžná namáhání především z pohledu:

- termického a oxidačního namáhání,
- schopnosti přenosu zatížení - požadované úrovně mazacích vlastností,
- reologických vlastností,
- odolnosti vodě a jiným látkám,
- jiných aspektů.

Skupina běžných maziv v sobě zahrnuje jak produkty kapalně (KM), tak produkty plastické (PM) a samozřejmě i některé produkty tuhé (TM). Tvoří více než 95 % celkové nabídky maziv, která se objevují na trhu.

Speciální maziva- mezi ně řadíme obvykle produkty pro zvláštní provozní požadavky; vymykají se požadavkům, které se kladou na běžná maziva. Při bližším pohledu je zřejmé, že jde o produkty, splňující požadavky týkající se zejména:

- provozních teplot,
- pracovních tlaků,
- obvodových rychlostí,
- vlivu prostředí- např. působení agresivních látek, vlhkosti, přímého působení vody, prašnosti aj.,
- čistoty,
- jiných požadavků.

Skupina speciálních maziv, podobně jako skupina maziv běžných, zahrnuje produkty kapalně, produkty plastické a dosti často i některé produkty tuhé. Speciální maziva mají z obecného pohledu některé specifické atributy, mezi něž patří zejména tyto:

- vyrábějí se velmi často (mnohem častěji než maziva běžná) ze syntetických základových materiálů (komponent), atd...

Zcela specifické jsou i aplikační oblasti speciálních maziv. Mezi hlavní oblasti jejich využívání- tedy oblasti, v nichž se speciální maziva především uplatňují patří zejména:

uložení s extrémními teplotami (teploty vysoké i nízké) obvykle:

- pokud se jedná o kapalná maziva, bývá teplotní rozmezí použitelnosti ohraničeno hodnotami od cca- 70 °C do cca 180 °C (výjimečně se vyskytují požadavky na schopnost funkce maziv i za teplot vyšších),
- v případě plastických maziv bývají tyto hranice od cca-70 °C do cca 280 °C; p ři tzv. "suchém mazání" je možné počítat s vyhovující funkcí některých speciálních maziv až do cca 1200 °C.

(Vzhledem k rozsahu diplomové práce jsou již jen níže podrobněji rozvedeny tribologické požadavky na tvářecí procesy protlačování, protahování a tažení, při kterých bylo provedeno experimentální zkoušení tribologických vlastností vybraných maziv.)

3.3.4 Druhy maziv pro vybrané technologie tváření

Při výrobě součástek pomocí tvářecích technologií, kde je extrémní požadavek na mazací výkon, je nutné použít mazivo s dobrou přilnavostí k povrchu a vysokou odolností mazacího filmu.

3.3.4.1 Maziva pro tažení [9, 10]

Důvodem, proč se při tažení používají maziva, je zabránění vzniku kovového styku mezi materiálem nástroje a vyliskem. Zároveň mazivo chrání nástroj před opotřebením a vylisek před otěrem. Vlivem použití maziva se snižuje součinitel smykového tření a tím je také možno snížit velikost síly potřebné k tažení.

Pro tento účel se tradičně používají maziva na bázi minerálního, rostlinného oleje, nebo živočišných tuků s vysokou viskozitou, která jsou často obohacena o vysokotlaká aditiva pevné látky.

Při procesu tváření viskózní olej vytvoří mazací film mezi výrobkem a nástrojem. Vlivem nárůstu plošného tlaku je mazivo vtlačeno do nerovností povrchů. Pokud je síla mazacího filmu nedostatečná, tak se film poruší a dochází k přímému styku povrchů nástroje a výrobku. Dochází k otěrům a poškození výrobku i nástroje. Z tohoto důvodu se používají maziva obohacená o vysokotlaká aditiva. Tato aditiva reagují s kovem a vytváří konverzní vrstvu s nízkým součinitelem tření. Tato vrstva brání přímému kontaktu nástroj/výrobek. Tato aditiva pak následně způsobují, že se mazivo obtížně odmašťuje díky své přirozené povaze (vysoká viskozita), způsobuje nestejnou kvalitu povrchu a může být příčinou častějšího výskytu defektů ve finální povrchové úpravě výrobků.

Dalším způsobem jak snížit tření mezi nástrojem a výrobkem je použití maziva obohaceného o jemně mleté částice jako například grafit, sulfid molybdeničitý, křída atd...

3.3.4.2 Maziva pro objemové tváření- protlačování a protahování [3, 12, 10]

Nejdůležitější podmínkou pro tažení drátů a profilů je snížení vnitřního pnutí pomocí mazání. Mazivo musí snižovat součinitel tření, oddělovat polotovary a průvlak, odvádět teplo a zajišťovat hladký povrch. Při procesu protlačování je jedním z rozhodujících faktorů také tření, které výrazně ovlivňuje vlastní proces a výslednou kvalitu výrobku.

Pro vysoké měrné tlaky při protlačování a protahování jsou s výhodou využívány jako mazadla maziva s obsahem vysokotlakých aditiv, která sníží součinitel tření. Nebo jak již bylo výše uvedeno (viz. 3.3.4.1) lze použít maziva obohacená o jemně mleté částice jako například grafit, sulfid molybdeničitý, křída apod..., které sníží tření mezi nástrojem a výrobkem.

Druh a vlastnosti maziva se řídí tvářecím procesem a druhem tvářeného materiálu a jeho předběžnou úpravou.

3.3.5 Prvky a systémy mazací techniky [11]

Prvky a systémy mazací techniky jsou souborem zařízení, která slouží k dopravě mazacích prostředků do třecích ploch strojů a strojních zařízení za účelem snížení třecí síly a intenzity opotřebení.

Správná volba prvků a systémů mazací techniky jsou základními podmínkami dosažení kladného ekonomického efektu při jejich využívání.

3.3.6 Nanášení maziv při tvářecích procesech protlačování, protahování a tažení [11]

Způsob nanášení maziva, jeho množství, nanášení na polotovary a mazání nástroje je u jednotlivých způsobů tváření značně individuální, neboť každé mazivo je charakteristické svými užitnými vlastnostmi.

Individuální mazání- mazací prostředky se do mazacích míst dopravují ručně, popř. poloautomaticky pomocí prvků drobného mazacího zařízení.

Výhodou individuálního mazání je jednoduchá konstrukce a minimální ekonomická náročnost.

Nevýhodou individuálního mazání je závislost na negativním lidském faktoru, nemožnost dosažení přesného dávkování mazacích prostředků, fyzická a hygienická náročnost, minimální ekologičnost.

Centrální mazání- mazací prostředky se do mazacích míst dopravují automaticky pomocí mazacích prvků, uspořádaných do centrálních mazacích systémů. Prvky centrálních mazacích systémů se rozdělují na:

- zdroje tlakového maziva,
- rozdělovací a dávkovací prvky,
- ovládací, řídicí a kontrolní prvky,
- rozvodové potrubí, atd...

Z výše uvedených prvků se sestavují jednotlivé centrální mazací systémy.

Výhodou je snadná použitelnost pro stroje a strojní zařízení v různých oblastech průmyslu.

3.3.6.1 Mazání při protlačování [13]

Důležitou podmínkou úspěšného protlačování materiálu za studena je vytvoření mazací vrstvy mezi protlačovaným materiálem a nástrojem, která zabrání zadírání a do jisté míry sníží sílu potřebnou k protlačování.

Mazací vrstva musí však kromě této hlavní podmínky vyhovovat ještě mnoha dalším podmínkám: musí velmi dobře lpět na povrchu polotovaru, musí se snadno nanášet a odstraňovat, musí být chemicky stálá.

Nejběžnější způsob nanášení mazací vrstvy na substrát před protlačováním je ponorné mazání v lázni. Mazivo ve vanách se nanáší buď ručně, máčením v děrovaných koších nebo v děrovaných bubnech.

Při mazání v koších nebo v bubnech je třeba součástmi pohybovat, aby se jednak vytvořila stejnoměrná vrstva maziva a jednak se přímo v lázni otřou krystalky, lpící na základním kovu, jež nejsou pro protlačování vhodné.

Součásti opatřené maznou vrstvou se před protlačováním mohou ještě přimazat (zvláště součásti tvarově složitější) tenkou vrstvou vhodného maziva. Na protlačovadlo se pak přivádí proud mazací emulze, která jednak s mazivem naneseným na povrch součásti, tvoří dokonalé mazadlo a jednak slouží jako chladicí tekutina, neboť při protlačování se nástroje zahřívají.

3.3.6.2 Mazání při protahování

U technologie protahování je nejběžnější způsob nanášení mazné vrstvy na substrát prostřednictvím ponorného mazání v nástroji.

Mazivo se nanáší během vlastního procesu protahovaného substrátu v „olejové lázni“ vytvořené v nástroji.

3.3.6.3 Mazání při tažení

U výlisků se mazivo nanáší tak, aby vzhledem k uskutečňovaným stavům napjatosti, nedocházelo vlivem velikosti deformace k poškození v kritických místech výlisku.

Nanášení mazadel se v praxi provádí třemi způsoby:

- **nástřikem** - pomocí mazacího zařízení, jenž tryskami rozprašuje požadované množství maziva na povrch substrátu .
- **válečkem** - u mazadel, která nelze nanášet nástřikem ani po jejich zředění. Mazadlo je vtlačováno tlakem o konstantní velikosti do dutého čepu. Ten je opatřen otvory vyvrtanými kolmo na osu otáčení a je potažen látkou či plstí. Mazadlo tak nasákne do textilního povlaku a je poté nanášeno na materiál.
- **praním** - před zpracováním přístřihů na výrobu výlisků, procházejí tyto nejdříve tzv. „pracími stroji“, kde se pomocí pracích olejů odstraňují veškeré nečistoty a též konzervační olej z hutí. Z pracích strojů získáváme plechy ošetřené vrstvou pracího oleje.

3.4 Tribologické metody zkoušení

V oblasti tření, opotřebení a mazání je k dispozici řada zkušebních metod, je pochopitelné, že se nejvhodnější postup při výzkumu tribosoučástí volí podle důležitosti a složitosti daných reálných tribosystémů. Čím přesněji známe spektrum zatížení, tribostrukturu a velikost ztrát, tím cílevědoměji lze zvolit zkušební metodu.

Získat dokonalé informace o reálném tribosystému je vždy velmi obtížné. Na druhé straně existují problémy i s přenosem výsledků zkoušek, které byly získány na jednoduchých zkušebních vzorcích, na výrobek. Proto je mnohdy nutné dělat

nejen zkoušky v laboratoři, ale i zkoušky na modelovém zkušebním zařízení a v závažných případech i přímo v provozu.

Obecně lze konstatovat, že čím je tribologický systém složitější, tím nákladnější je jeho zkoušení. Vysokou korelaci výsledků laboratorních měření a reálného tribosystémem lze očekávat v tom případě, jestliže simulační zkoušky odpovídají provozním poměrům.

Při sledování procesu tváření plechů, jakožto tribologického systému zjišťujeme velké množství vlivů vstupujících do tohoto systému. Obecně lze říci, že velikost třecí síly při tváření závisí na:

- mikrogeometrii povrchu substrátu (druh povrchové textury a drsnost této textury).
- rychlosti posuvu plechu po nástroji,
- deformaci materiálu (mechanické vlastnosti materiálu, vypínání plechu a posuvy plechu),
- druhu použitého substrátu (nepokovený, typ pokovení, chemickém složení povrchu použitého substrátu),
- druhu materiálu nástroje a stav jeho povrchu,
- použitém mazivu při tažení,
- velikostí kontaktního tlaku mezi materiálem a nástrojem.

Je třeba si uvědomit, že každá z uvedených veličin se podílí na tribologických dějích ve sledované soustavě. Bohužel se však neuplatňují samostatně, ale vzájemně se ovlivňují. Je proto velmi obtížné výše uvedené vlivy hodnotit odděleně a proto se často při vyhodnocování tribologických podmínek posuzují komplexně výsledky zkoušek pro soustavu nástroj-mazadlo-materiál-technologické podmínky.

Dnes je používáno velké množství zkušebních metod. Všechny jsou určeny k posuzování jedné nebo více vlastností daného zkoušeného maziva. Zřejmě nejkomplexnější soubor zkušebních metod je normalizován v americké ASTM, rozsáhlý je také soubor norem DIN, ale i další národní systémy norem. V posledních letech se postupně doplňují systémy mezinárodních norem EN a ISO, z nichž jsou normy přebírány do národních systémů.

4. Experimentální část diplomové práce

Jedním z hlavních cílů předkládané práce je provést experimentální měření pomocí laboratorních zkoušek modelujících proces výroby pevnostních šroubů-tvářecí technologií protahováním drátu pro hodnocení tribologických vlastností testovaných typů maziv.

Výsledky získané z experimentálního měření při navrhovaných metodikách mají hlavní přínos práce v tom, že lze laboratorně zjistit jaký typ maziva je nejvhodnější pro daný technologický proces protahování a zda získané hodnoty z jednotlivých experimentálně provedených metodik jsou totožné.

Tribologické měření v předkládané diplomové práci bylo zaměřeno na zjištění vhodnosti nově vyvinuté výrobní řady mazadel PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E, které dodala firma PARAMO, a.s. pro konkrétní tvářecí technologii kovů-technologie výroby pevnostních šroubů.

Stávající místo jako mazivo u dané technologie zaujímá MORNOP 80 od výrobce ESSO spol. s.r.o., které vyhovuje kladeným tribologickým požadavkům na technologii výroby pevnostních šroubů.

Tribologické výsledky, které byly získány z experimentálních zkoušek (z laboratorního prostředí), posloužily jako základ pro vypracování doporučení pro vhodnou volbu možného nastupujícího nového maziva z nově vyvinuté výrobní řady PRESS 80/II na místo stávajícího tj. MORNOP 80.

Experimentální měření modelujících proces výroby vysokopevnostních šroubů pro zjištění tribologických vlastností maziv bylo realizováno prostřednictvím laboratorních níže uvedených metodik zkoušení:

- tribologickou zkouškou tažení pásku aplikovanou na vysokorychlostním zařízení SOKOL 400 pro hodnocení tribologických vlastností,
- zkouškou dopředného protlačování a protahování na laboratorním zařízení pro statickou zkoušku tahem TIRAtest 2300 se softwarem LABtest2.

Cílem experimentálního tribologického měření bylo:

I. Zjistit vhodnost testovaných maziv při tribologických podmínkách (změna tlaku, teploty, rychlosti):

- v závislosti na kontaktním tlaku
- vlivu na rychlosti posuvu substrátu

a) pro malé rychlosti

b) pro vysoké rychlosti

- a v závislosti na teplotě

II. Vyhodnotit získaná tribologická data při určených technologických podmínkách, jenž byly stanoveny jako kritérium pro daný experiment.

III. Z provedeného vyhodnocení doporučit vhodné mazivo z nové testované výrobní řady PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E, které by nahradilo stávající etalonové mazivo MORNOP 80 z hlediska požadovaných tribologických vlastností pro technologii výroby šroubů.

4.1 Experimentální tribologické měření tažení pásku na vysokorychlostním zařízení SOKOL 400

Experimentální tribologické měření tažení pásku oceli se uskutečnilo na vysokorychlostním zařízení SOKOL 400 (pro hodnocení tribologických vlastností materiálů, morfologie povrchu plechu, konzervačních a technologických mazadel za laboratorních podmínek), který byl zkonstruován na katedře strojírenské technologie, Technické univerzity v Liberci. Tohoto zařízení se využívá k zjišťování tribologických vlastností za vyšších rychlostí (až do hodnot $v=400 \text{ mms}^{-1}$).

Protahování pásku bývá prováděno na větším počtu bezprostředně po sobě následujících vzorků. Měřená délka vzorku (dráha) je stanovena v závislosti na rychlosti protahování vzorku.

Při experimentálním měření je velmi důležitý průběh síly v závislosti na rychlosti a měřené délce vzorku (dráhy). Při vysokých rychlostech je krátká dráha nevyhovující, jelikož se na ní nemohou projevit všechny faktory, které by mohli ovlivnit výsledky daného testu.

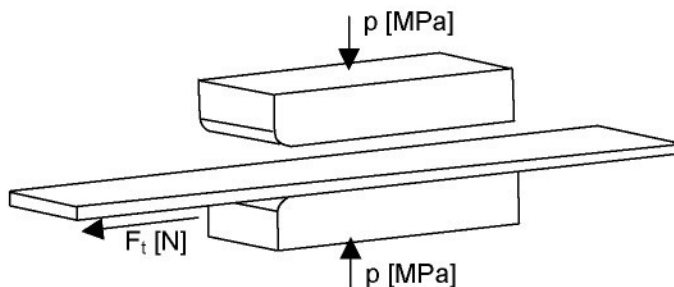
Pro daný experiment byly rozměry vzorků rozlišeny dle rychlostí (v závislosti na výše popisovaných skutečnostech).

Důležitou veličinou při výsledcích tribologického experimentu je velikost střední tažné síly v ustálené oblasti měření, F_s [N]. Tažnou sílu ovlivňuje především rychlost tažení, kvalita, množství a rovnoměrnost vrstvy maziva a druh substrátu.

Při velkých rychlostech posuvu materiálu je dosažena největší síla v okamžiku kdy dojde k přeměně stavu testovaného pásku z klidového do pohybového. Tato síla k dané dosažené přeměně je silou maximální.

4.1.1 Princip metody, metodika měření

Funkčními částmi zařízení SOKOL 400 jsou dvě výměnné čelisti z materiálu 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 (40mm) a délkou funkční části čelistí (78 mm). Rychlost posuvu lze měnit v rozsahu $v=1$ až 400 mms^{-1} . Protahovaná délka pásku se mění s ohledem na rychlost protahovaného vzorku. Konstrukce přípravku umožňuje modelovat podmínky v oblasti přidržovače, viz. obr. 4.1.

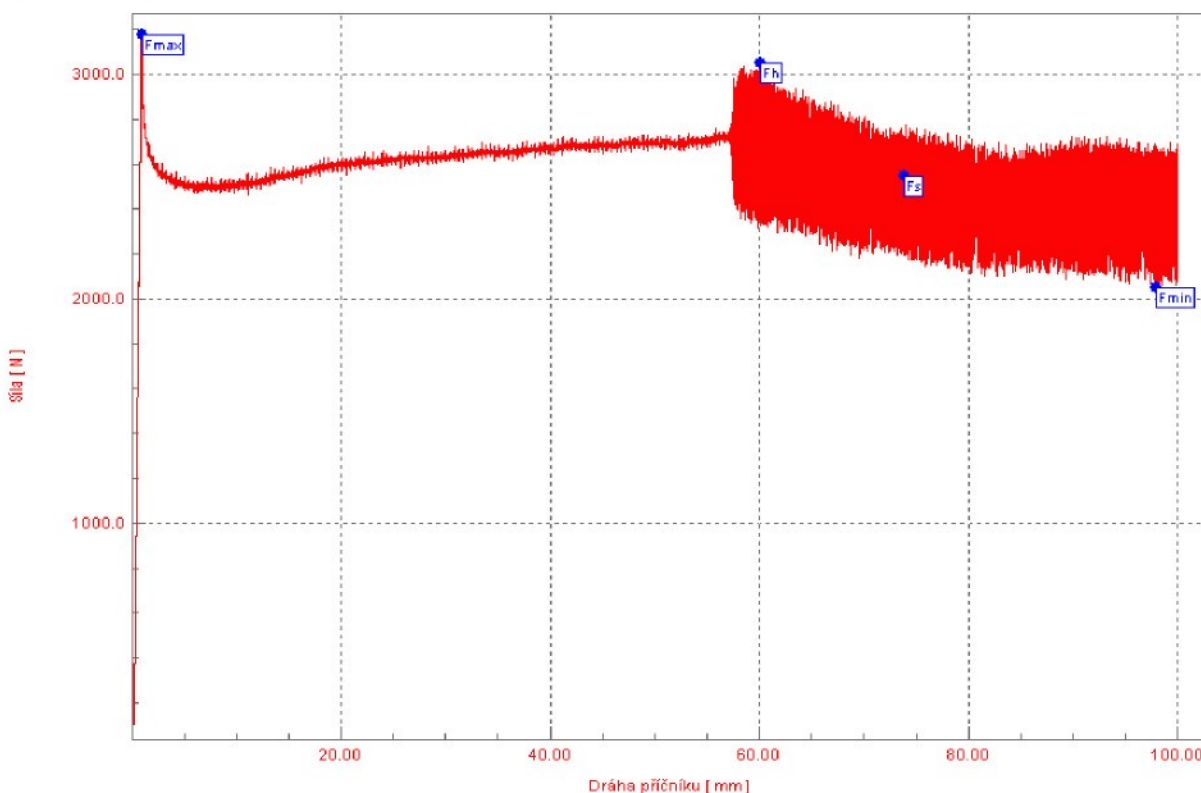


Obr. 4.1- Oblast přidržovače

Výsledkem měření jsou získané hodnoty tažných sil pro zkoumané druhy maziv při různých hodnotách posuvu. K posouzení dosaženého výsledku slouží níže uvedené charakteristiky, který plní také funkci podkladu pro vyhodnocení tribologických vlastností soustavy testované mazivo-testovaný substrát-nástroj:

- $F_{\max}$... maximální velikost síly, které bylo dosaženo při zkoušce,
- F_h ... maximální velikost síly, které bylo dosaženo v ustálená části diagramu (po protažení 30mm pásku),
- $F_{\min}$... minimální velikost síly, které bylo dosaženo v ustálená části diagramu (po protažení 30mm pásku),
- F_s ... střední velikost síly v ustálené oblasti měření,
- ΔF ... velikost rozkmitu síly v ustálené oblasti měření.

Rozkmit síly ΔF , jenž je vypočítán dle vztahu $\Delta F = F_h - F_{\min}$ má důležitost zejména pro případy, kdy dochází k zadírání povlaků.



Obr. 4.2- Pracovní diagram zkoušky při $v=1\text{mm s}^{-1}$, $p=4\text{MPa}$

V prezentovaném pracovním diagramu, je zaznamenán průběh tribologického testu s měřenými veličinami, tj. dosažené síly v závislosti na měřené dráze, získaném zkouškou protahováním ocelového pásku DX 53 EN 10 142, za konkrétních podmínek; při rychlosti posuvu $v=1\text{mm s}^{-1}$, kontaktním tlaku v čelistech $p=4\text{MPa}$ a s naneseným zkoumaným druhem maziva MORNOP 80.

4.1.2 Podmínky zkoušky

Princip metody spočívá v protahování ocelového pásku o daných rozměrech s oboustranně nanesenou vrstvou ověřovaného maziva.

Jedním ze základních požadavků pro získání korektních výsledků měření (prováděných experimentálních zkoušek) je možnost změny technologických parametrů, které nejvíce ovlivňují výsledek prováděné zkoušky.

Experimentální měření bylo zaměřeno na zjišťování vlivu mazadla při průběhu síly v závislosti na technologických parametrech tj. rychlosti posuvu materiálu v nástroji, kontaktního tlaku přidržovače, na množství a typu zkoumaného maziva, naneseného na testovaný substrát před vlastní zkouškou.

4.1.2.1 Rozměry vzorků testovaného materiálu

Jednou z podmínek zkoušky byl i výběr testovaného substrátu.

Pro plánovaný experiment byl zvolen hlubokotažný ocelový plech DX 53 EN 10 142.

Rozměry testovaných ocelových pásků resp. délky měřených úseků vzorků byly navrženy s přihlédnutím na rychlosti protahování a jsou uvedeny v níže uvedené tabulce 4.1.

Tab. 4.1

Zkušební protahovací rychlosti v [mm/s]	Délka měřeného úseku l_p [mm]	Tloušťka pásku s_p Šířka pásku b_p [mm]	Testovaný substrát
1	100	$s_p=1,02$ $b_p=40 \pm 0,05$	Ocelový hlubokotažný plech DX 53 EN 10 142
10	100		
50	150		
200	600		
400	600		

4.1.2.2 Materiál nástroje na tažení

Nástrojem pro tažení, v případě laboratorního testu, byl přípravek na tribologickém zařízení SOKOL 400. Funkčními částmi přípravku byly dvě výměnné čelisti z tvárné litiny ČSN 19 312.4.

4.1.2.3 Rychlost posuvu

Rychlost posuvu byla volena s ohledem na laboratorní zařízení SOKOL 400, který umožňuje protahování pásku při nastavení rychlosti v rozmezí $v = 1$ až

400mm/s.

Při všech měřených rychlostech se projevují rozdíly tribologických vlastností mezi testovanými mazadly. S ohledem na simulaci procesu výroby vysokopevnostních šroubů, bylo třeba klást důraz zejména na výsledné hodnoty získané při vysokých rychlostech, neboť odpovídají reálným technologickým podmínkám.

Při porovnání tribologických vlastností různých kombinací mazadel, testovaných materiálů a technologických podmínek je také velmi důležité zohlednit velikost síly, které je třeba pro uvedení materiálu do pohybu (přechod mezi třením za klidu a za pohybu). Tato charakteristika je zvláště důležitá při použití vyšších rychlostí posuvu materiálu, kdy tato síla je maximální silou, které bylo při zkoušce dosaženo.

4.1.2.4 Kontaktní tlak

Pro daný experiment protahování pásku bylo zvoleno pro všechny rychlosti ($v=1;10;50;200;400\text{mm/s}$) kontaktního tlaku $p=4$ a 7MPa , což je rozsah přidržovacích tlaků, který se běžně používá pro tyto rychlosti v praxi. Kontaktní tlak $p=7\text{MPa}$ byl volen s ohledem na velikosti tlaků, ke kterým může dojít při tažení v nástroji používaném v průmyslu. Tento kontaktní tlak je také volen s ohledem na použitý testovaný materiál, jako mezní přidržovací tlak, kdy nedochází ještě k přetržení zkoumaného vzorku.

4.1.2.5 Použité mazivo

Požadavky na maziva při tvářecích procesech, jsou velmi rozdílné. Je nutno mít na zřeteli značné množství nestabilních ovlivňujících veličin při volbě maziva vzhledem k jeho optimálnímu působení. Na prvním místě jsou dva požadavky: *snížení tření* t.j. energetická bilance a *jakost povrchu* tvářeného dílce a nástroje. Oba požadavky se vzájemně překrývají a mají vzájemné působení. Místní tření vyvolává teplo. Mimořádně obtížně měřitelné teploty, které při tom vznikají, mohou vést bez použití vhodných maziv jako oddělujícího prostředí, ke kovovému spojení můstků (mikrosvary) třecích dvojic materiálů

Při volbě maziva pro konkrétní tvářecí operaci je třeba přihlídnout k doporučení výrobců maziv. Je třeba však otestovat co nejvíce druhů maziv a vybrat takové, které bude co nejvíce odpovídat reálným měrným tlakům a rychlostem v procesu tažení. Mimo to musí vybrané mazivo splňovat přísná ekologická hlediska i příslušné směrnice mezinárodních norem.

S vývojem nových procesních maziv vystává nutnost testovat jejich vliv na samotný tvářecí proces. Cílem předkládané diplomové práce je zjištění a srovnání vhodnosti nově vyvinutých konkrétních maziv pro extrémní podmínky se stávajícím mazivem aplikovaným pro tvářecí operaci- technologii výroby šroubů.

V rámci řešení vhodnosti nově vyvinutých maziv- zjišťování tribologických vlastností bylo použito stávající etalonové mazivo MORNOP 80 od výrobce ESSO spol. s.r.o..

Tento typ maziva patří do oblasti maziv pro tváření kovů pro zjednodušení procesu při technologii výroby šroubů.

Jako srovnávací maziva byly dodány nově vyvinutá maziva tvoří novou výrobovou řadu mazadel PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E od výrobce PARAMO, a.s..

Stručná charakteristika použitých mazadel je uvedena v tabulce a materiálový list je uveden v příloze.

Tab. 4.2

Označení maziva	Kinematická viskozita při 40°C [mm ² s ⁻¹]	Měrná hmotnost při 15°C [kg m ⁻³]	Bod vzplanutí [°C]
MORNOP 80	88	940	215
PRESS 80/II varianta A,B,C,D,E	80,92	907,7	230

4.1.2.6 Mazací technika- nanášené množství maziva

K tomu aby se mazadlo dostalo na mazané místo, slouží mazací technika. U řešené práce bylo vzhledem k vlastnostem testovaných maziv aplikováno- ruční olejové mazání, pomocí textlie- bavlněné tkaniny opatřené vybraným testovaným druhem maziva.

Množství nanášeného maziva bylo voleno s ohledem na podmínky v procesu tváření tj. $1,5 \pm 0,1 \text{ gm}^{-2}$. Jak již bylo výše uvedeno mazivo bylo nanášeno pomocí bavlněné tkaniny po obou stranách odmaštěného substrátu po jeho celé ploše.

Výsledná hodnota, která měla odpovídat požadovanému množství nanášeného maziva pro jednotlivé testy při daných rychlostech a tlacích.

Testované mazivo bylo v požadovaném množství nanášeno také na odmaštěné čelisti nástroje.

Tento způsob byl pro dané rozměry substrátu- ocelového pásku, velmi praktický, časově nenáročný, přesný a jednoduchý.

Aplikací textlie s mazivem a substrátu vznikla vhodná tloušťka mazacího filmu, který plně vyhovoval podmínkám v procesu výroby.

Pro zjišťování množství a pro kontrolu naneseného maziva na povrchu substrátu se na katedře Strojírenské technologie TUL používala gravimetrická metoda. Tato metoda,

vážení na analytických vahách udává celkový gramážní podíl naneseného maziva.

Vzhledem k obsáhlosti měření nebyla tato kontrola naneseného množství maziva

aplikována na všech testovaných vzorcích, pouze proběhla u náhodně vybraných substrátů.

Výsledky náhodného výběru potvrdili vhodnost ruční aplikace testovaného maziva.

4.1.2.7 Teplota nástroje

Teplota nástroje je jednou z technologických podmínek, která ovlivňuje velikost třecí síly a tím i tribologické vlastnosti testovaného ocelového pásku. Změnou teploty se změní podmínky tažení v závislosti na rychlosti pohybu. Vliv rychlosti pohybu při tváření úzce souvisí s teplotou, neboť při tažení dochází vlivem třecích poměrů třecích dvojic k zahřívání nástroje, což může ovlivnit nejen vlastnosti maziva, ale také změny povrchových vrstev ocelového pásku i nástroje.

V závislosti na podmínkách vzniku mají přetvořené, resp. nově vzniklé vrstvy povrchů různé tribologické vlastnosti. Schopnost vnějších vrstev zabraňovat svarům výčnělků nerovností povrchů záleží na jejich tloušťce, pevnosti vazby, stálosti za zvýšených teplot i snášenlivosti s mazivem. K vytvoření vrstev s vyhovujícími vlastnostmi je nutný vhodný výběr materiálů třecích dvojic i maziva. Tepelné energii je vystaveno při praktickém použití každé mazivo a důsledky jejího vlivu jsou funkcí výšky pracovní teploty na tepelně exponovaném povrchu nástroje.

Teplota nástroje resp. teplota, jež byla použita pro ohřev obou čelistí zkušebního přípravku byla zvolena $T=60\pm 2^{\circ}\text{C}$. K dosažení stejných podmínek pro všechna měření, bylo vždy nutné nechat čelisti důkladně prohřát na teplotu zvolenou pro měření.

4.1.3 Tribologická zkouška protahováním pásku

Při hodnocení tribologických vlastností sledované soustavy materiál nástroje-substrát s testovaným mazivem slouží záznamy průběhů tažných sil v závislosti na protahované délce.

V průběhu zkoušky dochází ke změně velikosti síly potřebné k protažení pásku a graf lze rozdělit na dvě hlavní části: náběhovou a ustálenou. Část *náběhová* má význam pro zjištění velikosti síly $F_{\max}$ jako počáteční síly vzniklé při protahování pásku. V *ustálené* části diagramu jsou vyhodnocovány všechny ostatní veličiny zjišťované při zkoušce F_h , $F_{\text{střední}}$, $F_{\min}$, stanovené zadáním L_{mez} , jako počáteční hodnotou měřené délky.

Předpokladem pro získání statisticky významného počtu naměřených údajů a průměrné hodnoty sledované charakteristiky, pro každou jednotlivou kombinaci nastavení vstupních parametrů testu, byl stanoven vždy soubor 5 měřených vzorků. Ačkoliv by se mohlo zdát, že rozsah navržené metodiky pro testování vhodnosti nové řady maziv není velký, i přesto se při změně nastavení vstupních parametrů jedná o 300 zkoušek (1 testovaný materiál, 2 různých kontaktních tlaků, 5 rychlostí posuvu, 6 mazivo).

Z tohoto důvodu jsou výsledky jednotlivých zkoušek prezentovány pouze formou

uložených souborů Microsoft Excel na přiloženém CD.

4.1.4 Vyhodnocení výsledků

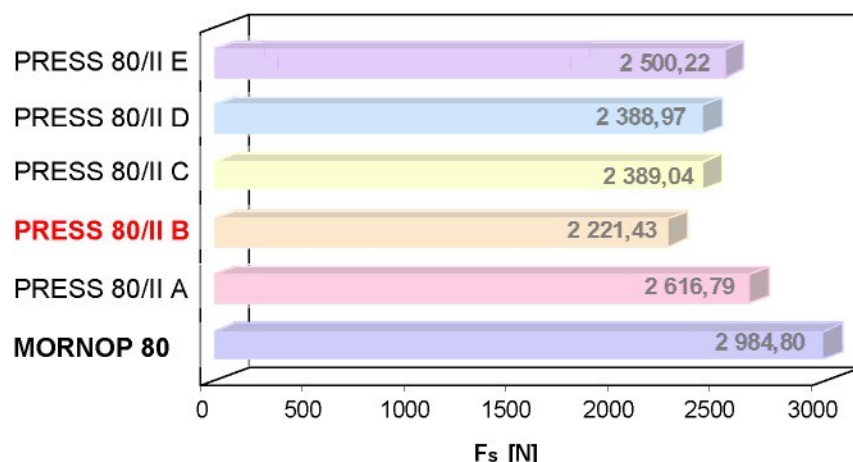
Při vyhodnocování byly staticky a následně graficky zpracovány veškerá získaná data z daného měření do přehledných tabulek, ze kterých lze zjistit přesnou hodnotu $F_{\max}$ (maximální velikost síly, které bylo dosaženo při zkoušce), ΔF (velikost rozkmitu síly v ustálené oblasti měření), F_h (maximální velikost síly, které bylo dosaženo v ustálené části po protažení $L_{\text{mez}}=30$ a 100 mm pásku) a F_s (střední velikost síly v ustálené oblasti měření) z daného měření a sloupcových diagramů, z kterých lze především vyčíst nejvyšší a nejnižší velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření u testovaného maziva a také rozdíly mezi nimi.

V rámci řešení vhodnosti nově vyvinutých maziv PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E pro tvářecí operaci- technologii výroby šroubů se stávajícím ethalonovým mazivem MORNOP 80 od výrobce ESSO spol. s r.o. se uskutečnilo za podmínek již výše uvedených.

I. Při rychlosti posuvu $v=1\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku **4 MPa**

Tab.4.3

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	3 634,40	1 299,40	3 634,40	2 984,80	30
PRESS 80/II A	2 761,30	227,21	2 730,39	2 616,79	30
PRESS 80/II B	2 709,52	192,19	2 317,52	2 221,43	30
PRESS 80/II C	2 851,99	271,53	2 524,80	2 389,04	30
PRESS 80/II D	2 671,89	240,82	2 509,38	2 388,97	30
PRESS 80/II E	2 816,17	244,29	2 622,37	2 500,22	30

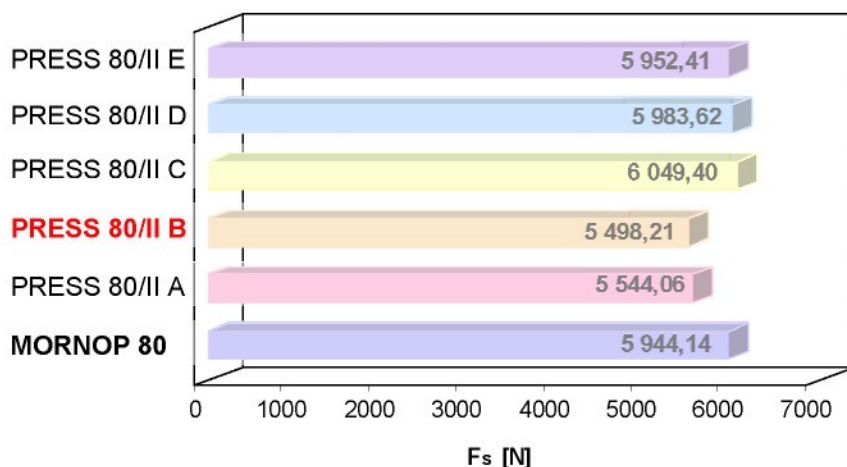


Obr.4.3- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=1\text{mm s}^{-1}$ a kontaktním tlaku 4 MPa

II. Při rychlosti posuvu $v=1\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku **7 MPa**

Tab.4.4

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	8 127,94	4 367,60	8 277,94	5 944,14	30
PRESS 80/II A	6 311,96	918,60	6 003,36	5 544,06	30
PRESS 80/II B	5 862,92	729,42	5 862,92	5 498,21	30
PRESS 80/II C	6 372,21	449,10	6 273,95	6 049,40	30
PRESS 80/II D	6 297,90	406,64	6 186,94	5 983,62	30
PRESS 80/II E	6 301,99	422,20	6 163,51	5 952,41	30



Obr.4.4- Sloupkový digram rychlosti posuvu $v=1\text{mms}^{-1}$ a kontaktním tlaku 7 MPa

Za rychlosti posuvu $v=1\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku 4 MPa byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného maziva PRESS 80/II varianta B, kde dosáhla hodnoty 2 221,43N.

Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna u etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla velikosti 2 984,80N.

V porovnání se získanými hodnotami z daného měření je nejnížší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta B cca. o 26% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s odpovídající etalonovému mazivu MORNOP 80.

Za vyššího kontaktním tlaku 7 MPa a stejné rychlost posuvu tj. $v=1\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u stejného testovaného maziva jako při kontaktním tlaku 4 MPa tj. PRESS 80/II varianta B, kde dosáhla hodnoty 5 498,21N.

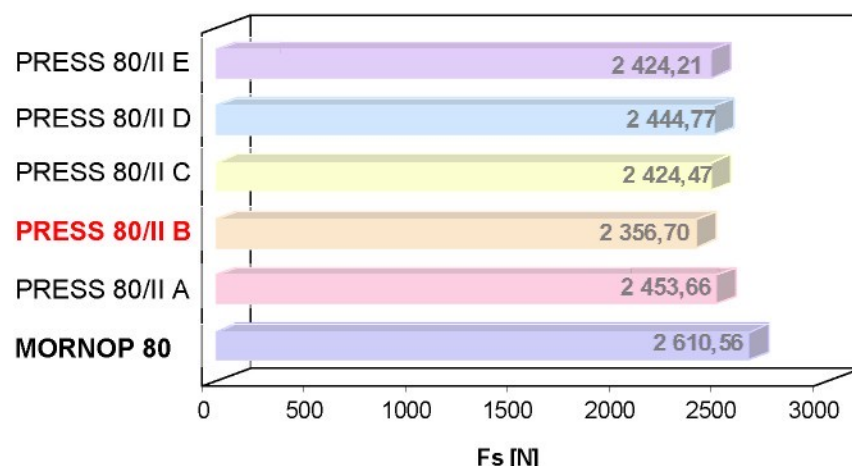
Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna u etalonového maziva MORNOP 80 s velikostí 5 944,14N.

Při porovnání nejnižší hodnoty střední síly F_s v ustálené oblasti měření odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta B a nejvyšší hodnoty střední síly F_s odpovídající etalonovému mazivu MORNOP 80, je nejnižší hodnota F_s cca.o 7,5% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s .

III. Při rychlosti posuvu $v=10\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku **4 MPa**

Tab.4.5

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	2 742,03	262,94	2 742,03	2 610,56	30
PRESS 80/II A	2 547,45	117,49	2 514,40	2 453,66	30
PRESS 80/II B	2 567,93	159,29	2 436,34	2 356,70	30
PRESS 80/II C	2 629,12	189,27	2 519,10	2 424,47	30
PRESS 80/II D	2 647,08	160,95	2 525,24	2 444,77	30
PRESS 80/II E	2 633,68	143,95	2 496,17	2 424,21	30



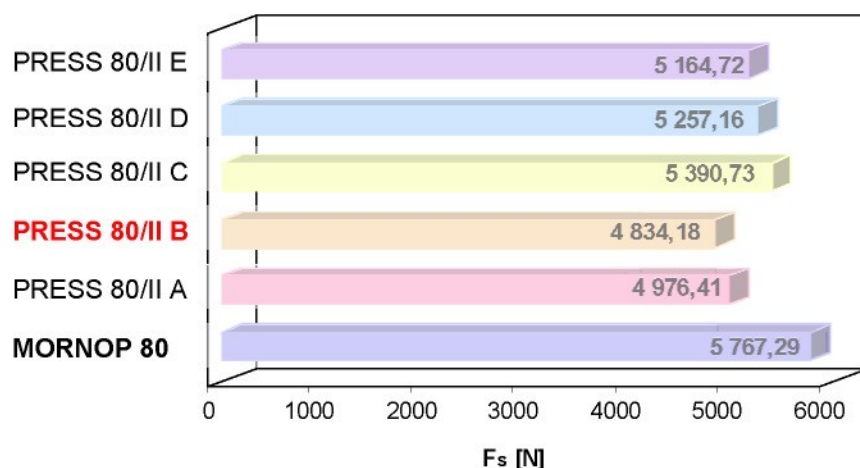
Obr.4.6- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=10\text{mms}^{-1}$ a kontaktním tlaku 7 MPa

VI. Při rychlosti posuvu $v=10\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku **7 MPa**

Tab.4.6

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	7 063,67	2 592,75	7 063,66	5 767,29	30
PRESS 80/II A	5 807,25	261,94	5 107,37	4 976,41	30
PRESS 80/II B	5 096,68	307,46	4 987,91	4 834,18	30
PRESS 80/II C	5 997,81	253,19	5 517,32	5 390,73	30

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
PRESS 80/II D	5 567,99	228,98	5 371,65	5 257,16	30
PRESS 80/II E	5 634,43	287,15	5 308,29	5 164,72	30



Obr.4.6- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=10\text{mm s}^{-1}$ a kontaktním tlaku 7 MPa

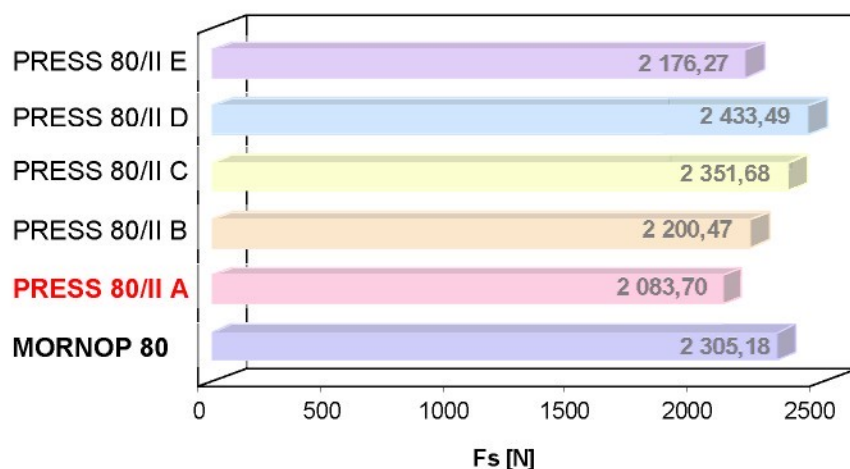
Za rychlosti posuvu $v=10\text{mm s}^{-1}$ pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$ a kontaktním tlaku 4 MPa byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného maziva PRESS 80/II varianta B, kde dosáhla hodnoty 2 356,70N. Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna u etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla velikosti 2 610,56 N. V porovnání je nejnižší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta B cca. o 10% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s odpovídající etalonovému mazivu MORNOP 80.

Při kontaktním tlaku 7 MPa a stejné rychlosti posuvu tj. $v=1\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u stejného testovaného maziva jako při kontaktním tlaku 4 MPa tj. PRESS 80/II varianta B, kde dosáhla hodnoty 4 834,18N. Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna také u etalonového maziva MORNOP 80 s velikostí 5 767,29N. Při porovnání nejnižší hodnoty střední síly F_s v ustálené oblasti měření odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta B a nejvyšší hodnoty střední síly F_s odpovídající etalonovému mazivu MORNOP 80, je nejnižší hodnota F_s cca.o 16% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s .

V. Při rychlosti posuvu $v=50\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku **4 MPa**

Tab.4.7

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	2 423,17	235,98	2 423,17	2 305,18	30
PRESS 80/II A	2 169,68	154,73	2 161,06	2 083,70	30
PRESS 80/II B	2 302,60	155,17	2 278,01	2 200,47	30
PRESS 80/II C	2 440,15	174,68	2 439,01	2 351,68	30
PRESS 80/II D	2 522,13	134,72	2 500,85	2 433,49	30
PRESS 80/II E	2 290,81	147,95	2 250,24	2 176,27	30

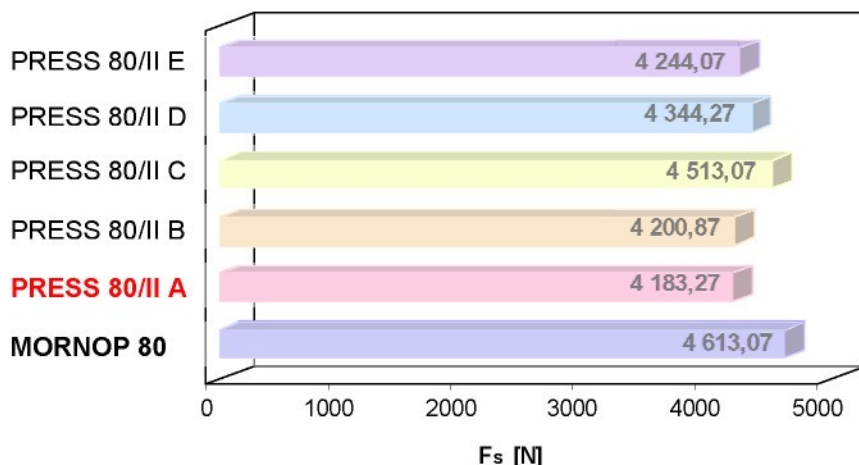


Obr.4.7- Sloupkový digram rychlosti posuvu $v=50\text{mms}^{-1}$ a kontaktním tlaku 4 MPa

VI. Při rychlosti posuvu $v=50\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku **7 MPa**

Tab.4.8

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	4 956,42	686,70	4 956,42	4 613,07	30
PRESS 80/II A	4 459,07	353,09	4 359,81	4 183,27	30
PRESS 80/II B	4 448,14	494,54	4 448,14	4 200,87	30
PRESS 80/II C	4 707,32	343,50	4 684,87	4 513,07	30
PRESS 80/II D	4 593,02	497,51	4 593,02	4 344,27	30
PRESS 80/II E	4 633,68	374,10	4 431,12	4 244,07	30



Obr.4.8- Sloupkový digram rychlosti posuvu $v=50\text{mm s}^{-1}$ a kontaktním tlaku 7 MPa

Při rychlosti posuvu $v=50\text{mm s}^{-1}$ pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$ a kontaktním tlaku 4 MPa byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného maziva PRESS 80/II varianta A, kde dosáhla hodnoty 2 083,70N. Následně za tímto typem maziva se nachází mazivo PRESS II/ varianta B, jehož hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření se liší jen cca. 5% od maziva PRESS 80/II varianta A.

Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna u etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla velikosti 2 305,18N.

V porovnání je nejnižší hodnota střední síly F_s odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta A cca. o 10% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s odpovídající etalonovému mazivu MORNOP 80.

Za vyššího kontaktním tlaku 7 MPa a stejné rychlost posuvu tj. $v=1\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u stejného testovaného maziva jako při kontaktním tlaku 4 MPa tj. PRESS 80/II varianta A kde dosáhla hodnoty 4 183,27N.

Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna u etalonového maziva MORNOP 80 s velikostí 4 613,07N.

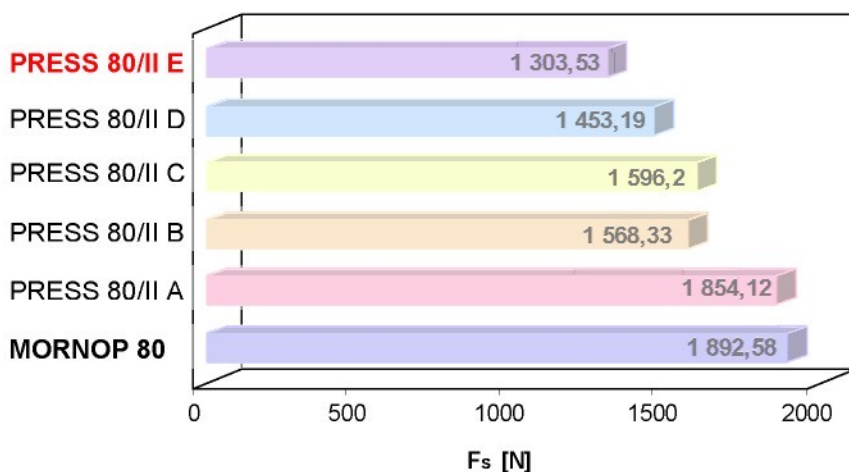
Při porovnání nejnižší hodnoty střední síly F_s odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta A a nejvyšší hodnoty střední síly F_s odpovídající etalonovému mazivu MORNOP 80, je nejnižší hodnota F_s cca.o 9% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s .

Při této rychlosti a daných kontaktních tlacích byly naměřeny nejmenší hodnoty střední síly F_s v ustálené oblasti měření pro nižší rychlosti a lze tedy konstatovat, že v rozsahu použitých rychlostí je tato rychlost mezníkem.

VII. Při rychlosti posuvu $v=200\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku **4 MPa**

Tab.4.9

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	2 169,46	537,58	2 161,37	1 892,58	100
PRESS 80/II A	2 143,97	425,92	2 067,08	1 854,12	100
PRESS 80/II B	1 911,49	591,77	1 864,22	1 568,33	100
PRESS 80/II C	1 926,80	661,40	5 517,21	1 596,20	100
PRESS 80/II D	1 775,32	644,26	1 775,32	1 453,19	100
PRESS 80/II E	1 729,08	743,94	1 675,50	1 303,53	100

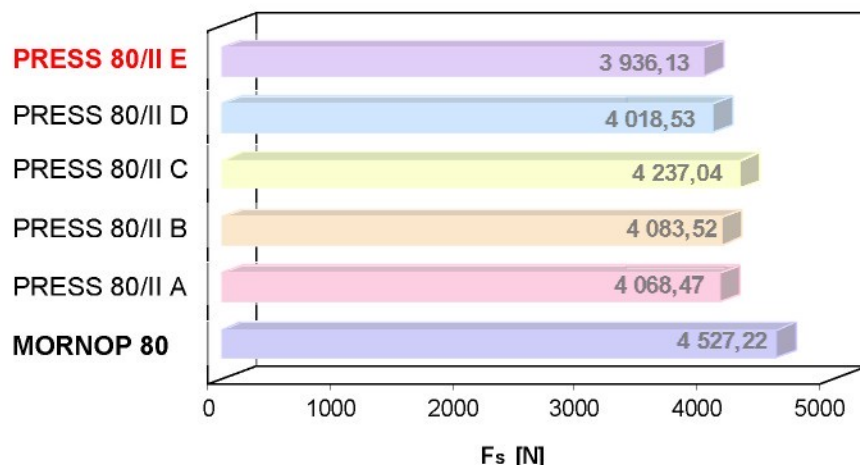


Obr.4.9- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=200\text{mms}^{-1}$ a kontaktním tlaku 4 MPa

VIII. Při rychlosti posuvu $v=200\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku **7 MPa**

Tab.4.10

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	5 011,50	878,75	4 966,59	4 527,22	100
PRESS 80/II A	4 374,90	612,86	4 374,90	4 068,47	100
PRESS 80/II B	4 514,35	861,66	4 514,35	4 083,52	100
PRESS 80/II C	4 610,90	747,75	4 610,92	4 237,04	100
PRESS 80/II D	4 487,31	889,78	4 463,41	4 018,53	100
PRESS 80/II E	4 349,92	827,59	4 349,92	3 936,13	100



Obr.4.10- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=200\text{mm/s}$ a kontaktním tlaku 7 MPa

Za této vysoké rychlosti posuvu materiálu v nástroji $v=200\text{mm/s}$ pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$ a kontaktním tlaku 4 MPa byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného maziva PRESS 80/II varianta E, kde dosáhla hodnoty 1 303,53N.

Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna u etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla velikosti 1 892,58N.

V porovnání je nejnižší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta E cca. o 31% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s odpovídající etalonovému mazivu MORNOP 80.

Při kontaktním tlaku 7 MPa a stejné rychlosti posuvu tj. $v=200\text{mm/s}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u stejného testovaného maziva jako při kontaktním tlaku 4 MPa tj. PRESS 80/II varianta E, kde dosáhla hodnoty 3 936,13N.

Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna také u etalonového maziva MORNOP 80 s velikostí 4 527,22N.

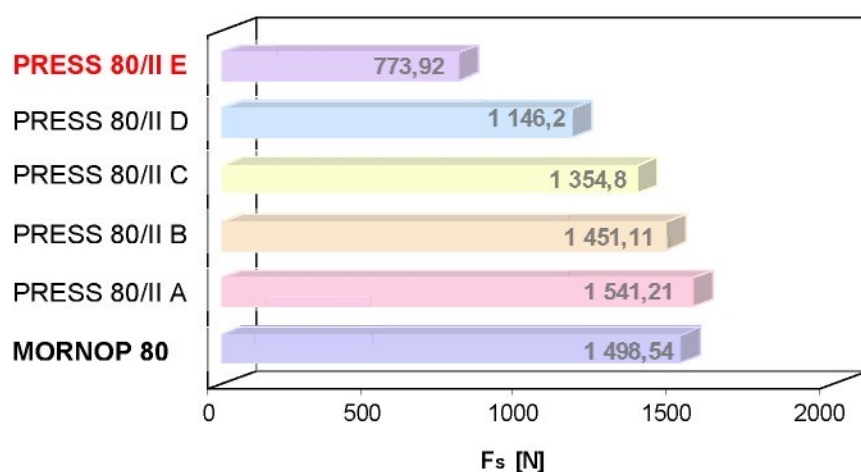
Při porovnání nejnižší hodnoty střední síly F_s v ustálené oblasti měření odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta E a nejvyšší hodnoty střední síly F_s odpovídající etalonovému mazivu MORNOP 80, je nejnižší hodnota F_s cca. o 13% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s .

IX. Při rychlosti posuvu $v=400\text{mm/s}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku 4 MPa

Tab.4.11

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	2 090,56	604,08	1 800,58	1 498,54	100
PRESS 80/II A	2 048,71	683,09	1 882,75	1 541,21	100

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
PRESS 80/II B	1 959,53	742,31	1 822,22	1 451,11	100
PRESS 80/II C	1 947,53	524,63	1 617,11	1 354,80	100
PRESS 80/II D	1 745,53	603,92	1 448,15	1 146,20	100
PRESS 80/II E	1 659,69	674,69	1 111,26	773,92	100

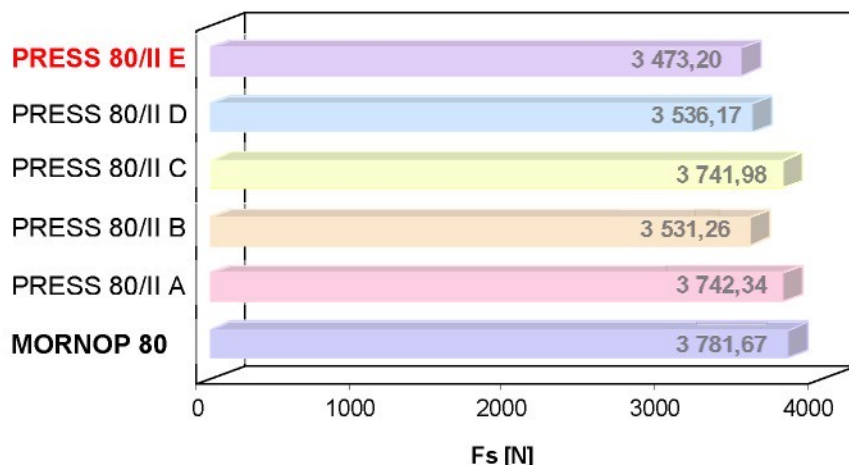


Obr.4.11- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=1\text{mms}^{-1}$ a kontaktním tlaku 4 MPa

X. Při rychlosti posuvu $v=400\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a kontaktním tlaku **7 MPa**

Tab.4.12

Testované mazivo	Maximální síla $F_{\max}$ [N]	Rozkmit síly ΔF [N]	Maximální síla ustálená F_h [N]	Střední síla ustálená F_s [N]	L_{mez} [mm]
MORNOP 80	4 481,72	1 397,88	4 480,61	3 781,67	100
PRESS 80/II A	4 328,77	932,66	4 208,00	3 742,34	100
PRESS 80/II B	4 094,70	1 126,88	4 094,70	3 531,26	100
PRESS 80/II C	4 277,72	1 050,29	4 267,12	3 741,98	100
PRESS 80/II D	4 177,63	1 107,07	4 089,70	3 536,17	100
PRESS 80/II E	4 032,84	801,66	3 874,03	3 473,20	100



Obr.4.12- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=400\text{mm s}^{-1}$ a kontaktním tlaku 7 MPa

Při maximální použité rychlosti posuvu $v=400\text{mm s}^{-1}$ pro množství maziva 1gm^{-2} a kontaktním tlaku 4 MPa byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného maziva PRESS 80/II varianta E, kde dosáhla hodnoty 773,92N.

Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna u maziva PRESS 80/II varianta A, kde dosáhla velikosti 1 498,54N.

V porovnání je nejnižší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta E cca. o 50% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s odpovídající PRESS 80/II varianta A.

Při kontaktním tlaku 7 MPa a stejné rychlosti posuvu tj. $v=400\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) byla velikost střední síly F_s v ustálené oblasti měření nejmenší u stejného testovaného maziva jako při kontaktním tlaku 4 MPa tj. PRESS 80/II varianta E, kde dosáhla hodnoty 3 531,26N.

Nejvyšší hodnota střední síly F_s v ustálené oblasti měření byla zjištěna také u etalonového maziva MORNOP 80 s velikostí 3 781,67N.

Při porovnání nejnižší hodnoty střední síly F_s v ustálené oblasti měření odpovídající testovanému mazivu PRESS 80/II varianta E a nejvyšší hodnoty střední síly F_s odpovídající etalonovému mazivu MORNOP 80, je nejnižší hodnota F_s cca. o 8% nižší než nejvyšší hodnota střední síly F_s .

4.1.4.1 Diskuze k hodnocení typu použitého testovaného maziva v závislosti na rychlosti tažení

Porovnání etalonového maziva MORNOP 80 a nové testované řady maziv PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E bylo provedeno pro konkrétní materiál- ocelový plech DX 53 EN 10 142. Experimenty se uskutečnily za podmínek uvedených v předchozí části tj. podmínky měření.

U testovaného etalonového maziva MORNOP 80 od výrobce ESSO spol.

s.r.o. bylo zjištěno, že **vykazuje mnohem horší hodnoty** než mazadla nové řady PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E pro dané tribologické parametry příslušného měření.

Na základě experimentálních měření lze konstatovat, že **nejlepšího výsledku při nižších rychlostech** bylo dosaženo u testovaného mazadla **PRESS 80/II varianta B** a při **vysokých rychlostech** u testovaného mazadla **PRESS 80/II varianta E**.

Při experimentu byla také sledována a následně potvrzena závislost, že se stoupajícími hodnotami kontaktního tlaku rostou i síly potřebné k protažení vzorku.

4.2 Experimentální tribologické měření protahování drátu pro pevnostní šrouby

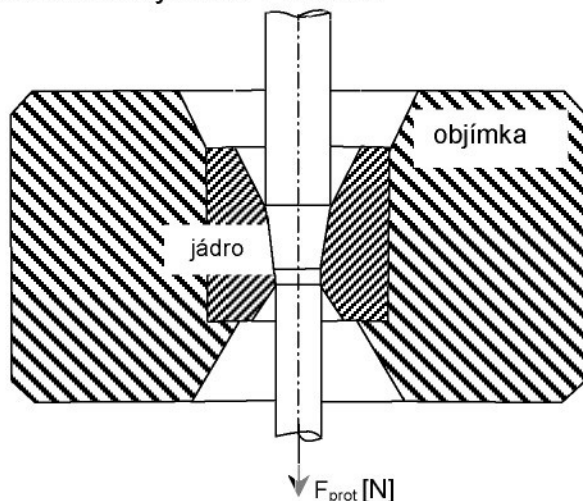
Pro výrobu pevnostních šroubů a dalších spojovacích součástí pevnostního se v současnosti používají převážně ocele na bázi boru - 12 122 a 12 042. V některých speciálních případech se používají i nízko-legované ocele třídy 13 až 15. Pro výrobu pevnostních šroubů se dnes používá dvou principiálně rozdílných technologií:

- objemového tváření za studena,
- objemového tváření za tepla.

4.2.1 Princip metody, metodika měření

Pro měření síly protahování bylo použito stávající zkušební laboratorní zařízení TIRAtest 2300, na kterém bylo provedeno vlastní tribologické měření objemového tváření za studena.

Laboratorní objemové tváření za studena spočívalo v upnutí testovaného substrátu- drátu do matrice (jež byla součástí zkušebního zařízení), upevnění matrice s daným substrátem do laboratorního zařízení TIRAtest 2300 a spuštění procesu protahování. Protažovaná délka byla měřena posuvem příčnicku stroje. Síla protahování byla vyhodnocována jako střední hodnota v úseku 40-100 mm při konstantní rychlosti v matrici.



Obr. 4.13- Schéma průvlaku

Podmínkou objemového tváření za studena u daného substrátu, bylo také nahřítí již výše zmiňované matrice (která byla součástí dané aparatury pro experiment) po dobu 30 min při teplotě 200 °C a nahřítí testovaného maziva v délce 15 min při teplotě 200 °C. Tato podmínky byla volena s ohledem na reálnou simulaci výroby šroubů, při technologii protahování drátu, kdy dochází k vytváření vysokých teplot v nástroji.

Tepelné zpracování proběhlo v laboratorním zařízení WS 30- typ sušárny, které bylo vhodné pro daný experiment.

Výsledkem experimentálního měření jsou získané hodnoty protahovacích sil pro zkoumané druhy maziv při různých hodnotách posuvu.

4.2.2 Podmínky zkoušky

Princip metody spočívá v protahování drátu 23 MnB4 12 042 o daných rozměrech s oboustranně nanesenou vrstvou testovaného maziva.

Experimentální měření bylo zaměřeno na zjišťování vlivu mazadla při průběhu síly v závislosti na technologických parametrech tj. rychlosti posuvu materiálu v nástroji, kontaktního tlaku přidržovače, na množství a typu zkoumaného maziva, naneseného na testovaný substrát před vlastní zkouškou.

4.2.2.1 Rozměry vzorků testovaného materiálu

Pro plánovaný experiment byl zvolen drát typu 23 MnB4 12042 s fosfátovaným povrchem.

Rozměry testovaných vzorků drátu byly navrženy s přihlédnutím na rychlosti protahování a teploty při objemového tváření za studena a tepla (uvedeno v níže uvedené tabulce 4.13).

Tab.4.13

Typy objemového tváření	Teploty objemového tváření [°C]	Zkušební protahovací rychlosti v [mm/s]	Délka měřeného úseku l_p [mm]	Testovaný substrát
za studena	25	1	100	drát 23 MnB4 12 042 ø 8,85 mm
	25	10	100	
za tepla	200	1	100	
	200	10	100	

4.2.2.1.1 Mechanické vlastnosti materiálu

Statická zkouška tahem

Základní materiálové charakteristiky testovaných materiálů byly stanoveny zkouškou tahem.

Zkouška tahem byla provedena na stroji TIRAtest 2300 s použitím vyhodnocení

naměřených dat pomocí software Labtest 4.01, který vyhodnocuje všechny základní mechanické hodnoty testovaného materiálu.

Na daném zařízení byla vyhodnocována:

- mez pevnosti R_m [MPa],
- mez kluzu $R_{p\,0,2}$ [MPa],
- tažnost A_{50} [%],
- homogenní tažnost A_{gt} [%] (při zatížení).

Statická zkouška tahem byla provedena pro substrát před objemovým tvářením za studena a za tepla a po aplikaci objemového tvářením.

Tab.4.14- Výsledky statické zkoušky tahem před objemovým tvářením

Měřená veličina	Hodnota	Testovaný substrát
R_m [MPa]	452,11	Drát s fosfátovaným povrchem 23 MnB4 12 042 ø 8,85 mm
$R_{p\,0,2}$ [MPa]	410,86	
A_{50} [%]	26,47	
A_{gt} [%]	10,65	

Tab.4.15- Výsledky statické zkoušky tahem po objemovém tvářením

Měřená veličina	Hodnota	Testovaný substrát
R_m [MPa]	623,215	Drát s fosfátovaným povrchem 23 MnB4 12 042 ø 6,8 mm
$R_{p\,0,2}$ [MPa]	596,285	
A_{50} [%]	7,17	
A_{gt} [%]	1,87	

4.2.2.2 Rychlost posuvu

Rychlost tažení ovlivňuje zvýšení teploty taženého materiálu a způsob mazání

V oblasti malých rychlostí tažení zvýšení tažných rychlostí poněkud zvyšuje tažné síly, při vysokých tažných rychlostech je obrácení závislost.

Při malých rychlostech posuvu, dosažené výsledky zcela nevypovídají o reálných hodnotách při objemovém tvářením drátu za studena, avšak pro daný experiment byly získané hodnoty postačující z hlediska tribologického hodnocení vlastností testovaných maziv a vytvořených technologických podmínek.

4.2.2.3 Použité mazivo

Informace byly již uvedeny v části 4.1.2.5.

4.2.2.4 Mazací technika- nanášené množství maziva

U předkládané řešené práce bylo vzhledem k vlastnostem testovaných maziv aplikováno- ruční olejové mazání, pomocí textlie- bavlněné tkaniny opatřené vybraným testovaným druhem maziva jak již bylo uvedeno v části 4.1.2.6.

Množství nanášeného maziva na daný substrát- drát bylo voleno s ohledem na podmínky v procesu tváření tj. $1,5 \pm 0,1 \text{ gm}^{-2}$.

Mazivo bylo nanášeno pomocí bavlněné tkaniny po celé ploše testovaného odmaštěného substrátu.

U tohoto experimentu bylo důležité také opatření příslušným mazivem matrici, do které byl drát vložen a následně protahován o patřičnou délku.

Jak již bylo uvedeno, jednalo se o experiment při objemové tváření za studena se snahou reálné simulace procesu výroby šroubů. K zohlednění reálné simulace bylo nutné provedení také ohřátí příslušných testovaných maziv na požadovanou teplotu. Hodnota teploty příslušných maziv měla být vyšší než 100°C . Proto bylo provedeno nahřátí maziv po stanovenou dobu 15 min při teplotě 200°C . Při této teplotě bylo mazivo nanášeno na daný substrát a do dané matrice a následně došlo k protahování substrátu- objemovému tváření.

Pro dané technologické podmínky (tlak, teplota, rychlost), bylo měřeno vždy pět vzorků, ze kterých byly vybrány poslední dvě ustálené hodnoty pro vyhodnocení zkoušky. Z vybraných hodnot byla stanovena průměrná hodnota daného měření při změně technologických podmínek.

Tento způsob nanášení maziva pro objemové tváření byl velmi časově náročný.

4.2.2.5 Teplota nástroje- upínacího přípravku pro matrici s daným substrátem-drátem

Teplota nástroje je jednou z technologických podmínek, která ovlivňuje velikost třecí síly a tím i tribologické vlastnosti testovaného substrátu (uvedeno v části 4.1.2.7).

Teplota jež byla použita pro ohřev upínacího zkušebního přípravku byla zvolena $T=200\pm 10^\circ\text{C}$. Z důvodu dosažení této stálé teploty na celé ploše upínacího přípravku bylo vhodně zvoleno tepelné zařízení, které vhánělo horký vzduch do oblasti upínacího zařízení a vytvořilo požadovanou teplotu daného místa.

4.2.3 Tribologická zkouška protahováním drátu

Předpokladem pro získání statisticky významného počtu naměřených údajů a průměrné hodnoty sledované charakteristiky, pro každou jednotlivou kombinaci nastavení vstupních parametrů testu, byl stanoven vždy soubor 5 měřených vzorků z něhož byly vybrány 2 poslední ustálené hodnoty.

Výsledky jednotlivých zkoušek jsou prezentovány pouze formou uložených souborů Microsoft Excel na přiloženém CD.

4.2.4 Vyhodnocení výsledků

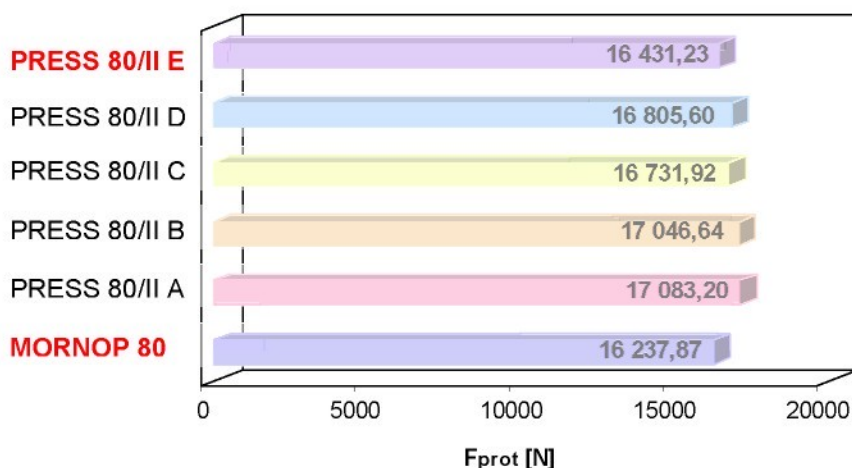
Při vyhodnocování byly staticky a následně graficky zpracovány veškerá získaná data z daného měření do přehledných tabulek, ze kterých lze zjistit přesnou hodnotu $F_{\text{protahování}}$ z daného měření

Grafické zhodnocení daného experimentu je realizováno prostřednictvím sloupcových diagramů, z kterých lze především vyčíst nejvyšší a nejnižší hodnotu síly potřebné k protažení u testovaného maziva a také rozdíly mezi nimi.

I. Při rychlosti posuvu $v=1\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a při objemovém tváření za studena při teplotě 20°C

Tab.4.16

Testované mazivo	Střední ustálená síla protahování $F_{\text{prot.}}$ [N]
MORNOP 80	16 237,87
PRESS 80/II A	17 083,20
PRESS 80/II B	17 046,64
PRESS 80/II C	16 731,92
PRESS 80/II D	16 805,60
PRESS 80/II E	16 431,23



Obr.4.14- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=1\text{mm s}^{-1}$ při objemovém tváření za studena při teplotě 20°C

Za rychlosti posuvu $v=1\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) při objemovém tváření za studena při teplotě 20°C byla velikost protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla hodnoty 16 237,87 N.

Nejmenší hodnotu protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ z nové testované výrokové řady PRESS 80/II má testované mazivo PRESS 80/II varianta E, které dosáhlo hodnoty 16 431,23 N.

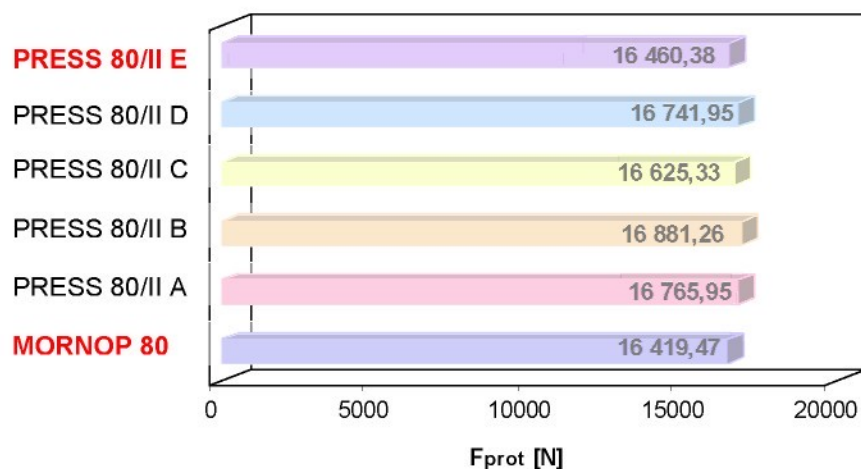
V porovnání se získanými hodnotami z daného měření je nejnižší hodnota

protahovací síly F_{prot} v ustálené oblasti měření u testovaného etalonového maziva MORNOP 80 cca. o 1% nižší než nejnižší hodnota protahovací síly F_{prot} z nové testované výrobkové řady PRESS 80/II, které odpovídá mazivu PRESS 80/II varianta E.

II. Při rychlosti posuvu $v=10\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a při objemovém tváření za studena při teplotě 20°C

Tab.4.17

Testované mazivo	Střední ustálená síla protahování F_{prot} [N]
MORNOP 80	16 419,47
PRESS 80/II A	16 765,95
PRESS 80/II B	16 881,26
PRESS 80/II C	16 625,33
PRESS 80/II D	16 741,95
PRESS 80/II E	16 460,38



Obr.4.15- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=1\text{mms}^{-1}$ při objemovém tváření za studena při teplotě 20°C

Při aplikované rychlosti posuvu $v=10\text{mms}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) při objemovém tváření za studena při teplotě 20°C byla velikost protahovací síly F_{prot} v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla hodnoty 16 419,47 N.

Nejmenší hodnotu protahovací síly F_{prot} z nové testované výrobkové řady PRESS 80/II má testované mazivo PRESS 80/II varianta E, které dosáhlo hodnoty 16 460,38 N.

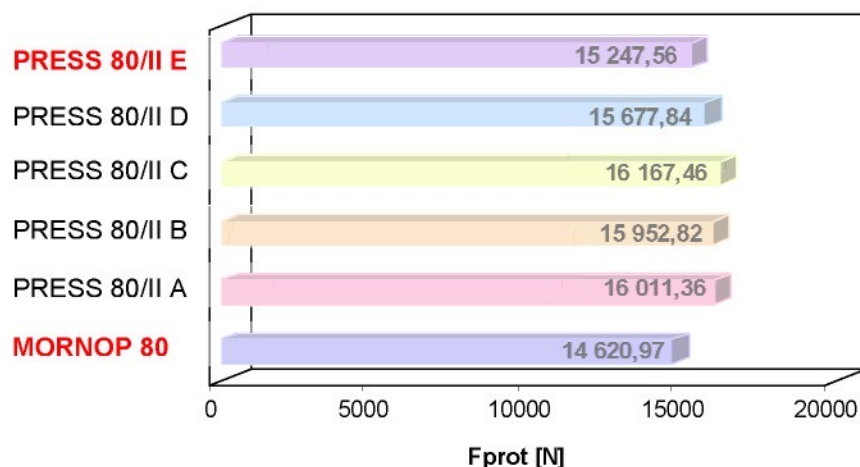
V porovnání se získanými hodnotami z daného měření je nejnižší hodnota protahovací síly F_{prot} v ustálené oblasti měření u testovaného etalonového maziva MORNOP 80 cca. o 0,25% nižší než nejnižší hodnota protahovací síly F_{prot} z nové testované výrobkové řady PRESS 80/II, které odpovídá mazivu PRESS 80/II

varianta D.

III. Při rychlosti posuvu $v=1\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a při objemovém tváření za tepla při teplotě 200°C

Tab.4.18

Testované mazivo	Střední ustálená síla protahování $F_{\text{prot.}} [\text{N}]$
MORNOP 80	14 620,97
PRESS 80/II A	16 011,36
PRESS 80/II B	15 952,82
PRESS 80/II C	16 167,46
PRESS 80/II D	15 677,84
PRESS 80/II E	15 247,56



Obr.4.16- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=1\text{mm s}^{-1}$ při objemovém tváření za tepla při teplotě 200°C

Při rychlosti posuvu $v=1\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) při objemovém tváření za tepla při teplotě 200°C byla velikost protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla hodnoty 14 620,97 N.

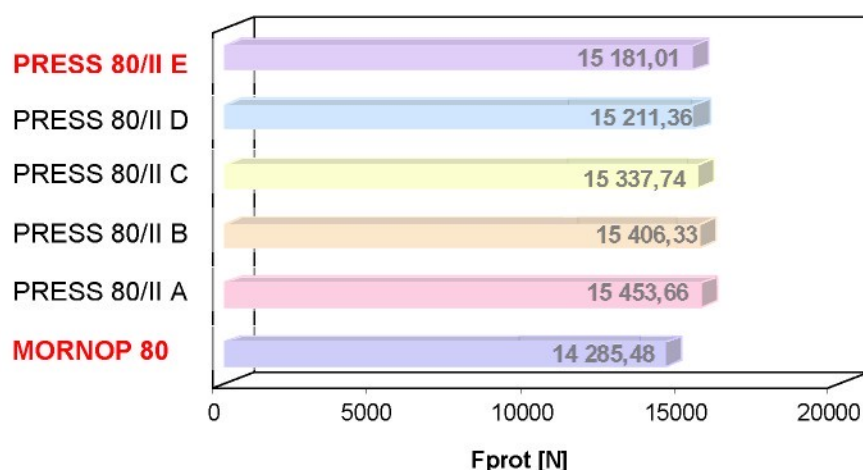
Nejmenší hodnotu protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ z nové testované výrokové řady PRESS 80/II má testované mazivo PRESS 80/II varianta E, které dosáhlo hodnoty 15 247,56 N.

V porovnání se získanými hodnotami z daného měření je nejnižší hodnota protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ v ustálené oblasti měření u testovaného etalonového maziva MORNOP 80 cca. o 4% nižší než nejnižší hodnota protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ z nové testované výrokové řady PRESS 80/II, které odpovídá mazivu PRESS 80/II varianta E.

IV. Při rychlosti posuvu $v=10\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a při objemovém tváření za tepla při teplotě 200°C

Tab.4.19

Testované mazivo	Střední ustálená síla protahování $F_{\text{prot.}} [\text{N}]$
MORNOP 80	14 285,48
PRESS 80/II A	15 453,66
PRESS 80/II B	15 406,33
PRESS 80/II C	15 337,74
PRESS 80/II D	15 211,36
PRESS 80/II E	15 181,01



Obr.4.17- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=10\text{mm s}^{-1}$ při objemovém tváření za tepla při teplotě 200°C

Při rychlosti posuvu $v=10\text{mm s}^{-1}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) při objemovém tváření za tepla při teplotě 200°C byla velikost protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla hodnoty 14 285,48 N.

Nejmenší hodnotu protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ z nové testované výrobkové řady PRESS 80/II má testované mazivo PRESS 80/II varianta C, které dosáhlo 15 181,01 N.

V porovnání se získanými hodnotami z daného měření je nejnižší hodnota protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ v ustálené oblasti měření u testovaného etalonového maziva MORNOP 80 cca. o 6% nižší než nejnižší hodnota protahovací síly $F_{\text{prot.}}$ z nové testované výrobkové řady PRESS 80/II, které odpovídá mazivu PRESS II/ varianta C.

4.2.4.1 Diskuze k hodnocení typu použitého testovaného maziva v závislosti na aplikované technologii objemového tváření- protahování drátu

Z výše zpracovaných hodnot daného experimentálního měření je patrné že etalonové mazivo MORNOP 80 má nejnižší naměřené hodnoty protahovací síly

F_{prot} v porovnání s novou testovanou řadou maziv PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E.

U testovaného **etalonového maziva MORNOP 80** od výrobce ESSO spol. s.r.o. bylo zjištěno, že **vykazuje řádově v průměru o 0,7% nižší hodnoty** protahovací síly F_{prot} při objemovém tváření- tažení drátu za studena při teplotě 20°C než nejnižší hodnota u mazadel nové řady PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E pro dané tribologické parametry příslušného měření.

V případě objemového tváření- tažení drátu při teplotě 200°C vykazovalo **etalonové mazivo MORNOP 80 o 5% nižší hodnoty** protahovací síly F_{prot} než-li nejnižší hodnota u daných mazadel nové řady PRESS 80/II.

Na základě provedeného měření lze konstatovat, že **nejlepšího** výsledku bylo dosaženo u testovaného mazadla **etalonového maziva MORNOP 80**

4.3 Experimentální tribologické měření při dopředném protlačování

Principem dopředného protlačování je deformace materiálu v důsledku působících sil do předem stanoveného směru s konečnými výhodnými mechanickými a rozměrovými vlastnostmi konečného výrobku.

Jakost a výchozí stav materiálu má výrazný vliv na technologii a proces protlačování. Vzhledem k velikosti přetvárných odporů jsou pro protlačování vhodné materiály s tažností větší, než 10 % a kontrakcí větší, než 50 % (oceli s obsahem uhlíku do 0,2 % C). Nevhodné jsou materiály, u kterých je nutno vynaložit specifický tvářecí tlak větší jak 2500 MPa a nebo nelze během jedné operace v důsledku chemického složení (tedy zpevnění) získat deformaci alespoň 25 %.

Na protlačování za studena jsou potřebné velké deformační síly, které závisí na chemické složení materiálu, přípravě a tepelném zpracování, mazání, geometrii nástroje (čím větší, tím větší síla), velikosti redukce (čím větší, tím větší síla), tloušťka stěny (čím menší, tím větší síla), druh stroje.

4.3.1 Princip metody, metodika měření

Pro měření při dopředném protlačování za studena bylo použito zkušební laboratorní zařízení TIRAtest 2300.

Předpokladem pro zjištění tribologických hodnot při protlačování za studena je znalost protlačované síly. Velikost protlačované síly můžeme získat jednak provozní či laboratorním měřením nebo také teoretickým výpočtem.

Laboratorní měření je přesné, ale časově podstatně náročnější. Avšak dosahují porovnání se skutečnými hodnotami při reálném protlačování.

Experiment spočíval v uložení plného válcového odlitku- polotovaru s daným substrátem do protlačovací matrice- průtlačnice, zasunutí průtlačníku (který uzavírá

otvor průtlačnice) a spuštění vlastního procesu protlačování. Protlačovaný materiál tek l ve směru pohybu průtlačníku. Síla potřebná k dopřednému protlačování byla vyhodnocována jako střední hodnota v při konstantní rychlosti v matici.

Podmínkou při experimentu protlačování za studena, bylo nahřátí dané aparatury tj. matrice- průtlačnice, průtlačníku po dobu 30 min při teplotě 200 °C.

Tepelné zpracování proběhlo v laboratorním zařízení WS 30- typ sušárny, které bylo v hodné pro daný experiment.

Výsledkem experimentálního měření jsou získané hodnoty protlačovacích sil pro zkoumané druhy maziv.

4.3.2 Podmínky zkoušky

Princip metody spočívá v protlačování olověného dutého válcového polotovaru s nanesenou vrstvou testovaného maziva.

Daným měřením bylo sledováno vlivu druhů nanesených testovaných maziv na daný substrát při technologii dopředného protlačování za studena.

4.3.2.1 Rozměry vzorků testovaného materiálu

Teoreticky neexistuje pro rozměry žádné omezení. Prakticky jsou však maximální rozměry vytlačovaného výrobku omezeny měrným tlakem nástrojů a silou, již je třeba vynaložit.

Pro experiment byl zvolen olověný válcový plný odlitek o daných rozměrech; $\varnothing$ 30mm, výška 31mm. Rozměry polotovaru byly takové, aby se polotovar dal snadno vložit do průtlačnice.

Volba olověného odlitku vycházela ze zkušeností při experimentování.

Olovo se protlačuje velmi snadno nízkými tlaky. Rekrytaluje při teplotě místnosti.

Rozměry vtlačovaných testovaných vzorků odlitku byly navrženy s přihlédnutím na rozměrový vztah průtlačnice-polotovar-průtlačník.

Tab.4.20

Typy objemového tváření	Teploty objemového tváření [°C]	Zkušební protahovací rychlosti v [mm/min]	Testovaný substrát
za studena	20	15	olověný válcový plný odlitek $\varnothing$ 30mm, výška 31mm
	20	15	
za tepla	200	15	
	200	15	

4.3.2.2 Rychlost posuvu

Rychlost posuvu byla volena v závislosti na daném protlačovaném substrátu a zejména na dané technologii.

Pro daný experiment nebyla v průběhu měření daná rychlost měněna. Získané hodnoty z daného experimentu postačovali k posouzení tribologických vlastností testovaných maziv.

4.3.2.3 Použité mazivo

Informace byly již uvedeny v části 4.1.2.5.

4.3.2.4 Mazací technika- nanášené množství maziva

Informace byly již uvedeny v části 4.2.2.4.

Důležitou podmínkou u pro protlačování je vytvoření mazací vrstvy mezi protlačovacím materiálem a nástrojem, která zabrání zadírání a do jisté míry sníží sílu potřebnou k protlačování. Proto bylo nezbytné nanést testované mazivo také do průtlačnice a na průtlačník.

Při procesu protlačování vzniká teplo. Teplota však není tak vysoká, aby bylo možno protlačování považovat za práci za tepla. Tvářený polotovar se při přetváření sice zahřeje, avšak hluboko pod rekrystalizační teplotu. Při zahřátí se spotřebuje méně protlačovací síly.

Mazivo bylo nanášeno na substrát při daném procesu protlačování za studena formou ručního ponoru polotovaru do testovaného maziva.

Řešená volba postupu nanášení maziva na substrát spočívala v odmaštění polotovaru, nanesení testovaného maziva, odkapání přebytečného maziva- tak aby výsledná hodnota množství maziva odpovídala požadovanému množství nanášeného maziva pro jednotlivé testy v závislosti na dané technologii tváření.

Testované mazivo bylo v požadovaném množství nanášeno také do odmaštěné matrice- průtlačnice a na odmaštěný průtlačník.

Jednalo se o experiment při objemové tváření za studena se snahou reálné simulace procesu výroby šroubů. K reálné simulace bylo nutné provedení také nahřátí nástroje na požadovanou teplotu. Při dosažení této teploty nástroje bylo mazivo nanášeno do průtlačnice a na průtlačník, následně pak došlo k objemovému tváření- protlačování za tepla.

U tohoto experimentu nedošlo k ohřívání maziv a to z hlediska již celkové náročnosti celého experimentu příslušných testovaných maziv na požadovanou teplotu.

Pro dané technologické podmínky (tlak, teplota, rychlost), bylo měřeno vždy pět vzorků, ze kterých byly vybrány poslední dvě ustálené hodnoty pro vyhodnocení zkoušky. Z vybraných hodnot byla stanovena průměrná hodnota daného měření při

změně technologických podmínek.

4.3.2.5 Teplota nástroje- průtlačnice-průtlačník

Teplota jež byla použita pro nahřátí nástroje- průtlačnice, průtlačník byla zvolena $200 \pm 10^\circ\text{C}$ po stanovenou dobu 30 min.

K dosažení této teploty na celé ploše průtlačnice i průtlačníku bylo použito laboratorní zařízení WS 30- typ sušárny, které bylo v hodné pro daný experiment.

4.3.3 Tribologická zkouška dopředného protlačování

Pro získání statisticky významného počtu naměřených údajů a průměrné hodnoty sledované charakteristiky byl stanoven vždy soubor 5 měřených vzorků z něhož byly vybrány 2 poslední ustálené hodnoty.

Výsledky jednotlivých zkoušek jsou prezentovány pouze formou uložených souborů Microsoft Excel na přiloženém CD.

4.3.4 Vyhodnocení výsledků

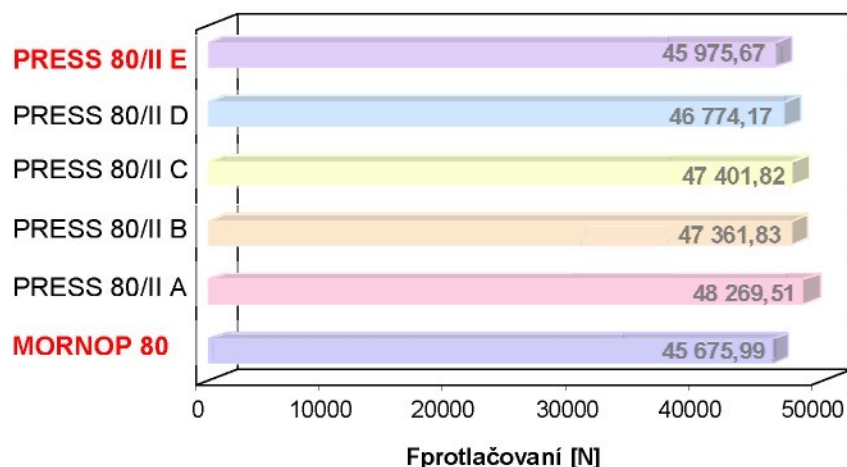
Při vyhodnocování byly staticky a následně graficky zpracovány veškerá získaná data z daného měření do přehledných tabulek, ze kterých lze zjistit přesnou hodnotu $F_{\text{protlačování}}$ z daného měření

Grafické zhodnocení daného experimentu je realizováno prostřednictvím sloupcových diagramů, z kterých lze především vyčíst nejvyšší a nejnižší hodnotu síly potřebné k protlačení u testovaného maziva a také rozdíly mezi nimi.

I. Při rychlosti posuvu $v=15\text{mm/min}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a při dopředném protlačování za studena při teplotě 20°C

Tab.4.21

Testované mazivo	Střední ustálená síla protlačování $F_{\text{protlačování}}$ [N]
MORNOP 80	45 675,99
PRESS 80/II A	48 269,51
PRESS 80/II B	47 361,83
PRESS 80/II C	47 401,82
PRESS 80/II D	46 774,17
PRESS 80/II E	45 975,67



Obr.4.17- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=15\text{mm/min}$ dopředném protlačování za studena při teplotě 20°C

Pro rychlost posuvu $v=15\text{mm/min}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) protlačování za studena při teplotě 20°C byla velikost protlačovací síly $F_{\text{protlačování}}$ v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla hodnoty $45\,675,99\text{N}$.

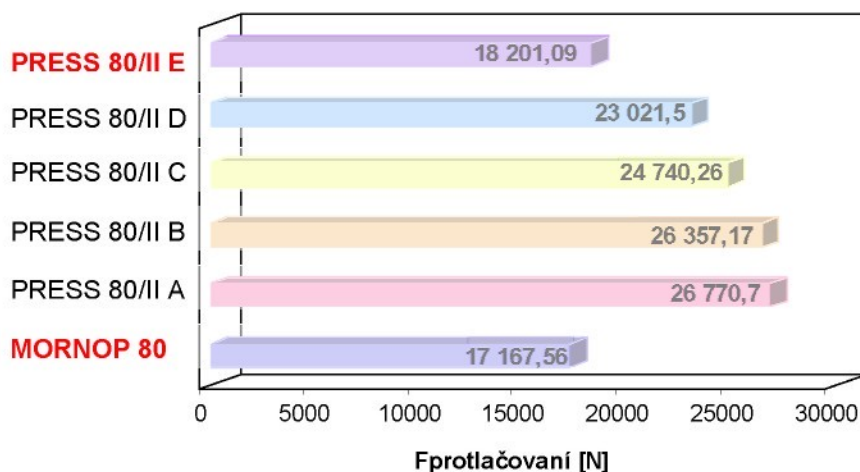
Nejmenší hodnotu protlačovací síly z nové testované výrokové řady PRESS II/ 80 má testované mazivo PRESS II/ varianta E, které dosáhlo hodnoty $45\,975,67\text{N}$.

Při vyhodnocení je nejnižší hodnota protlačovací síly $F_{\text{protlačování}}$ v ustálené oblasti měření u testovaného etalonového maziva MORNOP 80 cca. o $0,7\%$ nižší než nejnižší hodnota protlačovací síly z nové testované výrokové řady PRESS II/ 80, které odpovídá mazivu PRESS II/ varianta E.

II. Při rychlosti posuvu $v=15\text{mm/min}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) a při dopředném protlačování za tepla při teplotě 200°C

Tab.4.22

Testované mazivo	Střední ustálená síla protlačování $F_{\text{protlačování}}$ [N]
MORNOP 80	17 167,56
PRESS 80/II A	26 770,7
PRESS 80/II B	26 357,17
PRESS 80/II C	24 740,26
PRESS 80/II D	23 021,5
PRESS 80/II E	18 201,09



Obr.4.17- Sloupcový digram rychlosti posuvu $v=15\text{mm/min}$ dopředném protlačování za tepla při teplotě 200°C

Při stejné rychlosti posuvu jako u protlačování za studena při teplotě 20°C , tj. $v=15\text{mm/min}$ (pro množství maziva $1,5\text{gm}^{-2}$) byla velikost protlačovací síly $F_{\text{protlačování}}$ v ustálené oblasti měření nejmenší u testovaného etalonového maziva MORNOP 80, kde dosáhla hodnoty $17\,167,56\text{N}$.

Nejmenší hodnotu protlačovací síly z nové testované výrokové řady PRESS 80/II má testované mazivo PRESS 80/II varianta E, kde dosáhlo hodnoty $18\,201,09\text{N}$.

Při vyhodnocení je nejnižší hodnota protlačovací síly $F_{\text{protlačování}}$ v ustálené oblasti měření u testovaného etalonového maziva MORNOP 80 cca. o 6% nižší než nejnižší hodnota protlačovací síly z nové testované výrokové řady PRESS II/ 80, které odpovídá mazivu PRESS II/ varianta E.

4.3.4.1 Diskuze k hodnocení typu použitého testovaného maziva v závislosti na aplikované technologii objemového tváření- protlačování

V rámci zpracovaných hodnot z daného experimentálního měření je patrné že etalonové mazivo MORNOP 80, který byl zvolen k porovnání s novou výrokovou řadou maziv PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E má nejnižší naměřené hodnoty protlačovací síly $F_{\text{protlačování}}$.

Etalonové mazivo MORNOP 80 od výrobce ESSO spol. s.r.o. **vykazuje řádově o 0,7% nižší hodnoty** protlačovací síly při objemovém tváření- protlačování za studena při teplotě 20°C než nejnižší hodnota u mazadel nové řady PRESS 80/II pro dané tribologické parametry příslušného měření.

V případě objemového tváření- protlačování při teplotě 200°C vykazovalo **etalonové mazivo MORNOP 80 o 6% nižší hodnoty** protlačovací síly než-li nejnižší hodnota u daných mazadel nové řady PRESS 80/II, tj mazivo PRESS 80/II E.

Závěrem lze konstatovat, že **nejlepšího** výsledku bylo dosaženo u testovaného **etalonového maziva MORNOP 80**.

Při experimentálním měření zkoušek tribologického testu bylo voleno množství maziva při nanášení na substrát s ohledem na zachování stejných podmínek, které se používají při reálném lisování v oblasti mazání a přimazávání během tažení karosářských výlisků

Polotovary při objemovém tváření- protlačování je nutno mazat, aby pro tváření stačily menší tlaky a zlepšila se jakost požadovaného výrobku.

Při experimentálním řešení předkládané diplomové práce bylo dokázáno, že nemazané polotovary potřebují na zpracování cca. čtyřikrát větší tlaky než polotovary mazané.

5. Diskuze výsledků diplomové práce

Diskuze výsledků diplomové práce navazuje na dílčí diskuse výsledků uvedené v předcházející kapitole k jednotlivým výsledkům

Cílem práce bylo provést a vyhodnotit tribologické testy pro vybraná maziva při navržených metodikách; protahování drátu, protlačování a při zkoušce tažení pásku plechu při tvářecím procesu tažení. Pro tribologické testy při tvářecím procesu tažení bylo využito nového vysokorychlostního zařízení, nejen pro testy při standardních rychlostech, ale zejména při vysokých rychlostech SOKOL 400. Tribologické testy pro vybrané technologie objemového tváření proběhly na stávajícím zkušebním zařízení TIRatest 2300, kterého je využíváno pro měření mechanických vlastností materiálu.

Testy probíhaly v laboratorních podmínkách, při zachování technologických parametrů, co nejvíce se přibližujícímu reálnému procesu při výrobě pevnostních šroubů, při objemovém tváření- protahování drátu, pro který byly daná vybraná maziva testována a hodnocena.

Z popsané teorie o mazivech a jejich vlivu při tvářecích procesech v předkládané práci a z provedených laboratorních tribologických testů vyplývá, že při volbě vodného maziva pro konkrétní tvářecí operaci je třeba přihlídnout také k vlivům, které bezprostředně provázejí celý proces a dají se pokládat za stěžejní při vybrané technologii tváření (rychlost posuvu materiálu v nástroji, kontaktní tlak, mazivo a jeho nanášené množství).

V rámci diplomové práce bylo možné obsáhnout pouze část vlivů, které mohou ovlivňovat volbu maziva při vlastním procesu při vybrané technologii tváření.

Cílem experimentálního měření bylo zjistit a vyhodnotit nejvhodnější mazivo z nové výrobkové řady testovaných maziv pro objemové tváření- výroby pevnostních šroubů, které by nahradilo stávající- etalonové mazivo.

Pozici stávajícího- etalonového maziva zaujímá MORNOP 80 od výrobce ESSO spol. s.r.o.. Jako srovnávací maziva byly dodány nově vyvinutá maziva tvořící novou výrobkovou řadu mazadel PRESS 80/II varianta A, B, C, D, E od výrobce PARAMO, a.s..

Při tribologických testech při tvářecím procesu tažení na vysokorychlostního zařízení SOKOL 400 bylo dosaženo nejlepšího výsledku velikosti střední síly F_s v ustálené oblasti měření při vysokých rychlostech u testovaného nově vyvinutého maziva PRESS 80/II varianta E (zohledňují právě tento experimentální výsledek při vysokých rychlostech, protože rychlost odpovídá realitě při výrobě pevnostních šroubů). Nejnepríznivějšího výsledku bylo naopak dosaženo u etalonového maziva MORNOP 80. Avšak získané hodnoty z provedeného laboratorního měření byly silně ovlivněny nastavenými technologickými parametry, zejména tlakem důležitým technologickým vlivem

Při objemovém tváření- protahování drátu za studena a tepla, bylo zjištěno,

že nejnižší hodnota protahovací síly F_{prot} v ustálené oblasti měření- hodnota, která byla zohledňována u dané tribologické zkoušky přísluší etalonovému mazivu MORNOP 80 od výrobce ESSO spol. s.r.o..

Zohledňovaná hodnota protahovací síly u maziva MORNOP 80, byla jen o 0,7% při protahování za studena a o 5% při protahování za tepla nižší než hodnota nově vyvinutého maziva PRESS 80/II varianta E, který zaujímal pozici maziva s nejnižší protahovací silou z řady nově vyvinutých maziv PRESS 80/II od PARAMO, a.s..

U objemového tváření- protlačování dosáhlo etalonové mazivo MORNOP 80, také nejlepšího výsledku z hlediska velikost protlačovací síly $F_{\text{protlačování}}$ v ustálené oblasti měření řádově o 0,7% nižší hodnoty protlačovací síly za studena a o 6% při protlačování za tepla než-li nejnižší hodnota u daných mazadel nové řady PRESS 80/II u PRESS 80/II varianta E.

Experimentální měření diplomové práce jednoznačně prokázalo vliv navrhovaných metodik na zjišťování tribologických vlastností maziv a jejich vhodnosti pro proces výroby vysokopevnostních šroubů.

Velkou roli sehrály také vhodně zvolené technologické podmínky simulující reálný proces výroby šroubů.

Z výše uvedeného plyne, že nejpříjemnějšího výsledku bylo dosaženo při simulaci procesu protlačování a protahování, kdy získané hodnoty v závislosti na vhodně zvolených technologických podmínkách (rychlost posuvu materiálu v nástroji, kontaktní tlak, mazivo a jeho nanášené množství, teplota) se nejvíce přibližovaly reálnému procesu.

V případě tribologické zkoušky tažení pásku plechu byly i přes vhodně zvolené technologické podmínky na daném laboratorním zařízení SOKOL 400 výsledky velmi rozdílné od již výše zmiňovaných navrhovaných metodik zkoušení, které simulovali reálný proces výroby vysokopevnostních šroubů. Z toho plyne, že daná metodika není vhodná pro tento způsob experimentálního měření.

Všechny podmínky testování byly voleny s ohledem na simulaci reálného procesu výroby vysokopevnostních šroubů a co největšímu přiblížení podmínkám vyskytujícím se v provozu šroubáren.

8. Seznam příloh

Příloha č.1- Ilustrační záznamové listy ze zkoušky protahováním drátu

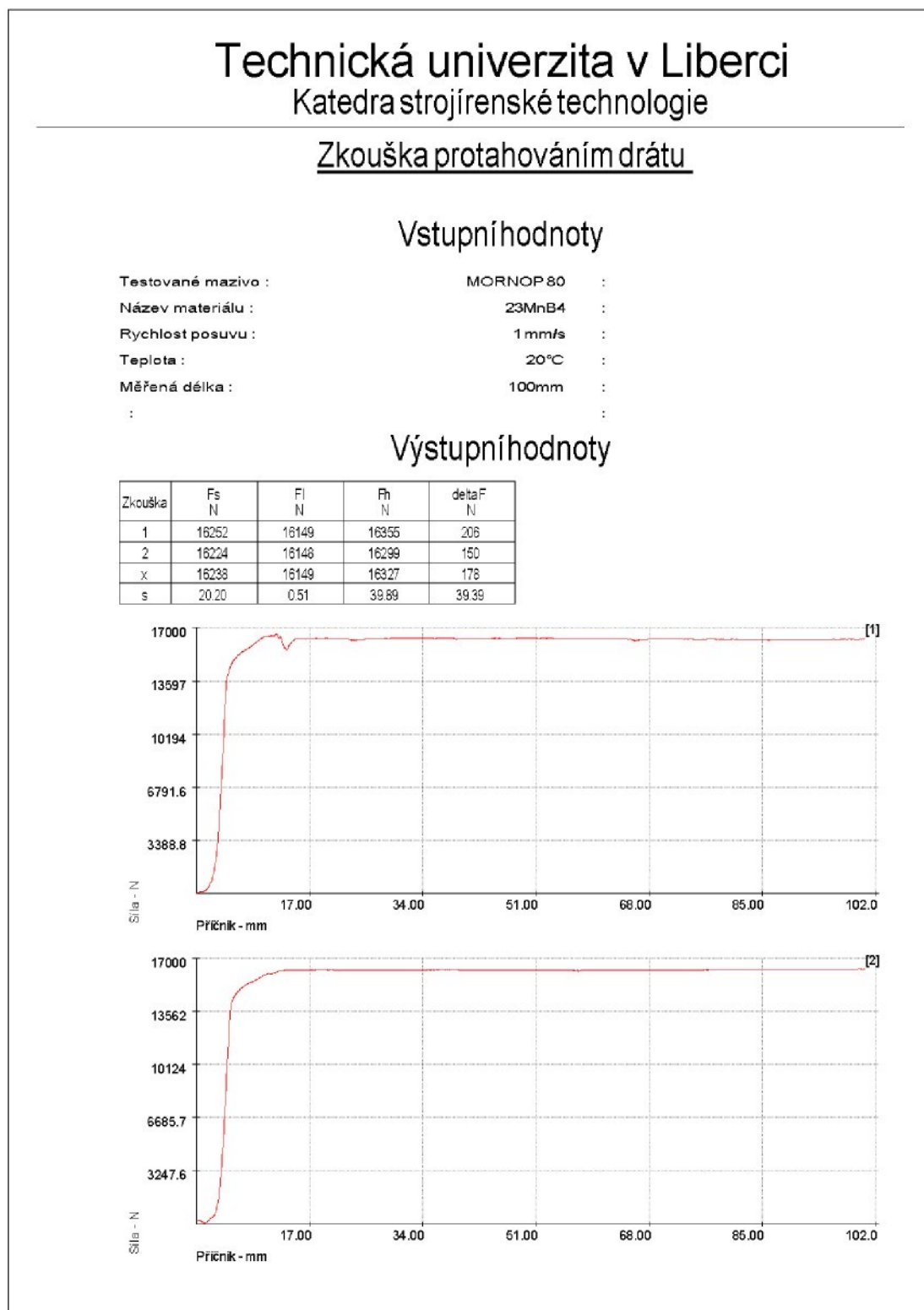
Příloha č.2- Ilustrační záznamové listy ze zkoušky protlačováním

Příloha č.3- Mazivo MORNOP 80 (od výrobce ESSO spol. s.r.o.)

Příloha č.1

Příloha P1 str.1/4

Tažení drátu za studena při teplotě 20°C a rychlosti 1mm/s



Náhodně zvolený ilustrační list o záznamu zkoušky

Příloha P1 str.2/4

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

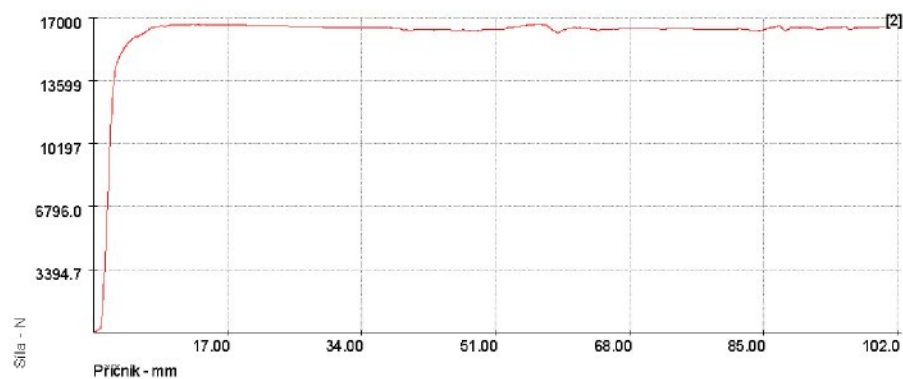
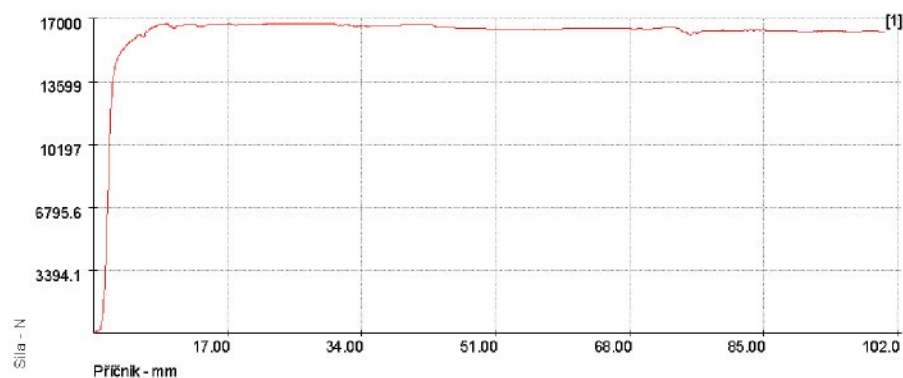
Zkouška protahováním drátu

Vstupní hodnoty

Testované mazivo : PRESS80_2E :
Název materiálu : 23MnB4 :
Rychlost posuvu : 1 mm/s :
Teplota : 20°C :
Měřená délka : 100mm :
:

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _s N	F _I N	F _m N	delta F N
1	16436	16135	16736	600
2	16427	16191	16663	473
x	16431	16163	16699	536
s	6.16	38.92	51.22	90.14



Náhodně zvolený ilustrační list o záznamu zkoušky

Příloha P1 str.3/4

Tažení drátu za studena při teplotě 200°C a rychlosti 10mm/s

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

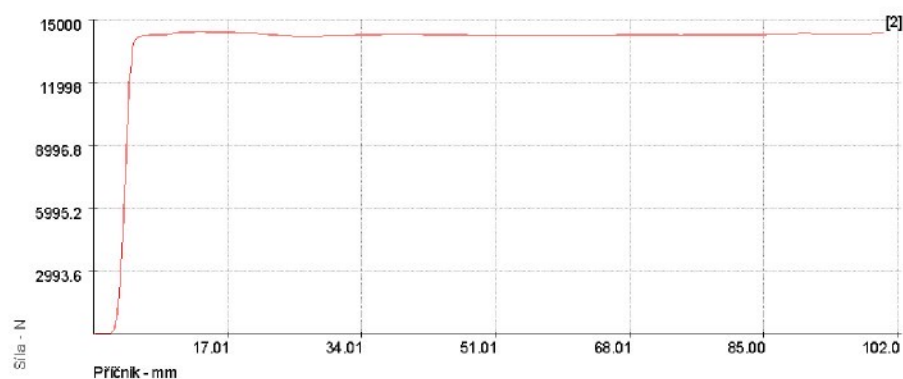
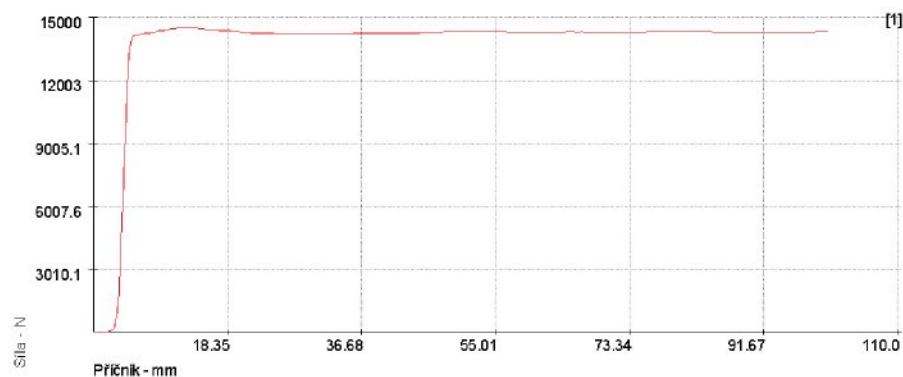
Zkouška protahováním drátu

Vstupní hodnoty

Testované mazivo : MORNOP 80 :
Název materiálu : 23MnB4 :
Rychlost posuvu : 10 mm/s :
Teplota : 200 °C :
Měřená délka : 100mm :
:

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _s N	F _I N	F _h N	delta F N
1	14285	14216	14353	138
2	14286	14219	14354	134
x	14285	14218	14353	136
s	1.32	2.50	0.14	2.36



Náhodně zvolený ilustrační list o záznamu zkoušky

Příloha P1 str.4/4

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

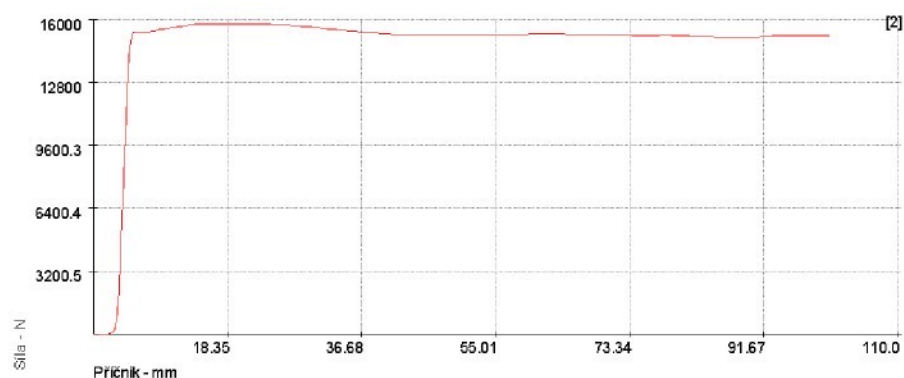
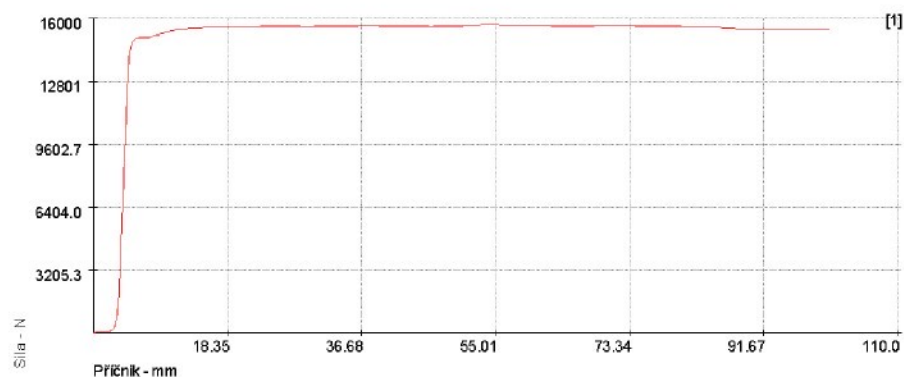
Zkouška protahováním drátu

Vstupní hodnoty

Testované mazivo : PRESS80_2A :
Název materiálu : 23MnB4 :
Rychlost posuvu : 10 mm/s :
Teplota : 200 °C :
Měřená délka : 100mm :
:

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _s N	F _I N	F _h N	delta F N
1	15560	15435	15685	250
2	15347	15091	15604	514
x	15454	15263	15645	382
s	150.15	243.33	56.96	186.35

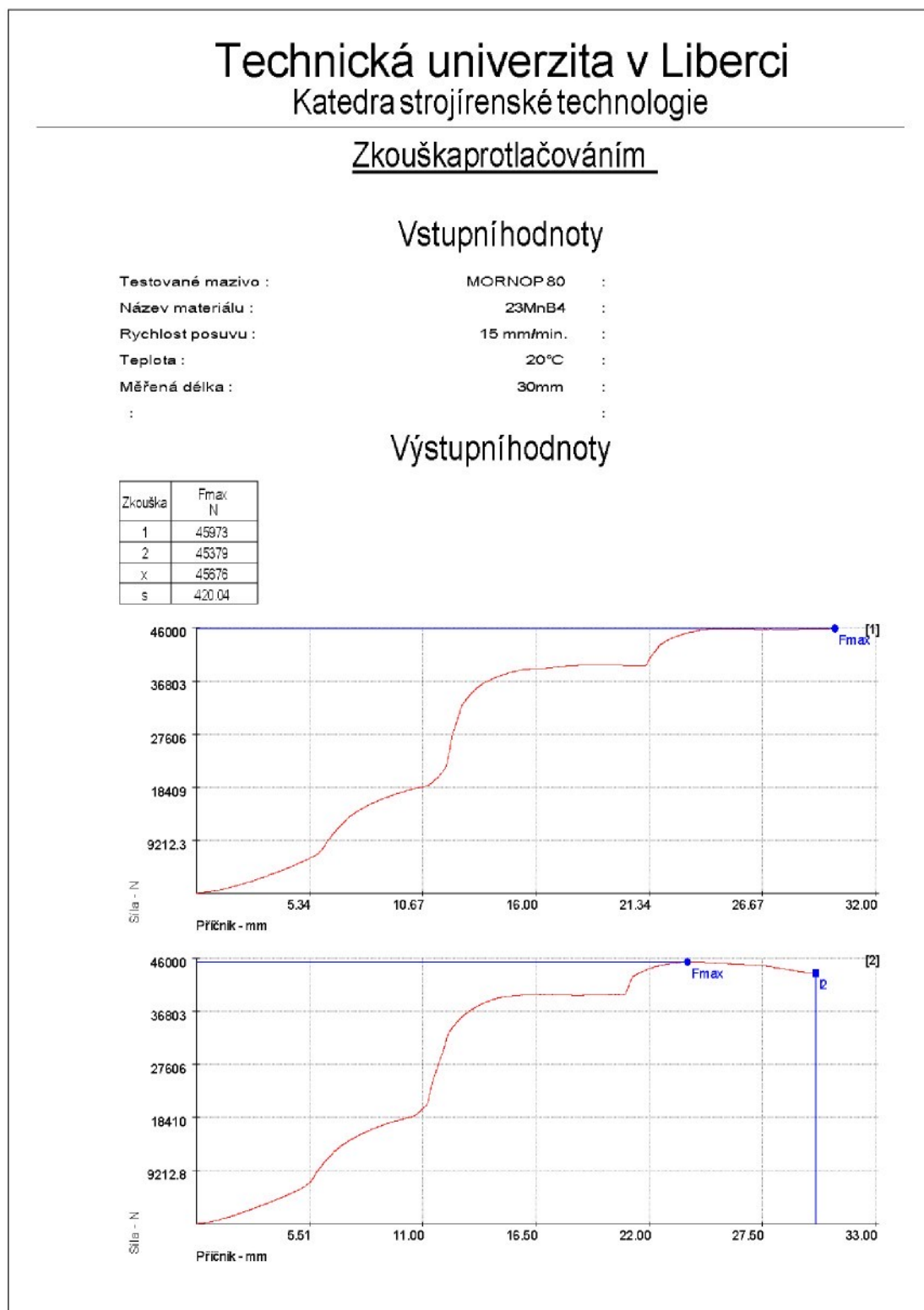


Náhodně zvolený ilustrační list o záznamu zkoušky

Příloha č.2

Příloha P2 str.1/4

Protlačování při teplotě 20°C a rychlosti 10mm/min



Náhodně zvolený ilustrační list o záznamu zkoušky

Příloha P2 str.2/4

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

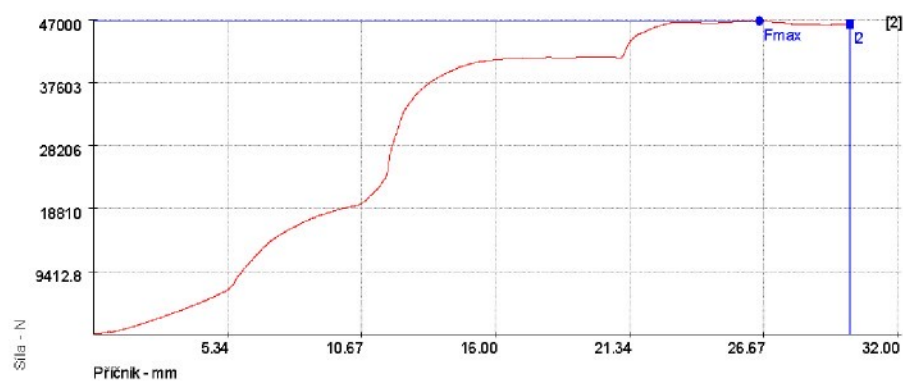
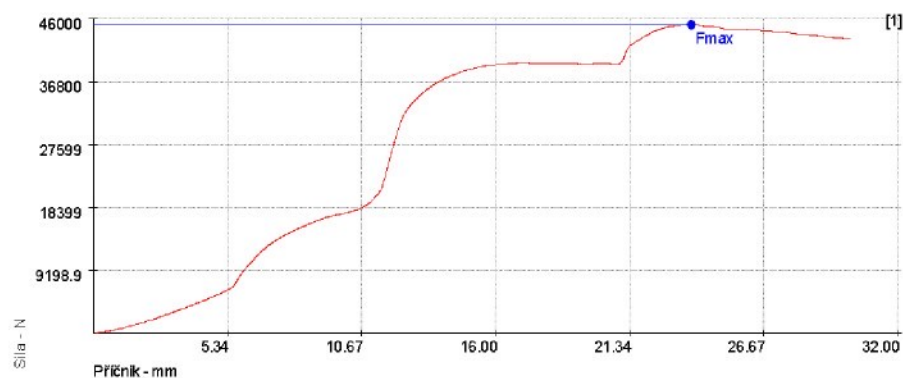
Zkouška protlačováním

Vstupní hodnoty

Testované mazivo : PRESS80_2E :
Název materiálu : 23MnB4 :
Rychlost posuvu : 15 mm/min. :
Teplota : 20°C :
Měřená délka : 30mm :
:

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N
1	45154
2	46797
x	45976
s	1162.16



Náhodně zvolený ilustrační list o záznamu zkoušky

Příloha P2 str.3/4

Protlačování při teplotě 200°C a rychlosti 10mm/min

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

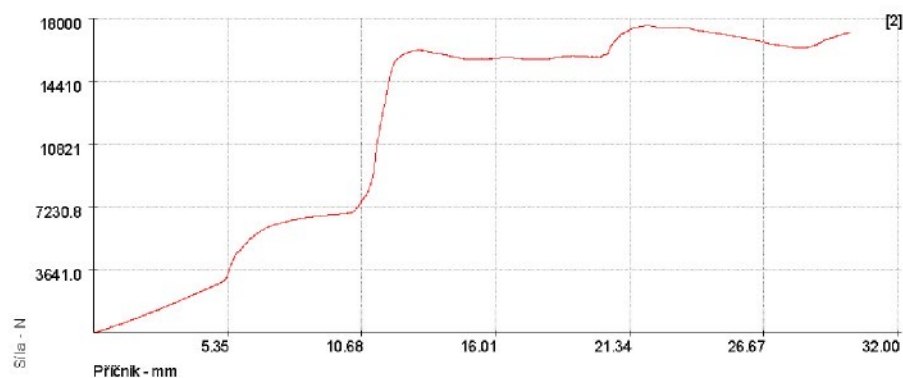
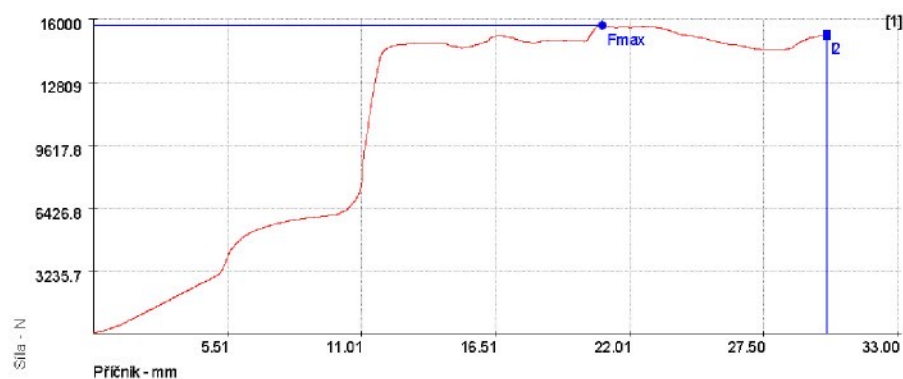
Zkouška protlačováním

Vstupní hodnoty

Testované mazivo : MORNOP 80 :
Název materiálu : 23MnB4 :
Rychlost posuvu : 15 mm/min. :
Teplota : 200°C :
Měřená délka : 30mm :
: :

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N
1	15896
2	17586
x	16641
s	1336.63



Náhodně zvolený ilustrační list o záznamu zkoušky

Příloha P2 str.4/4

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

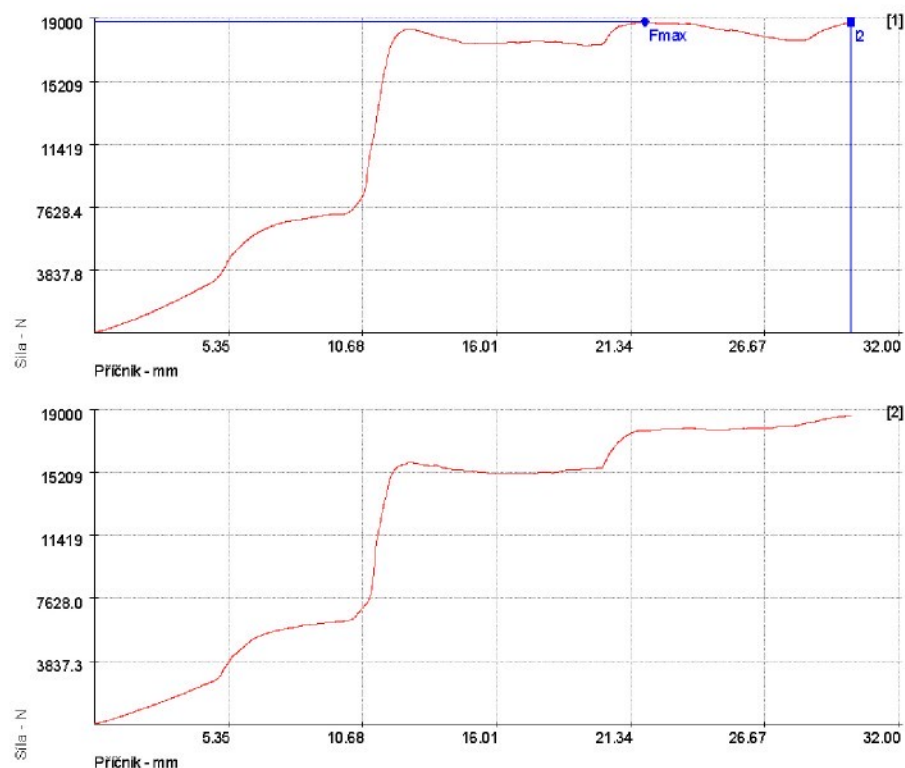
Zkouška protlačováním

Vstupní hodnoty

Testované mazivo : PRESS80_2E :
Název materiálu : 23MnB4 :
Rychlost posuvu : 15 mm/min. :
Teplota : 200°C :
Měřená délka : 30mm :
:

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N
1	18816
2	18840
$\bar{x}$	18728
s	124.80



Náhodně zvolený ilustrační list o záznamu zkoušky

Příloha č.3

MORNOP 80

MORNOP 80 je vysoce výkonná, vodou-nemísitelná chladicí kapalina určené k stříhání (ražení) a beztržskému tváření dílů z legovaných a vysoce legovaných ocelí. Je vhodná i jako přísada pro běžně používané oleje, pokud je potřeba zvýšit jejich výkon nebo doplnit aditiva ztracená v průběhu použití např. výnosem na zpracovávaných dílech.

Vysoká výkonnost tohoto produktu je založena na vysoké koncentraci účinných aditiv obsažených v ropném rafinátu.

Aktivní sirné sloučeniny obsažené v produktu mají sice sklon k zabarvování částí strojů a obrobků z mědi a jejích slitin, ale naopak ocelové součástky jsou dočasně chráněny proti korozi.

Speciální přísady snižují tvorbu mlhy na pracovišti při použití těchto produktů na minimum.

MORNOP 80 neobsahuje přísady s chlórem

Tab. P3 Tribologické vlastnosti maziva MORNOP 80 v porovnání s vlastnostmi testovaného maziva z řady PRESS 80/II od výrobce PARAMO, a.s..

	ESSO MORNOP 80	PRESS 80/II var. A
barva ASTM	3,5	3,5
hustota 15°C kg/m ³	940	907,7
kinematická viskozita 40°C mm ² /s	88	80,92
BT °C	-21	-8
koroze		
Cu 3h/100 °C	4	1a
ocel 3h/100 °C	-	negativní

6. Závěr

Předložená diplomová práce se zabývala výběrem vhodného typu maziva pro výrobu šroubů ve firmě Šroubárna Kyjov, spol. s r.o.. Jednalo se o výběr alternativního oleje z nové výrokové řady PRESS 80/II dodávané firmou PARAMO, a.s. v porovnání s dosud používaným mazivem MORNOP 80 od výrobce ESSO spol. s r.o..

V první části řešení diplomové práce bylo třeba navrhnout typy zkoušek, na základě kterých by bylo následně vybráno alternativní mazivo. Pro posouzení vhodnosti použití jednotlivých maziv byly zvoleny tři různé metody měření. Jednalo se o zkoušku protahování pásku používanou na katedře Strojírenské technologie k hodnocení maziv pro tažení plechů, zkoušky protahováním drátu a zkoušky protlačováním. Zkouška protahováním pásku byla volena s ohledem na její jednoduchost a již ověřenou metodiku provádění a vyhodnocování zkoušek. Další dva typy zkoušek, oproti již zmiňované, zase reálněji simulují skutečné technologické podmínky při vlastní výrobě šroubů. Snahou při provádění zkoušek bylo co nejvíce zohlednit skutečné podmínky při výrobě (rychlost posuvu, teplota, stav napjatosti a velikost deformace).

Zkouška protahováním pásku umožňuje volit rychlost posuvu zkoumaného vzorku až 400 mm s^{-1} , což odpovídá rychlosti protahování drátu v první operaci při výrobě šroubů. Ovlivnění ostatních technologických parametrů (teplota, stav napjatosti, deformace vzorku) však není při této zkoušce možné. Tento fakt se také projevil při následném vyhodnocení výsledků zkoušek, kdy srovnáváním dosažených výsledků z různých metodik měření bylo zjištěno, že výsledky získané zkouškou protahování pásku vykazují zcela jiné tendence než u zbývajících dvou typů zkoušek. Z tohoto důvodu nebyl při výběru alternativního maziva brán na tyto výsledky zřetel. Zkouška protahování drátu a zkouška protlačování „věrněji“ simuluje skutečné výrobní podmínky. Nevýhodou těchto zkoušek je malá rychlost posuvu vzorku ($\text{max. } 10 \text{ mm s}^{-1}$).

Z výše uvedeného vyplývá závěr, že v případě, kdy chci laboratorně zjistit zda je mazivo alternativně přijatelné pro danou operaci tváření, je nutné simulovat laboratorní zkoušku tak, aby se co nejvíce blížila reálným podmínkám v provozu. Nemá smysl experimentovat, vytvářet odlišné i když mnohdy časově nenáročné laboratorní metodiky, které nemají podobnost z hlediska samotné realizace výroby tváření.

Podrobné výsledky, metodika provádění jednotlivých testů, diskuze měření a výsledky zkoušek jsou uvedeny v kap. 4. Z naměřených hodnot při realizaci

objemového tváření v kap. 4.2 a 4.3. se jeví jako nejvhodnější mazivo (aplikované při zvolených technologických podmínkách; rychlost posuvu materiálu v nástroji, kontaktní tlak, mazivo a jeho nanášené množství) MORNOP 80 od výrobce ESSO spol. s.r.o., které se v současnosti využívá běžně v provozu šroubárny. Maziva z testované výrobkové řady PRESS 80/II od firmy PARAMO, a.s. nedosáhly stejných, nebo lepších, tribologických výsledků oproti MORNOP 80. Z výrobkové řady PRESS 80/II firmy PARAMO, a.s. dosáhl srovnatelných výsledků (nepatrně horší) olej s označením „varianta E“.

Dobré tribologické vlastnosti maziv jsou jedním z hlavních požadavků. Je ovšem mnoho dalších důležitých měřítek, které rozhodují o nasazení maziva do výroby. V rámci komplexního řešení by bylo třeba provést ekonomické zhodnocení nasazení různých maziv, ale toto zhodnocení nebylo předmětem řešení diplomové práce.