

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
Ústav strojírenské technologie - odbor tváření  
Technická 2, 616 69 Brno**



**Autoreferát  
doktorské disertační práce**

**Brno 2000**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
Ústav strojírenské technologie - odbor tváření  
Technická 2, 616 69 Brno



**Vliv maziv na opotřebení tvářecích nástrojů**

**The influence of lubricants on forming tools wear**

**Der Schmierstoffeinfluß auf die Abnutzung der umformenden Werkzeuge**

Autoreferát disertace pro získání vědecké hodnosti  
Doktor technických věd

Vědní obor :  
23-07-8 Strojírenská technologie

**Vypracoval :** Ing. Libor Mašek  
**Školitel :** Doc. Ing. Karel Novotný, CSc. (ÚST FSI VUT Brno)  
**Odborný konzultant :** Ing. Oto Šperka (ROSTEX s.r.o. Vyškov)

**Datum obhajoby :** 15.12.2000

**Oponenti :** Prof. Ing. Radko Samek, CSc. (VA Brno)  
Prof. Ing. Jiří Petruželka, CSc. (FS VŠB TU Ostrava)  
Doc. Ing. Jan Šanovec, CSc. (FS ČVUT Praha)  
Ing. Petr Dobeš, CSc. (FUCHS OIL COR. Brno)

Brno, 2000

© 2001 L. Mašek  
ISBN 80-214-1794-3

## Obsah

<i>Název kapitoly :</i>	<i>Strana :</i>
Titulní list	
Obsah	
1. Přehled současného stavu problematiky .....	4
2. Tribologie u tvářecích nástrojů .....	6
3. Tření .....	6
4. Opotřebenění .....	7
5. Mazání .....	9
6. Zvolené metody zpracování .....	11
7. Hlavní výsledky práce .....	14
Závěrečné hodnocení práce a přínos pro průmyslovou praxi .....	17
Summary of Dissertation .....	19
Die Bewärtung von der Disertationsarbeit .....	20
Seznam použité rešeršní literatury .....	22
Přehled publikovaných prací .....	27
Životopis .....	28
Curriculum Vitae .....	28

## 1. Přehled současného stavu problematiky

Obecně problematika mazání a maziv hraje důležitou roli ve strojírenství. Konkrétně při tváření je aktuální problém snižování opotřebení tvářecích nástrojů. Při tváření mají maziva za úkol snížit tření mezi nástrojem a polotovarem. Řada používaných maziv v mnoha strojírenských podnicích již nesplňuje požadavky na ně kladené ve vztahu k technickému životu tvářecích nástrojů, tak i z ostatních požadavků mezi které např. patří ekologie a hygiena maziv. Proto je důležité zabývat se výzkumem v této oblasti, který přispěje k tomu, že původní maziva budou nahrazena novými, dokonalejšími, splňujícími veškeré technické, ekologické a ostatní požadavky. V současnosti existuje celá škála firem zabývajících se výrobou a prodejem těchto speciálních maziv. Doporučená oblast použití maziv je často uváděna pouze intuitivně. Přitom jednotlivá maziva jsou vhodná pro určité podmínky jejich nasazení, a proto se jeví účelné provádět zkoušky maziv, které by umožňovaly provést rozřídění maziv z hlediska jejich vhodností pro konkrétní technologii výroby. Z toho vyplývají nemalé úspory odrážející se v nižších nákladech na nástroje, renovace nástrojů, v časových úsporách dosahovaných při výměně a seřizování nástrojů, v úsporách na likvidaci maziv a v neposlední řadě i ve zdraví obsluhy. Zkoušky umožňující provádět třídění nebo doporučení maziv pro konkrétní oblasti jejich nasazení mohou být *laboratorní* (podmínky zkoušek neodpovídají zcela skutečnosti, ale jsou přitom časově i finančně relativně méně náročné oproti zkouškám praktickým) nebo *praktické* (cenově i časově jsou velice náročné). *Pozn.:* Vhodných laboratorních zařízení pro zkoušky maziv simulující podmínky ohýbání je nedostatek.

Vývoj maziv půjde stále dopředu, a to nejen v tom smyslu, že se budou stále více zdokonalovat vlastnosti maziv (a to nejen zastoupením nejrůznějších aditiv nebo mikromolekulárních přísad v těchto mazivech). Při vývoji maziv se bude uplatňovat větší provázanost s podniky, pro které budou tato maziva vyvíjena. Stále více se budou v praxi uplatňovat i biomaziva, která řeší otázku jejich likvidace. Dále bude nutné provádět další zkoušky na ověření vlastností nových maziv vzhledem k širokým možnostem jejich aplikace zejména v extrémních podmínkách, kde jsou maziva vystavena vysokým tlakům a teplotám. Z uvedeného je vidět, že v současné době je snaha výrobců maziv dosáhnout u svých produktů pokud možno co nejvyšších užitných vlastností s ohledem především na cenu daného produktu. Nejvyšší užitné vlastnosti a přijatelnou cenu produktu žádají i odběratelé.

Tyto rostoucí požadavky na maziva vyplývají z vyšších technických parametrů strojů, nástrojů, energetické náročnosti tvářecího procesu apod. U maziv kromě požadavků na jejich technické vlastnosti hrají i další důležitou úlohu problémy spojené se zdravím pracovníků, manipulací a likvidací maziv. Oblast vývoje mazání a maziv je velice rozsáhlá, protože zkoumá vlastnosti maziv nejen po stránce chemického složení, ale i ve vztahu k uvažovaným aplikacím v průmyslové praxi.

Na základě rozboru problematiky opotřebení nástrojů byl postup a cíl práce stanoven v tomto smyslu :

**Zhodnotit vliv maziv na technický život ohýbacích nástrojů (při zpracování nerezavějících ocelí).**

- a) provést rozbor a chování materiálu při tření a opotřebení (u tvářecích nástrojů)
- b) zhodnotit vliv mazání a maziv ve tváření
- c) provést přehled současného stavu předních firem distribuujících maziva pro účely tváření a jejich produktů na trhu v ČR
- d) navrhnout a provést laboratorní zkoušky na ověření vlastností maziv
- e) na základě dostupných informací, výsledků laboratorních zkoušek provést výběr maziv vhodných pro danou technologii a podmínky výroby součástí vnějšího a vnitřního krycího štítu
- f) prakticky ověřit vhodnost jednotlivých maziv při výrobě vnějšího a vnitřního krycího štítu
- g) porovnat a zhodnotit technický život ohýbacích nástrojů při použití stávajícího maziva a při použití nových maziv (za účelem nahrazení původního maziva novým, které splňuje požadavky v otázce technického života ohýbacích nástrojů, ekologie výroby, likvidace apod.)
- h) odstranit problémy při lisování krycích štítů, tj. zadírání na bocích krycích štítů
- ch) zvýšit technický život ohýbacích nástrojů a kvalitu krycích štítů po operaci ohyb
- i) zhodnotit jednotlivé části experimentu a na základě jejich vyhodnocení vyslovit závěry a doporučení pro další výzkumné a vývojové práce v dané oblasti.

## 2. Tribologie u tvářecích nástrojů

*Tribologie* je samostatná vědecká disciplína zabývající se vzájemným působením povrchů při jejich relativním pohybu. Souhrnně lze říci, že tribologie se zabývá třením, opotřebením a mazáním.

Pro nástroj je nutné zajistit takové podmínky, za kterých bude jeho opotřebení co nejmenší. Proto je nutné se zabývat vstupními veličinami, interakcí nástroje a tvářeného materiálu. Chování povrchových interakcí mezi polotovarem a nástrojem závisí na základních vlastnostech obou materiálů. Do parametrů, které ovlivňují toto chování je možno zařadit objemové a povrchové vlastnosti obou materiálů. Do objemových vlastností patří mez kluzu, tvrdost, modul pružnosti v tahu, modul pružnosti ve smyku, křehkost, tepelné vlastnosti atd. Povrchové vlastnosti zahrnují chemickou reaktivitu, schopnost povrchu přijímat povrchové filmy různých chemických sloučenin, sklon k absorbování molekul z okolí, povrchová energie obou těles apod. Znalost všech těchto jevů není dostatečná. Řada odvozených vztahů předpokládá, že kovy jsou tvořeny atomy vázanými určitou vazbou. Povaha vazby pak určuje řadu vlastností (např. silná vazba znamená vysokou odolnost proti deformaci, vysokou pevnost apod.).

## 3. Tření

Tření je jev, který má charakter procesu, váže se zde dotyk dvou prvků systému při jejich relativním pohybu. Z jiného pohledu můžeme tření definovat jako ztrátu mechanické energie v průběhu relativního pohybu dvou dotýkajících se součástí.

*Tření při tvářecích procesech se podstatně liší od tření strojních součástí a to především v těchto rozdílech :*

- podstatně vyšší tlak na styčné ploše
- neustálá změna tlaku v jednotlivých bodech styku vlivem plastické deformace jednoho z těles, z toho plyne nerovnoměrné rozdělení tlaku
- neustálá změna plochy styku během tvářecí operace
- různé rychlosti pohybu tvářeného materiálu v různých bodech styku vlivem plastické deformace
- různé směry pohybu tvářeného materiálu při plastické deformaci.

*Tření ovlivňuje tvářecí procesy a to :*

- ve spotřebě energie
- ve velikosti deformačního odporu
- ve velikosti opotřebení tvářecích nástrojů
- v průběhu celého tvářecího pochodu
- ve vlastnostech (mechanických) tvářeného polotovaru
- ve velikosti výsledného silového účinku na nástroj
- apod.

*V technologických tvářecích pochodech můžeme rozeznávat dvojí úlohu vnějšího tření :*

- úloha pasivního činitele, projevující se v tom, že je brzděn rozvoj deformace, a že s pasivními odpory je spojena zvýšená spotřeba energie, potřebná na deformační proces a opotřebenění nástrojů.
- úloha aktivního činitele, projevující se v tom, že bez existence vnějšího tření by nemohly proběhnout takové tvářecí pochody, jako je válcování, neboť podmiňuje záběr materiálu válci.

*Pozn.:* V procesu ohýbání se tření projevuje jako pasivní činitel (požaduje se maximálně snížit tření při ohýbání).

#### **4. Opotřebenění**

Tření vždy způsobuje opotřebenění nástrojů otěrem. Nerovnosti povrchu nástroje, které při dotyku obou třoucích se těles zmenšují plochu skutečného kontaktu, se při zvýšeném tlaku a teplotě deformují a plocha kontaktu se zvětšuje. Pak lze hovořit o tření při vzájemném přemísťování materiálu, protože nastává plastické tečení v povrchové vrstvě měkčího materiálu. Plastická deformace povrchové vrstvy je pak větší než deformace celého tělesa. Při vzniku mikrosvarů, tj. při nalepování, vnější tření přechází na vnitřní a nastává vytrhávání částic materiálu. Především dochází k vytrhávání materiálu v místech s maximálním napětím a v místech mikrosvarů, kde je porušen mazací film. Je možné předpokládat, že mezi hlavní faktory ovlivňující velikost opotřebenění patří charakter mikronerovností a zatížení, stabilita mazacího filmu.

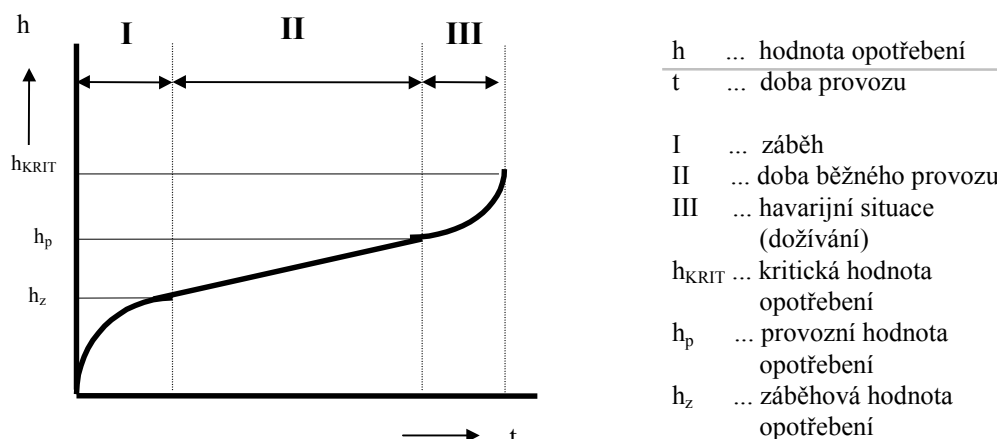
V řadě prací bylo předpokládáno a potom dokázáno, že s *růstem hodnoty tření roste i hodnota otěru*. Zjistilo se, že na tření i na otěr má vliv rychlost vzájemného pohybu třoucích se částí, a to v tom smyslu, že *s rostoucí rychlostí roste i hodnota otěru v čase*. Její růst však není přímo úměrný, protože *s rostoucí rychlostí součinitel tření klesá*. Pro vlastní proces otěru je důležité, jestli produkty otěru (odebrané množství materiálu) jsou z pracovního prostoru odstraňovány, a tím vždy obnoveny podmínky vzájemného smykového pohybu, (v tom případě je proces pomalejší) nebo jestli se produkty otěru na pohybových plochách hromadí, pak se proces otěru urychluje.

Proces opotřebenění má určitý charakteristický časový průběh, který je možné rozdělit na tři části. Jednotlivé části časového průběhu opotřebenění jsou v řadě literatur popisovány jako záběh, doba běžného, normálního provozu a doba do havarijní situace (dožívání), viz obr.1. Během záběhu se odstraňují některé mikronerovnosti a dosahuje se rovnovážné drsnosti povrchu. V tomto režimu je opotřebenění na počátku docela vysoké, rychlý úbytek materiálu může být způsoben použitím např. mírně korozivního maziva. Plocha styku se v této první fázi mění, svoji roli zde sehrávají i odlomené částice. Postupně se povrchy stávají vyleštěnější a více vystupující nerovnosti se postupně ztrácí, opotřebenění se snižuje. Po určité době, kdy jsou odstraněny zplodiny opotřebenění nedochází k progresivnímu růstu opotřebenění. Záběh je podstatně ovlivněn počtem mechanických procesů opotřebenění obzvláště těch, které závisí na adhezi nebo abrazi.



Další fáze představuje lineární pochod, kdy se opotřebení s časem lineárně zvětšuje. Snahou je docílit v této fázi co nejmenšího opotřebení. Po určité době provozu (pracovní chod), během níž se opotřebení zvětšovalo s časem pomalu, začne opotřebení progresivně narůstat. Může to být způsobeno postupným odebráním tvrzené povrchové vrstvy, kumulací drobných poškození (zvláště únavy) atd. Velký úběr materiálu může být způsobený odlomenými, většími, silně abrazivními částicemi.

Obr.1 Křivka časového průběhu opotřebení (z [3])



Při opotřebení dochází k :

- změně geometrie povrchů tuhých těles
- změně ve struktuře tuhých těles
- změně v reakčních vrstvách vznikajících na povrchu třecích těles.

Při tvářecích operacích je důležité sledovat :

- opotřebení tvářecího nástroje
- poškození povrchu tvářené součásti rýhami, jamkami, vlnami apod.

Opotřebení, které nastává při kluzných pochodech (smykové tření) se rozděluje na opotřebení odnosem (úbytek materiálu), opotřebení změnou tvaru a opotřebení zadíráním. Největší pozornost bývá věnována opotřebení odnosem, poněvadž jeho následkem je nežádoucí ztráta materiálu třecích členů.

Opotřebení nástrojů při tváření je velmi složitý proces, na který působí celá řada faktorů, které jsou většinou velmi těžko postižitelné. Navíc tyto vlivy působí v interakci, takže je nelze sledovat pouze samostatně bez návaznosti na ostatní vlivy. Další komplikace je v tom, že tyto vlivy nepůsobí v průběhu tvářecí operace se stejnou intenzitou, ale jejich intenzita se mění v závislosti na ostatních působících vlivech.

## 5. Mazání

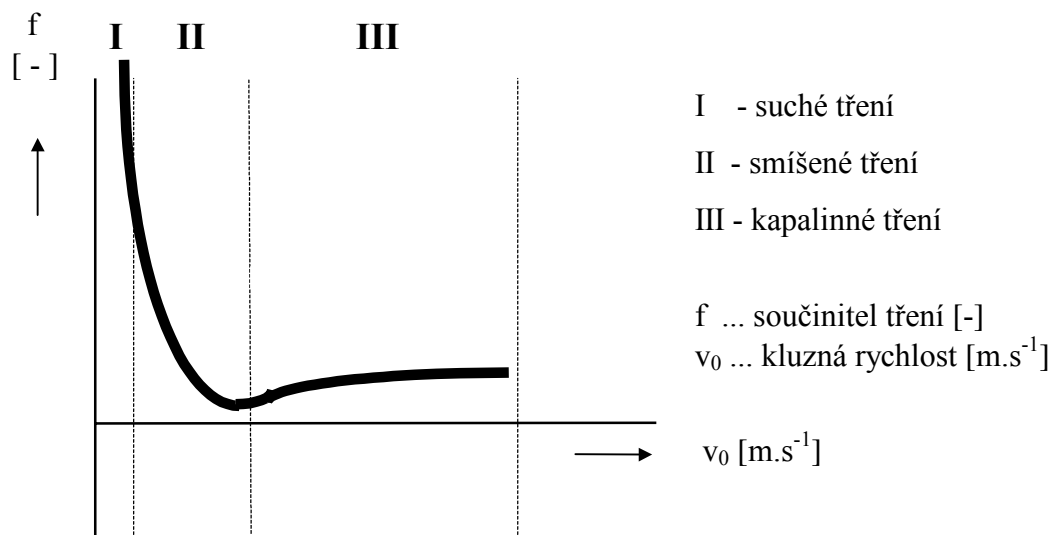
Aby bylo možné snížit styčné tření mezi tvářeným polotovarem a tvářecím nástrojem, musí mít povrchová vrstva, na které tření probíhá, menší pevnost než základní materiál. Toho je možné dosáhnout použitím měkkých vrstev tuhých nebo kapalných nanesených na třecí plochy, tj. použitím technologických maziv. Maziva by měla mít schopnost vytvořit mezi povrchy souvislou mazací vrstvu s dobrou přilnavostí a malým vnitřním třením.

*Ostatní faktory, které je třeba mít na zřeteli pro správnou volbu maziva jsou :*

- stav povrchu párové dvojice
- druh párové dvojice polotovar - nástroj
- pevnost maziva na tlak
- maximální vznikající lokální měrný tlak
- vznik tepla a teploty, která se vyvíjí přeměnou energie při tváření
- rychlost tváření a lokální rozdělení tepla
- změny viskozity maziva a hodnoty součinitele tření při tváření
- způsob vhodného nanášení maziva
- použité mazivo nesmí způsobit škody na životním prostředí
- chemická a teplotní stálost maziva
- nepřítomnost zápachu
- náklady na odmaštění, čištění polotovaru a náklady na ochranné pomůcky pro zaměstnance.

Na výzkum zaměřený na oblast mazání se nemalou měrou podílel Stribeck. Stribeckovy pokusy byly zaměřeny na vyšetřování závislosti součinitele tření na rychlosti vzájemného pohybu stykových ploch, viz obr.2.

Obr.2 Stribeckův diagram (z [17])



Pozn.: Na vodorovné ose se v jiných literaturách uvádí součin kluzné rychlosti a dynamické viskozity dělené měrným tlakem.

*Suché tření :*

Podmínkou vzniku suchého tření je, že se povrchová vrstva přímo dotýká pracovní plochy nástroje s tvářeným polotovarem. Vycházíme z představy dotyku drsných těles, které se třou.

Výstupky plochy jednoho tělesa zapadají do prohlubenin stykové plochy druhého tělesa, a tím brání vzájemnému posuvu obou těles.

*Mezní tření (mazání) :*

Jestliže mezi třecími povrchy již existuje tenká vrstvička (film) absorbovaných molekul plynu nebo kapaliny nebo látky vytvořené chemickou reakcí povrchů, mluvíme o mezním mazání. Je to takové mazání, které mezi dvěma povrchy v relativním pohybu je určováno jejich vlastnostmi a vlastnostmi maziva jinými, než je jeho viskozita.

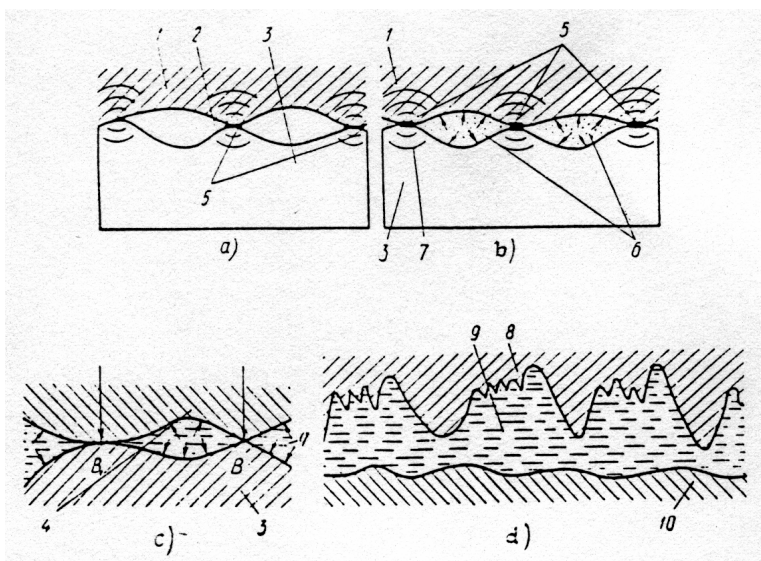
*Smíšené tření (mazání) :*

Nejsou-li třecí plochy dokonale odděleny vrstvou maziva a dochází-li k bezprostřednímu styku jejich nerovností, existuje mezi nimi tření smíšené, tj. jak tření kapalinové, tak i mezní. K smíšenému tření tedy dochází, jestliže tloušťka maziva mezi povrchy je menší než tloušťka potřebná pro zajištění hydrodynamického mazání, ale je větší než tloušťka tenkého filmu, který zajišťuje mazání mezní.

Obr.3 Modelové schéma různých režimů kontaktního tření (z [16])

- a) suché (vakuové) tření
- b) tření s plynným mazáním
- c) mezní tření
- d) hydrodynamické tření

- 1, 4 - deformovaný materiál
- 2 - vakuum
- 3 - základní materiál
- 5 - oblast plastického tečení
- 6 - plynová oblast
- 7 - deformovaný materiál
- 8 - polotovar
- 9 - mazivo
- 10 - nástroj
- B, B1 - místa suchého kontaktu



Při ohýbání plechů se vyskytují různé podmínky tření mezi ohýbaným plechem a funkčními díly nástroje. Při těchto operacích používáme téměř vždy mazání, avšak jeho efekt není vždy stejný. Obecně se dá říct, že se zde vyskytují všechny podmínky tření od ideálního kapalného tření, přes smíšené tření po tření suché.

**6. Zvolené metody zpracování**

Řešení problematiky vlivu maziv na opotřebení tvářecích nástrojů probíhalo ve dvou oblastech. V první oblasti je obsažen teoretický rozbor dané problematiky a druhá oblast je zaměřena na realizaci laboratorních a praktických experimentů. *Tyto experimenty je možné rozdělit na pět dílčích úkolů :*

- laboratorní zkoušky maziv na zařízení R-mat3
- laboratorní zkoušky maziv na zařízení fy METABOND
- návrh zkušebního zařízení pro zkoušky maziv
- laboratorní zkoušky maziv na zkušebním stroji ZD 10/90
- praktické zkoušky maziv v podniku ROSTEX s.r.o. Vyškov.

### ***Návrh experimentu na zkoušky maziv na zařízení R-mat3***

Tato zkouška obecně může být použita pro jednotlivé podmínky napodobující situace ve tváření charakterizované omezeným množstvím použitého maziva (tj. zejména ohýbání a hluboké tažení). Označení této zkoušky je možné v různých literaturách najít jako "twist-compression" nebo jako "ring-on-disc".

#### *Popis vlastní zkoušky :*

Vlastní vzorek je trubka (ring), která se otáčí a zároveň je přitlačována axiální silou na kroužek (disc). K tření a opotřebení vzorků dochází za přítomnosti maziva. Elektronický ovládací a měřicí panel umožňuje zaznamenat průběh třecího momentu, teplotu styku trubky a kroužku, dobu chodu a vypíná z bezpečnostních důvodů stroj při překročení nastavené teploty a vibrací. Kromě uvedeného se u zkušebních vzorků zjišťují hmotnostní úbytky, které je možné vyhodnocovat pro zvolené časové etapy zkoušení.

### ***Návrh experimentu na zkoušky maziv na zařízení fy METABOND***

Odpovídající metodika zkoušek je popsána v normě TIMKEN ASTM D 2782, podle které bylo i zhotoveno upravené experimentální zařízení (TIMKEN tester). Tato zkouška byla v literatuře [79] nazvána jako reprezentativní zkouška vhodná zejména pro hluboké tažení a ohýbání.

#### *Popis vlastní zkoušky :*

Zkoušky maziv na zařízení fy METABOND jsou oproti zkouškám na zařízení R-mat3 podstatně časově méně náročné, proto je možné provést měření pro více vzorků maziv. Podstatou zkoušky je to, že zkušební váleček je přitlačován na otáčející se kroužek, to za přítomnosti daného maziva. Zkouška probíhá po stanovenou dobu, po které je pak zjištěn hmotnostní úbytek zkušebního válečku. Dále jsou v tomto experimentu prováděny zadírací testy, jejímž cílem je zjistit maximální hodnotu zatížení, u kterého dojde k zadření zkušebního válečku a kroužku za přítomnosti daného maziva (případně i hmotnostní úbytek daných zkušebních vzorků).

### ***Návrh zkušebního zařízení a experimentu na zkoušky maziv***

Vzhledem k nedostatku laboratorních zařízení simulující proces ohýbání jsem navrhl a vyrobil nové zkušební zařízení na zkoušky maziv. *Návrh zkušebního zařízení pro zkoušky maziv vycházel z požadavku, aby zařízení bylo :*

- jednoduché z hlediska výroby;
- nenáročného na obsluhu;
- univerzálnější z hlediska používání různé geometrie zkušebních vzorků;
- přenosné;
- cenově nenáročné.

*Popis navrženého zkušebního zařízení a vlastního experimentu:*

Celé zkušební zařízení je upevněno na základové desce. Elektromotor otáčí vstupním hřídelem, na kterém se nachází malá řemenice. Malá řemenice je se vstupním hřídelem spojena pomocí pera. Prostřednictvím řemene je otáčivý pohyb přenášén na velkou řemenici. Velká řemenice je s výstupním hřídelem spojena upínací podložkou s nosem. Výstupní hřídel je umístěn v tělese ložisek a na jeho přední straně se upínají zkušební kroužky. Zkušební váleček je upevněn na pákové rameno. Celé rameno se přes otočný čep uvádí do pracovní polohy, ve které je v kontaktu zkušební kroužek a váleček. Na konec pákového ramena se nasazuje příslušné závaží, které vyvozuje přítlak zkušebního válečku na zkušební kroužek. Následně se na zkušební zařízení upevní nádoba na mazivo a naplní se odměřeným množstvím maziva, tak aby byl zkušební kroužek v mazivu ponořen. Při spuštění zařízení dochází k otáčení zkušebního kroužku, na který se přitlačuje zkušební váleček. Toto probíhá samozřejmě za přítomnosti odměřené dávky maziva a po stanovenou dobu. U jednotlivých zkušebních vzorků se zjišťuje hmotnostní úbytek, pomocí něhož jsou jednotlivá maziva hodnocena.

### ***Návrh experimentu na zkoušky maziv na zařízení ZD 10/90***

Laboratorní zkouška zaměřená na protahování pásků mezi upínacími plochami se jeví jako nejvhodnější experimentální metoda simulující podmínky pro ověřovanou technologii. (Experimentální zkoušky zaměřené na maziva pro tváření plechů popisuje norma ASTM D 4173.)

*Popis vlastního experimentu :*

Před zahájením zkoušek je potřeba umístit na zkušební stroj ZD 10/90 speciální přípravek a upínací tvarové čelisti. Speciální přípravek se skládá ze dvou nepohyblivých ocelových válců, které jsou sešroubovány se stěnou přípravku a zajištěny proti otáčení stavěcími šrouby s drážkou a hrotem. Mezi tyto válce se vkládá zkušební pásek plechu. Speciální přípravek je umístěn v horním nepohyblivém příčnicku zkušebního stroje. Zkušební pásky plechu jsou před zkouškou řádně odjehleny a odmaštěny. Po vložení namazaného pásku plechu příslušným mazivem do přípravku se provede jeho upnutí do tvarových čelistí, které se nachází ve spodním pohyblivém příčnicku. Následně se uvede zařízení do pracovní polohy. Na pákové rameno se umístí závaží, které vyvolá přitlačování dvojice válců na pásek plechu. Při spuštění stroje je měřena výtahná síla pro jednotlivé vzorky (namazané různými mazivy). Pomocí výtahné síly potom můžeme stanovit součinitel tření jednotlivých maziv, který je pro nás směrodatný v hodnocení daných maziv.

### ***Návrh praktického experimentu***

Praktický experiment prováděný v podniku ROSTEX s.r.o. Vyškov byl zaměřen na hodnocení technického života ohýbacích nástrojů při výrobě dvou součástí za použití různých maziv. Jednalo se o vnější a vnitřní krycí štít. Výroba těchto součástí byla do jisté míry problematická, protože u nich docházelo často k zadírání.

#### *Popis vlastního experimentu :*

Zkoušky maziv v tomto experimentu probíhaly na výstředníkovém lisu LENU 100 fy ŠMERAL za konstantních podmínek výroby. Na výstředníkovém lisu byl upnut původní ohýbací nástroj pro výrobu daných součástí. V experimentu se při výrobě sledoval počet součástí, který vyrobí ohýbací nástroj od jeho nasazení až do vzniku mezního stavu (mezní stav ohýbacího nástroje je charakterizován výskytem zadření, projevujícího se na bocích krycích štítů). Počet takto vyrobených součástí s použitím konkrétního maziva byl zaznamenán do tabulky. Měření potom byla opakována pro různá maziva. Pro hlavní hodnocení použitých maziv byla vzata průměrná hodnota z počtu vyrobených součástí ohýbacím nástrojem.

## 7. Hlavní výsledky práce

Praktické zkoušky maziv jak již bylo uvedeno probíhaly na výstředníkovém lisu LENU 100 v podniku ROSTEX s.r.o. Vyškov při výrobě vnitřního a vnějšího krycího štítu. V uvedeném experimentu se sledovat technický život původních ohýbacích nástrojů při použití různých maziv. Vypočtená průměrná hodnota technického života ohýbacích nástrojů (viz tab.1) byla stanovena z naměřených hodnot, které jsou tabulkově zpracovány v příloze pracovních tezí. Závislost počtu vyrobených vnitřních krycích štítů ohýbacím nástrojem při použitých mazivech označených A až M zobrazuje *obr.4*. Závislost počtu vyrobených vnějších krycích štítů ohýbacím nástrojem při použitých mazivech označených A až J zobrazuje *obr.5*.

Materiál ohybníku a ohybnice ... 19 436.6

Materiál vnějšího a vnitřního krycího štítu ... 17 040.2

Tab.1 Hodnocení maziv při výrobě vnějšího a vnitřního krycího štítu

Vnější krycí štít		Vnitřní krycí štít	
Mazivo	P	Mazivo	P
SÍRA (sirný květ) + OL B4 (1:1)	6 079	SÍRA (sirný květ) + OL B4 (1:1)	12 586
RENOFORM MZAN 54	3 777	RENOFORM MZAN 54	6 659
METABOND C2 5% + OL B4	6 136	METABOND M 7% + OL B4	3 622
MORNOP 80	8 356	VEFOS S	2 500
SLZ 2405	4 547	MORNOP 80	8 138
DRAWSOL 3750 DB	6 421	STANZOEL EGL 41475	3 240
RUSTILO AQUA 2F-D	3 342	STANZOEL EGL 41478	4 348
STANZOEL EGL 41475	4 200 *	DRAWSOL WDC 9 + VODA (1:5)	254 *
RENOFORM 19 B	4 138	DRAWSOL 3750 DB	2 661
CASTROL ILOFORM PS 101	5 125 *	RUSTILO AQUA 2F-D	5 190
DRAW DS	4 995	RENOFORM 19 B	5 900
		DRAWSOL WDC 9	6 510
		ILOFORM PS 101	11 800 *
		DRAW DS	7 740

hodnota s \* - u daného maziva bylo provedeno pouze jedno měření

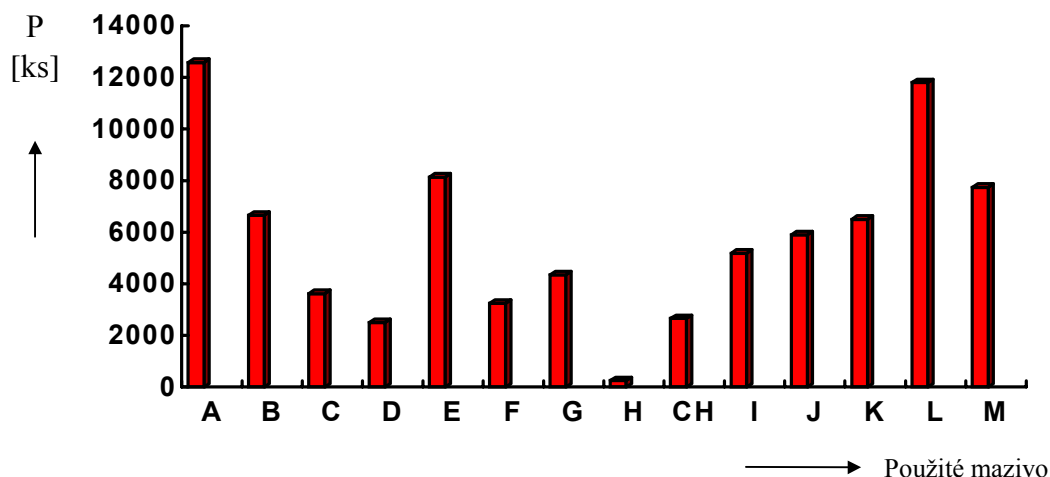
P - „průměrná hodnota počtu vyrobených součástí ohýbacím nástrojem s daným mazivem“

U ohýbacího nástroje na výrobu *vnějších krycích štítů* se nejlépe osvědčilo mazivo MORNOP 80, se kterým bylo vyrobeno průměrně 8 356 ks. U ostatních maziv se průměrné hodnoty vyskytovaly v intervalu cca 3 000 - 6 500 ks. Rozdíl v hodnotě *P* u vhodného a nevhodného maziva činil cca 5 000 ks. Technický život ohýbacího nástroje při použití vhodného maziva se zvýšil průměrně cca 2,5 krát, než když by bylo použito nevhodné mazivo.

U ohýbacího nástroje na výrobu *vnitřních krycích štítů* se nejlépe jevílo mazivo SÍRA + OL B4, se kterým bylo průměrně vyrobeno 12 586 ks. U ostatních maziv se průměrné hodnoty pohybovaly v intervalu cca 250 - 11 800 ks. Rozdíl v hodnotě *P* u vhodného a nevhodného maziva byl cca 12 000 ks. Technický život ohýbacího nástroje při použití vhodného maziva se zvýšil průměrně cca 5 krát, než když by bylo použito nevhodné mazivo.

Obr.4 Grafická závislost počtu vyrobených vnitřních krycích štítů ohýbacím

nástrojem na použitém mazivu (zobrazeny průměrné hodnoty - P)

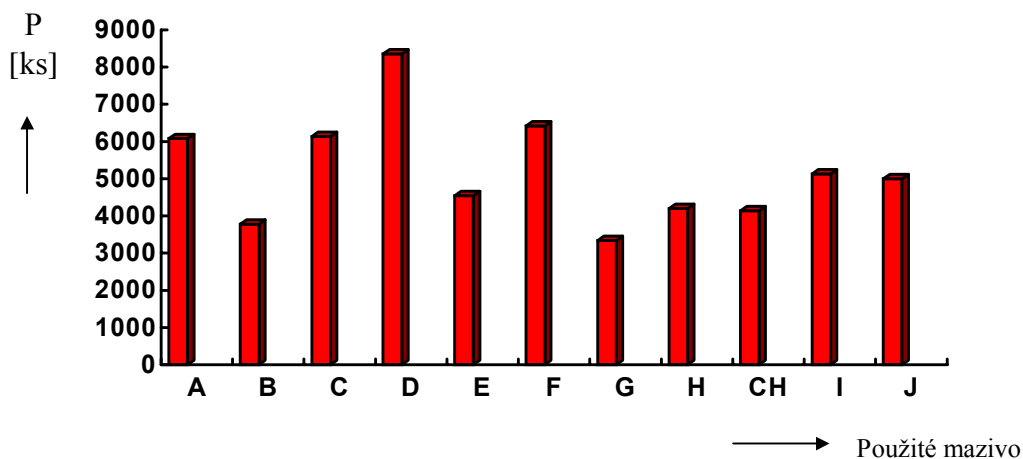


Vysvětlivky :

A - SÍRA(sirný květ) + OL B4 (1:1);  
 C - METABOND M 7% + OL B4;  
 E - MORNOP 80;  
 G - STANZOEL EGL 41478,  
 CH - DRAWSOL 3750 DB;  
 J - RENOFORM 19 B;  
 L - ILOFORM PS 101;

B - RENOFORM MZAN 54;  
 D - VEFOS S;  
 F - STANZOEL EGL 41475;  
 H - DRAWSOL WDC 9 + VODA (1:5);  
 I - RUSTILO AQUA 2F-D;  
 K - DRAWSOL WDC 9;  
 M - DRAW DS.

Obr.5 Grafická závislost počtu vyrobených vnějších krycích štítů ohýbacím nástrojem na použitém mazivu (zobrazeny průměrné hodnoty - P)



Vysvětlivky :

A - SÍRA(sirný květ) + OL B4 (1:1);  
 C - METABOND C2 5% + OL B4;  
 E - SLZ 2405;  
 G - RUSTILO AQUA 2F-D;  
 CH - RENOFORM 19 B;  
 J - DRAW DS.

B - RENOFORM MZAN 54;  
 D - MORNOP 80;  
 F - DRAWSOL 3750DB;  
 H - STANZOEL EGL 41475;  
 I - ILOFORM PS 101;



Z praktických zkoušek se při výrobě vnitřních krycích štítů nejlépe osvědčilo mazivo SÍRA (sirný květ) + OL B4 (1:1), které bylo v podniku používáno do současnosti. I vzhledem k velkým rozptylům v naměřených hodnotách bylo jeho použití nejvýhodnější s ohledem na vysokou průměrnou hodnotu počtu vyrobených součástí ohýbacím nástrojem až do vzniku mezního stavu. (Mezní stav je v tomto případě definován jako výskyt zadření na bocích krycích štítů.) Současně se toto mazivo vyznačuje nízkými pořizovacími náklady, avšak z ekologického hlediska není příliš vhodné a s jeho použitím jsou spojeny různé problémy. Z dalších maziv, které vykazovaly dobré výsledky zmíním pouze MORNOP 80.

Při výrobě vnějších krycích štítů se z technicko-ekonomického hodnocení nejlépe osvědčilo mazivo MORNOP 80, které zde vykazovalo nejlepší výsledky. Z dalších maziv, které se vyznačovaly také vysokou průměrnou hodnotou sledovaného parametru uvedu SÍRA (sirný květ) + OL B4 (1:1), DRAWSOL 3750 DB, METABOND C2 5% + OL B4.

Za náhradu stávajícího maziva se dá doporučit např. mazivo MORNOP 80. Toto mazivo je oproti stávajícímu mazivu cenově nákladnější, avšak odstraní řadu provozních problémů.

Z naměřených hodnot počtu vyrobených součástí ohýbacím nástrojem lze konstatovat, že vliv maziv na technický život ohýbacích nástrojů není zanedbatelný.

***Při použití vhodného maziva se docílí řada úspor odrážející se v :***

- snížení ztrátových časů potřebných k výměně a seřízení nástroje,
- renovacích nástroje,
- následných operacích jako je broušení a leštění,
- vytíženosti pracovníků apod.

Z laboratorních experimentů se osvědčily maziva MORNOP 80, SÍRA + OL B4 (1:1), MARTOL 215, RENOFORM MZAN 54. Praktický experiment ukázal, že nejlépe plnila svou úlohu maziva SÍRA + OL B4 (1:1) a MORNOP 80. Při porovnání výsledků laboratorních a praktických zkoušek se prokázala shoda výsledků z 80%.

## Závěrečné hodnocení práce a přínos pro průmyslovou praxi

Disertační práce byla zaměřena na hodnocení vlivu maziv na opotřebení tvářecích nástrojů. Na základě literární rešerše byl proveden přehled současného stavu problematiky z hlediska tribologických procesů, probíhajících interakcí mezi funkčními plochami tvářecího nástroje a tvářeného materiálu. Byla provedena analýza tření při tvářecích procesech a jeho srovnání s třením strojních součástí včetně teoretických závislostí. Dále byla věnována pozornost procesu opotřebení tvářecího nástroje, byly zhodnoceny vlivy na opotřebení a analyzován jeho mechanismus. V návaznosti na opotřebení byl zkoumán vliv mazání na tvářecí proces. Maziva byla rozdělena a charakterizována podle jednotlivých druhů. Na základě analýzy vlivu maziv při různých způsobech tření se zhodnotil vliv různých faktorů na mazání.

Na základě teoretických rozborů byly zhodnoceny i experimentální tribologické zkoušky a byl udělán návrh experimentální části práce. Byly provedeny experimenty s různými mazivy, včetně metodiky zkoušek a jejich vyhodnocení na zařízení R-mat3, dále na zařízení fy METABOND, na zařízení podle vlastního návrhu a na zkušební stroji ZD 10/90. V poslední části práce byl proveden praktický experiment na konkrétních ohýbacích nástrojích v podniku ROSTEX Vyškov.

*Po zhodnocení teoretických závěrů a výsledků z experimentů je možno konstatovat :*

- Použití vhodného maziva podstatně ovlivňuje průběh tvářecího procesu jak z hlediska průběhu tvářecí operace (dosažení větší deformace, snížení tvářecí síly), tak z hlediska opotřebení funkčních ploch tvářecího nástroje.
- Pro dobrý průběh použité tvářecí technologie je nutno vybrat optimální druh maziva, protože maziva svými vlastnostmi a charakteristikami jsou vhodná jen pro určitou technologii (velikost deformace, kontaktní tlaky, dráha posuvu aj.)
- Pro bližší orientaci v oblasti aplikace maziv pro tvářecí procesy byl proveden souhrn současné nabídky trhu v ČR včetně technických charakteristik jednotlivých maziv.
- Vyhodnocení experimentů prokázalo, že výsledky laboratorních zkoušek daných maziv mají dobrou shodu s praktickým ověřením (z 80%).
- Nově navržené zkušební zařízení pro zkoušky maziv je vhodné na simulování podmínek procesu ohýbání. Výsledky zkoušek na tomto zařízení ukázaly shodu s výsledky dosaženými v praktickém experimentu. Výhoda nového zkušebního zařízení spočívá v tom, že je možné na něm odzkoušet větší množství maziv za relativně krátkou dobu a za relativně nízkých nákladů.
- Zvolený způsob statistického vyhodnocení experimentů se jeví jako vhodný pro vyhodnocení zkoušených maziv.
- Na základě provedených experimentů a jejich vyhodnocení bylo možno provést doporučení pro aplikaci maziv v konkrétním technologickém procesu.
- Z výsledků zkoušek vyplývá, že nejlepšími výsledky bylo dosaženo s následujícími mazivy:

SÍRA (sirný květ) + OL B4, MORNOP 80, MARTOL 215, ILOFORM PS 101,  
RENOFORM MZAN 54.

V práci se ukázalo, že nejlepších výsledků bylo dosaženo se stejnými mazivy jak v laboratorních, tak i v praktickém experimentu. Přitom laboratorní podmínky zkoušek byly odlišné od praktických. Z laboratorních zkoušek, které byly prováděny se nejvíce přibližuje ohýbání zkouška na zařízení ZD 10/90. Kontakt dvojice vzorků u této zkoušky je uskutečněn teoreticky na úsečce. Válec v průběhu zkoušky reprezentuje nástroj, který přichází do styku stále s novým materiálem povrchu plechu, což je ve shodě s praktickým experimentem. Naproti tomu u ostatních laboratorních zkoušek jsou v kontaktu stejné povrchy vzorků a jejich styk je plošný.

Z laboratorních zkoušek maziv pro třecí párovou dvojici nástrojová ocel – nerezavějící ocel se dají použít zkoušky na zařízení fy METABOND, novém zkušebním zařízení a na zařízení ZD 10/90. Laboratorní zkouška maziv na zařízení R-mat3 pro třecí párovou dvojici nástrojová ocel – nerezavějící ocel není vhodná. Laboratorní zkoušky poskytují srovnatelné výsledky ve vhodnosti použití zkoušených maziv za relativně kratší dobu oproti praktickým výsledkům, které byly naměřeny od roku 1997 do roku 1999.

Výsledky zkoušek dále ukázaly, že vhodným mazivem lze podstatně zvýšit technický život ohýbacího nástroje a kvalitu ohýbaných součástí po ohybu. Současně se vhodným mazivem vyřeší problémy se zadíráním na bocích krycích štítů. V praktickém experimentu při zjišťování technického života ohýbacích nástrojů za použití daných maziv jsou vidět velké rozdíly v naměřených hodnotách u každého maziva. Z toho plyne, že na technický život ohýbacího nástroje se velkou měrou podílí kromě použitého maziva i ostatní faktory. Z těchto ostatních faktorů hraje nejdůležitější roli podle mého názoru obsluha, která může značně ovlivnit technický život ohýbacího nástroje dodržováním předepsaného technologického postupu výroby součástí a technologickou kázní.

Pro případné další pokračování v práci bych zejména doporučil provádět větší množství opakovaných měření v praktických experimentech pro každé mazivo, aby je bylo možné přesněji vyhodnotit. V laboratorních experimentech se jeví počet opakovaných měření (5) pro každé mazivo za dostatečný.

Správný výběr maziva nebo maziv pro konkrétní aplikaci může zásadně zlepšit podmínky a průběh tvářecí operace, podstatně ovlivnit ekonomické hodnocení ve vztahu k technickému životu nástrojů, a z toho plynoucích časových úspor, dosahovaných při jejich výměně a seřizování.

Oblast mazání a maziv bude nadále otevřená pro výzkum, protože na trh stále přicházejí nové, zdokonalené produkty (maziva) a bude potřeba tyto produkty zmapovat z hlediska jejich použití pro konkrétní výrobní technologie a specifické podmínky, ve kterých budou plnit svoji funkci. Protože cena tvářecího nástroje podstatně ovlivňuje cenu výrobku, bude nutno hledat i nové způsoby konstrukce nástrojů, nové materiály, nové povrchové úpravy funkčních ploch, případně i nové technologie.

*Pozn.:* S ohledem na dobu, kdy byla práce řešena nejsou některé údaje v současné době aktuální (zejména ceny uvedených maziv).

## **Summary of Dissertation**

### **The influence of lubricants on forming tools wear**

Problems of wear (not only for forming tools) are included in the science called tribology. This science deals with processes of friction, wear and lubrication. Tribology has very extensive bases, which cover many natural, technical and tribological sciences. At present development of tribology is supported in all industrial countries. Its signification (not only as a science which identifies, from new points of view, important physical processes) but at the same time as an important area of engineering, where its results are applied straightforward with excellent technical and economical effects.

A literary part of my thesis is devoted to the problems, especially the problems of lubrication and lubricants in forming.

A laboratory part of my thesis shows a behaviour of lubricants in connection with wear of a given material pair, conditions and, if need be, testing equipment. Materials used for friction pairs were chosen with respect to the materials used in forming processes. Conditions of laboratory measurements were chosen with respect to the operational parameters of the equipment and recommendations, which were obtained from the preceding tests on this testing equipment. Results of laboratory measurements are important to prove the role of lubricant in the rate of wear. The rate of wear is also influenced by the use material pairs, conditions of loading, etc. The result is a different behaviour of lubricants for different conditions of loading or for different friction material pairs.

An independent practical part of the thesis is aimed at decreasing wear of Forming Tools (especially wear of bending tools). This is enabled by a suitable choice of the lubricant used at bending. Examinations of tool life were carried out in the factory ROSTEX Vyškov. The results showed a great effect of used lubricant on the life of a bending tool. Due to the fact that the wear itself in this case is very complicated (a lot of external and internal effects play a very important role) it is evident from the results, at first sight, which lubricant or lubricants are the most suitable for the special conditions of bending parts production. A choice of the most suitable lubricant from those tested is based not only on the number of parts produced with this tool and lubricant but there are also other important factors to be considered. Other very important problems are economical point of view (i.e. cost of lubricants ...), safety point of view (i.e. problem safety of work ...) and problems concerning final removal and liquidation of lubricants.

At present a lot of salesmen and firms offer their product-lubricants at the market. Therefore it seems suitable to map the market in future to try and develop lubricants for special use. Solving of this problem may result in a big reduction of cost both of lubricants and tools.

## **Die Bewertung von der Disertationsarbeit**

### **Der Schmierstoffeinflu auf die Abnutzung der umformenden Werkzeuge**

Die Abnutzungsproblematik nicht nur der umformenden Werkzeuge umfaßt das wissenschaftliche Fach - Tribologie. Dieses Fach befaßt sich gleichzeitig mit durchgelaufenen Reibungsprozessen, Abnutzungen und Schmierungen, entwickelt sie wie Wissenschaft mit zielbewußter Orientierung an breiter Anwendungsbenutzung, vor allem in der Technik. Die Tribologie hat sehr breite Gründe, die sich auf den Rahmen der naturwissenschaftlichen, technischen und technologischen Wissenschaftsfacher bezieht. In der heutigen Zeit wird die Tribologieentwicklung in allen hochentwickelten Landern sehr unterstützt. Sie hat die Bedeutung nicht nur wie Wissenschaft, die aus neun Gesichtspunkten die wichtigen physikalischen Prozesse untersucht, sondern gleichzeitig wie Wissenschaft für die Maschinenpraxis, wo man ihre Ergebnisse unmittelbar mit außerordentlichen technisch - ökonomischen Effekten anzuwenden möglich ist.

Der literarische Teil der Disertationsarbeit widmet sich gewöhnlich obengenannter Problematik, und zwar genau wird er für die Schmierungs - und Schmierstoffsproblematik im Umformproze orientiert.

Der selbstpraktische Teil der Disertationsarbeit wird für die Abnutzerniedrigung der umformenden Werkzeuge (besonders der Abkantmaschinen) mit geeigneter Wahl der anwendbaren Schmierstoffe bei der Beugung orientiert. Das Lebenskraftfolgen des angehörigen Werkzeuges wird mit Hilfe des Betriebes ROSTEX Vyskov durchgeführt. Aus den Messergebnissen resultiert, daß die anwendbaren Schmierstoffe einen großen Einfluß an Lebenskraft des Beugungswerkzeuges haben. Im Hinblick darauf, daß der Selbstproze der Abnutzung in diesem Falle sehr kompliziert wird, spielen eine große Rolle hier viele Außer - und Innenfaktoren. Jedoch liegt auf der Hand, welche Schmierstoffe für diese konkreten Bedingungen der Beugungsteilen - (Beugungsschilder - ) Herstellung geeignet werden. Die Auswahl des geeignetsten Schmierstoffes aus denen, die ausprobiert werden, liegt nicht nur darauf, wieviel Stcke mit diesem Werkzeug und Schmierstoff (vor der Werkzeugstillegung) herausgestellt werden, sondern man muß auch die Berücksichtigung auf die nachsten Hinsichte beachten. Aus den nachsten Hinsichten, die nicht mehr beachten werden, wird eine konomiehinsicht (d.h. Schmierstoffpreis, Preis verschiedener Schmierstoffarten und mit ihnen gebundene Kosten für ihre Betriebefhrung), Sicherheitshinsicht (d.h. Arbeitssicherheit, Arbeitsplatzsicherheit, Art u. Weise des Entfettens und Mittel zum Entfetten usw ...) und außerdem ist nötig, sich in der Anknüpfung der vorigen Hinsicht den Problemen mit ausschließlicher Schmierstoffliquidation zu widmen.

Der Laborteil der Disertationsarbeit sollte das Schmierstoffverhalten mit der Abnutzung des gewählten Paares, Messensbedingungen, bzw. Ausprobierungseinrichtung zeigen. Die benutzten Materialien für ein Reibungspaar wurden im Hinblick auf benutzte Materialien in den Umformprozessen gewählt. Damit ein bestimmter Einfluß der Schmierstoffe auf ein angehöriges Reibungspaar beurteilen kann, wurde einer von Arbeitsstoffen eines Reibungspaares immer gleich geblieben, und zwar der Arbeitsstoff 19 436.6 (der selbe, wie das Material des Beugungswerkzeuges vom praktischen Experiment). Die Betriebsbedingungen dieser Laborprüfungen wurden im Hinblick auf die Einrichtungs - und Empfehlungsmöglichkeiten gewählt, die von den früheren Prüfungen auf diesen Probiereinrichtungen gewonnen wurden. Die Ergebnisse der Laborprüfungen bestätigten, daß der Schmierstoff eine große Rolle für die Abnutzungsgröße spielt. Außer des Schmierstoffes beeinflußt die Abnutzungsgröße auch andere Materialpaare, Belastungsbedingungen usw ... Daraus resultiert, daß sich der angehörige Schmierstoff für verschiedene Belastungsbedingungen oder für verschiedene Reibungsmaterialpaare ganz unterschiedlich verhalten kann.

In der heutigen Zeit wird auf dem Markt eine ganze Reihe von Verkäufen und Firmen, die ihre Schmierstoffprodukte anbieten, deshalb muß man in der Zukunft diesen Markt unter Kontrolle haben, die Schmierstoffe für eine konkrete Anwendung verifizieren und entwickeln. Mit Lösungen dieser Probleme kann man große Ersparung erzielt werden (Schmierstoff - und Werkzeugkosten: das sollte ein großes Mitgebrachte werden).

Außer der Schmierung sucht man und gibt es in der heutigen Zeit auch andere Methoden, mit denen eine Erniedrigung der Werkzeugabnutzung möglich zu erzielen ist. Der Prinzip dieser Methoden besteht darin, daß das Werkzeug mit harter oberflächlichen Schicht oder mit Belag angeschafft wird, der Abnutzung fähig zu widerstehen ist. Diese Technologien sind hauptsächlich die neuesten im Vergleich mit der Smierung. Deshalb sind sie mehr attraktiver und suchen neue Wege in die größeren Bereiche ihrer Anwendung. Zum Trotz wird die Schmier - und Schmierstoffproblematik sehr wichtige und auf irgendwelchen Fällen eine unvertretbare Rolle im Bezug mit der Werkzeugabnutzungserniedrigung und den anderen Werkzeugteilen spielen.

## Seznam použité rešeršní literatury

- [ 1] ROWE, G.W.: Principles of Industrial Metalworking Processes, ISBN 0 7131 3381 3, University of Birmingham, 1977.
- [ 2] LANGE, K.: Umformtechnik, Handbuch für Industrie und Wissenschaft, Band 3 : Blechbearbeitung, ISBN 3-540-50039-1, Berlin, 1990.
- [ 3] BLAŠKOVIČ, P. ; BALLA, J. ; DZIMKO, M.: Tribológia, 1.vydanie, 360 strán, 28 tab., 166 obr., ISBN 80-05-00633-0, 1990.
- [ 4] BEČKA, J.: Tribologie, 1. vydání, 212 stran, 153 obr., ISBN 80-01-01621-8, 1997.
- [ 5] HUTCHINGS, I.M.: Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials, I. Title, II Series, ISBN 0-340-56184x, Agency - London W1P9HE, University of Cambridge, 1992.
- [ 6] VOCEL, M. ; DUFEK, V.: Tření a opotřebení strojních součástí, vydalo SNTL Praha, 1. vydání, 7898. publikace, 376 stran, 213 obr., 108 tab., 1976.
- [ 7] NOVOTNÝ, K.: Přednášky k předmětu " Tribologie a ohřev ve tvářecích procesech, 1996.
- [ 8] WILFRIED J. BARTZ.: Tribologie und Schmierung in der Umformtechnik, 319 bild, 63 tab., Band 220, ISBN 3-8169-0218-9, Deutschland, 1987.
- [ 9] MAŠEK, L.: Snižování opotřebení tvářecích nástrojů aplikací povlaků, Diplomová, práce, VUT-FS, odbor tváření, Brno, 1996.
- [10] BLAZYNSKI, T.Z.: Design of Tools for Deformation Processes, ISBN 0-85334-389-6, Department of Mechanical Engineering, The University of Leeds, UK Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1996.
- [11] SNIKERS, R.J.J.M.: Friction in Deep Drawing, ISBN 90-386-0417-3, TU Eindhoven, 18. April, 1996.
- [12] WILLIAMS, J.A. : Engineering Tribology, Oxford Science publications, ISBN 0-19-856503-8 (Pbk), ISBN 0-19-856343-4 (Hbk), I. Title, 1. Tribology, 1994.
- [13] DAHL, W. ; KOPP, K. ; PAWELSKI, Q.: Umformtechnik und Werkstoffkunde, ISBN 3-514-00402-1, Düsseldorf, 1993.
- [14] LANGE, K. a kol.: Blechbearbeitung 3, ISBN 3-540-50039-1, Berlin, 1990.
- [15] KRIM, J.: Friction at the Atomic Scale, Journal the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol. 53, No.1, pp 8-13, January 1997.
- [16] GIERZYNSKA, M.: Tarcie zuzycie i smarowanie w obróbce plastycznej metali, ISBN 83-204-0454-1, Warszawa, 1983.
- [17] ZECHEL, R. a kol.: Molykote, eingetragenes Warenzeichen der Dow Corning Corporation, Midland, Michigan, USA, München 1991.
- [18] JOHN A SCHEY.: Metal Deformation Processes Friction and Lubrication, University of ILLINOIS at Chicago, first printing, June 1970.
- [19] Kol. autorů.: Metal Forming, Handbook, Edward Lloyd, ISBN No 0-86108-383-0, January 1990.
- [20] ASM Handbook, 10th edn, Vol. 3, Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM, 1992.
- [21] BAY, N.: Friction stress and normal stress in bulk metal - forming process, J. Mech. Work. Techn., 14, pp 203-223, 1987.
- [22] SINGER, I.L.; POLLOCK, H.M. (Eds) : Fundamentals of Friction, Kluwer, 1992.
- [23] STOLARSKI, T.A.: Tribology in Machine Design, Heinemann Newnes, 1990.
- [24] RABINOWICZ, E.: Friction and Wear of Materials, Library of Congress Catalog Card Number: 65-12704, ISBN 0 471 70340 0, United States of America, 1965.
- [25] BÜHLER, H. ; LÖWEN, J.: Zur Kennzeichnung der Reibung beim Umformen durch einen geeigneten Kennwert, 1972.

- [26] HAWKYARD, J.B. ; JOHNSON, W.: An analysys of the change in geometry of a short hollow cylinder during axial compression, 1967.
- [27] KRAGELSKI, I.V.: Trenie i iznos, 2. vydání, přepracované a doplněné, Moskva, 1968.
- [28] Kolektiv autorů.: Metals Handbook, Vol.8, 1985.
- [29] ARNELL, R.D.; DAVIES, P.B.; HALLING, J.; WHOMES, T.L.: Tribology : Principles and Design Applications, Macmillan, 1991.
- [30] HIVART, P.; BRICAUT, L.P.; OUDIN, J.: New real - time for prediction of zinc phosphate - stearate coatings freakdown : optimal stearate settling parameters for steel billets in cold forging, Tribology Int. 25, No. 1, pp 45-51, 1992.
- [31] WIBOM, O.; NIELSEN, J.A.; NIELS, B.: Einfluß der Werkzeugtemperatur auf Reibung und Schmierung beim Kaltmassivumformen von Stahl, Umformtechnik 29, 2, 106-112, 1995.
- [32] LARSEN - BASSEJ .: The role microstructure and mechanical properties in abrasion, scripta Met. and Mat., 24, pp 821-826, 1990.
- [33] GIERZYŃSKA, M.: New lubricants for hot forging, Sborník z mezinárodní konference tvářecí techniky FORM '92, pp 97, září, 1992.
- [34] KASUGA, A. ; YAMAGUCHI, K. ; KATO, K.: Friction and Lubrication in the Deformation Processing of Metals Bulletin of ISME 11., No 44., 1968.
- [35] WOOD, M.: On the complete solution of the deep-drawing problem, Int. Journal Med. Sci. 10, pp 83-94, 1968.
- [36] KOBAYASHI, S. ; KIM, J.H.: Deformation analysis of axisymmetric sheet metal forming processes..., International Seminary of Plasticity, 1982.
- [37] Kolektiv autorů.: Tool and Manufacturing Engineers Handbook, II. díl, Tváření, pp 1-11, Principles of Lubrication, Lubricants.
- [38] ŠAFR, E. a kol.: Tribotechnika, 1. vydání, 300 stran, 297 obr., 65 tab., 9704. publikace, 1984.
- [39] Katalogy maziv a technické údaje o mazivech od firem ARAL, CASTROL, ACHESON, OMV, TRIGA, ESSO, METABOND, FUCHS, TOTAL, KORAMO, EXTRIBO, CINCINNATI MILACRON, apod.
- [40] Katalog fy HOVAL s technickým vybavením spaloven pro likvidaci tuhých i kapalných odpadů.
- [41] ŠTĚPINA, V. ; VESELÝ, V.: Maziva v tribologii, 1. vydání, 2592. publikace, 408 stran, vydala Slovenská akademie věd, 1985.
- [42] DVOŘÁK, M. ; GAJDOŠ, F. ; NOVOTNÝ, K. : Technologie tváření, Plošné a objemové tváření, VUT-FS Brno, str. 158-165, skripta, ISBN 80-214-0771-9, říjen 1996.
- [43] ŠAFR, E.: Technika mazání, 2. vydání, vydalo SNTL Praha, 6619. publikace, 384 stran, 154 obr., 58 tab., 1970.
- [44] POČTA, B.: Základy teorie tváření kovů, vydalo SNTL Praha, 1. vydání, 512 stran, 273 obr., 25 tab., 1966.
- [45] VALCHÁŘ, J.: Castrol - na "míru střižená" nabídka pro český průmysl, SV 1-2, str. 20, 1996.
- [46] VALCHÁŘ, J.: Castrol - na míru střižená nabídka pro český průmysl, SV 3-4, str. 24, 1996.
- [47] KOZÁK, P.: Biomaziva a jejich uplatnění v praxi, SV 7-8, str. 20, 1996.
- [48] DVOŘÁK, M. ; ŠANOVEC, J. ; KÁBRT, P.: Maziva a jejich experimentální ověření při tažení plechu, SV 5-6, str. 32-34, ISSN 0039-2456, 1996.
- [49] Kolektiv autorů.: Maziva pro objemové tváření kovů, Světová tvářecí technika, Sborník ze Symposia, 12-14 a 17-19 září, 1979.
- [50] ŠANOVEC, J. ; CAJTHAML, K. ; KÁBRT, P.: Maziva pro tažení výlisků, Technik č.10, str. 46, 1995.



- [51] SEDLÁČEK, R.: Plastická maziva, Technik č.10, str. 41, 1997.
- [52] (zr.): Průmyslová maziva, Technik č. 11, str. 16, 1997.
- [53] MÁDL, J. ; BLÁHA, K. ; SKRUŽNÝ, T. ; STANĚK, P.: Kapaliny pro obrábění a tváření kovů, SV 1-2, str. 20, 1995.
- [54] MÁDL, J. ; BLÁHA, K. ; SKRUŽNÝ, T. ; STANĚK, P.: Kapaliny pro obrábění a tváření kovů, SV 3-4, str. 13, 1995.
- [55] NOVOTNÝ, J. a kol.: Technologie I (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy), ČVUT-FS, skripta, ISBN 80-01-01420-7, 1996.
- [56] PROCHÁZKA, J. a kol.: Technologie slévání, tváření a svařování, Návody do cvičení, skripta, ČVUT-FS, ISBN 80-01-01362-6, 1997.
- [57] KRAUS, I.: Trh průmyslových mazadel, str. 8, Technik č. 3, 1997.
- [58] GREASE, Asian Markets to Spur Global Grease Rebound, Hart's Lubricants World, pp 23-27, January, 1997.
- [59] Product of the Year, Hydrocracked, Sodewaxed oils, Hart's Lubricants World, pp 30-31, January, 1997.
- [60] Latin America: Breathing New Life Into Lubricants, Hart's Lubricants World, pp 32-33, January, 1997.
- [61] VALCHÁŘ, J.: Na „míru šitá“ nabídka pro český průmysl, Příloha měsíčníku Technik č.4, str. 30-31, 1997.
- [62] VOŠTOVÁ, V.: Odpady z průmyslové činnosti, MM průmyslové spektrum, str. 6-11, číslo 3, březen 1998.
- [63] ŠMÍD, J.: Spalovny bez dioxinů a furanů, MM průmyslové spektrum, str. 16-17, číslo 3, březen 1998.
- [64] ČERMÁK, P.: Kroky k ochraně životního prostředí, MM průmyslové spektrum, str. 20, číslo 3, březen 1998.
- [65] PŘIBYLOVÁ, J.: Účinné odmašťování, MM průmyslové spektrum, str. 25, číslo 3, březen 1998.
- [66] JIRSA, P.: Spalovna odpadů s rotační pecí, MM průmyslové spektrum, str. 26-27, číslo 3, březen 1998.
- [67] VAGNER, M.: Ekologická spalovací komora, MM průmyslové spektrum, str. 63, číslo 1,2, únor 1999.
- [68] GOYAN, R. a kol.: Biodegradable Lubricants, Journal of the Society of Tribologists and Lubr. Eng., Lubr. Eng., Vol. 54, No. 7, pp 10-17, July 1998.
- [69] KREJČÍK, M.: Využití mikro a ultrafiltrace při povrchových úpravách, Technik 7-8, str. 11, 1998.
- [70] Technická dokumentace pro součást : vnější i vnitřní krycí štít fy ROSTEX s.r.o. Vyškov.
- [71] Technické informace k destilačnímu zařízení RKD 100 a odmašťovacímu zařízení RSK 35/5.
- [72] Katalog lisů fy Šmeral - technická data k výstředníkovému lisu LENU 100.
- [73] AZZAM, H.T.: Evaluation Methods and Techniques of Solid Lubricants Notes on Solid Lubricants, R.P.I., 1966.
- [74] RUMÍŠEK, P.: Aplikace technické keramiky v oblasti technologie tváření, Kandidátská dizertační práce, VUT-FS, odbor tváření, Brno, 1989.
- [75] RUMÍŠEK, P.: Experimentální ověření technické keramiky v exponovaných třecích soustavách, Habilitační práce, VUT-FS, odbor tváření, Brno, 1997.
- [76] KOLÁŘ, D. a kol.: Hodnocení tribologických vlastností vybraných typů žárově stříkaných povlaků, Výzkumná zpráva VUT-FS-6-VT 32/95, stran 26, Brno, listopad 1995.

- [77] WANG, P.Z. ; PAN, G.S. ; ZHOU, Y. ; QU, J.X. ; SHAO, H.S.: Accelerated Electrospark Deposition and the Wear Behaviour of Coatings, Journal of Materials Engineering and Performance, Volume 6(6), pp 780-784, December 1997.
- [78] Development of New Grinding Fluid for the CBN Grinding Wheel, Part II, Lubrication Engineering, Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol. 53, No. 2, pp 20-26, February 1997.
- [79] TURON, P.: Návrh hodnocení a měření keramických vrstev u tažných nástrojů, Diplomová práce, VUT-FS, odbor tváření, Brno, 1991.
- [80] HANÁK, O.: Rozbor opotřebenění u tažných nástrojů, Diplomová práce, VUT-FS, odbor tváření, Brno, 1993.
- [81] MAŠEK, L.: Využití nástrojových ocelí pro tvářecí nástroje, práce do soutěže STČ, květen Brno 1996.
- [82] MAŠEK, L. ; NOVOTNÝ, K. : Hodnocení tribologických vlastností ocelí při tváření, mezinárodní vědecko-pedagogická konference, „Význam a uplatnění progresivních technologií ve strojírenské výrobě“, sborník přednášek, ISBN 80-214-0914-2, říjen Brno 1997.
- [83] MAŠEK, L. : Tribologické poměry u párové dvojice nástrojová ocel 19 436.4 a konstruční ocel 11 600.0, odborný seminář, „Nástroje pro zpracování plechu“, Česká společnost pro výzkum zpracování plechu, duben Praha 1998.
- [84] MAŠEK, L ; NOVOTNÝ, K. : Ověřování vlastností technologických maziv při ohýbání, 4. mezinárodní konference FORM '98, „Technologie tváření, tvářecí nástroje a stroje“, září Brno 1998.
- [85] ZYKOV, YU. S. : Coefficient of friction during drawing the steel with optimal angles of dies, Stal', No. 4, pp 49-51, April, 1995.
- [86] GHASRIPOOR, FARSHAD.: Friction controlled materials wear testing and selection under starved lubrication, Wear, V. 196, No. 1-2, pp 207-213, Aug., 1996.
- [87] OBI, A. I. ; OYINLOLA, A. K.: Frictional characteristics of fatty-based oils in wire drawing, Wear, V. 194, No. 1-2, pp 30-37, Jun., 1996.
- [88] EICKEMEYER, J. a kol.: Some tribological and environmental aspects in metal drawing, Tribology International, V. 29, No. 3, pp 193-197, May, 1996.
- [89] DVOŘÁK, M.: Možnost aplikace nových maziv k výrobě dílců pro speciální techniku. In.: IV. odborný seminář Materiály a technologie ve výrobě speciální techniky - IDET 97. Sborník 1. vyd. VA Brno, str. 76-82, květen 1997.
- [90] DVOŘÁK, M. ; PODŠKUBKA, J.: Ověření maziv pro tažení plechu. In: Mezinárodní vědeckopedagogická konference „ Význam a uplatnění progresivních technologií ve strojírenské výrobě“. ISBN 80-214-0914-2. Vysoké učení technické v Brně, str. 129-132, 8.-9. října 1997.
- [91] DVOŘÁK, M.: Zkušební metoda k prověření vlastností maziv. Technika a trh, č. 8, roč. 5, str.16, ISSN 12110-5902, 1997.
- [92] ICFG Dokument No. 8/91.: Lubrication aspects in cold forging of carbon steels and low alloys steels, Publ. by The International Cold Forging Group in: ICFG - Objectives, history and Published documents, pp 93-103, 1992.
- [93] RIGAUT, J.M.; OUDIN, J.; BRICAUT, L.P.; CABEZON, J.; RAVALARD, Y.: A new friction test procedure for the improvement of drawing and similar processes, L Hatls. Process. Technol., 3, pp 3-28, 1990.
- [94] GEIGER, R.: Oberflächenbehandlung für das Kaltmassivumformen von Stahl, DRAHT 33, 10, pp 627-629, Part 1, 1982, DRAHT 33, 11, pp 674-677, Part 2, 1982.
- [95] ZWEZ, P.: Tendenzen der chemischen Oberflächenbehandlung beim Kaltmassivum formen 6. Int. Tagung Kaltumformung, 5.1.-5.32, Düsseldorf, 1980.

- [96] WICK, C et al.: Tool and Manufacturing Engineerings Handbook, 4 th ed., Vol. 2, chapt. 3: Lubricants, 1984.
- [97] HANSEN, P.H.; BAY, N.; CHRISTENSEN, P.: Analysis of the ring compression test using a general friction model and the upper bound elemental technique Proc. XVI th NAMRC Urbana Champaign, pp 41-47, May, 1988.
- [98] WANHEIM, T.; BAY, N.: A model for friction in metal forming processes, Ann., CIRP, 27, pp 189-194, 1978.
- [99] NEUBAUER, H.; KNAUP, R.: Schmiermittelarme Fertigung mit Stanz-Zieh- und Prägwerkzeugen, Blech Rohre Profile 43, 435-441, N. 9, September, 1996.
- [100] KÖNIG, W.; KROLL, W.: Kaltfließpressen ohne Schmierstoff, Dühneschichten - große Leistung, Umformtechnik 27, 5, 1993.
- [101] ASM Handbook, 10 th ed., Vol. 3, Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM International, 1991.
- [102] REICH, R.: Selecting & maintaining stamping lubricants, Stamping Quarterly, (Stamping Lubricant Chart, Understanding types & functions lubricants), Vol. 6, No.2, pp 14-44, Summer 1994.
- [103] MELOUN, M. ; MILITKÝ, J.: Statistické zpracování experimentálních dat, ISBN 80-85297-56-6, Praha, 1994.
- [104] LIKEŠ, J. ; LIGA, J.: Základní statistické tabulky, skripta, VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ v Praze, první vydání, stran 352, 1975.
- [105] ŠIKULOVÁ, M. ; KARPÍŠEK, Z. : MATEMATIKA IV, Pravděpodobnost a matematická statistika, skripta, VUT - FS Brno, třetí vydání, ISBN 80-214-0685-2, listopad 1995.
- [106] KOSCHIN, F. a kol.: STATGRAPHICS aneb statistika pro každého, ISBN 80-85424-70-3, 1992.
- [107] Názvosloví spolehlivosti, ČSN 01 0102, 1979.
- [108] BOHÁČEK, F. a kol.: Části a mechanismy strojů I, Zásady konstruování - SPOJE, 3. vydání, 319 stran, 2137. publikace, březen 1992.
- [109] MARCINIAK, Z.: Teorie tváření plechů, 1.vydání, 5029 publikace, 260 stran, 219 obr., 8 tab., vydalo SNTL Praha, 1964.
- [110] FOREJT, M.: Teorie tváření a nástroje, VUT-FS Brno, ISBN 80-214-0294-6, březen 1991.

## Přehled publikovaných prací

- [ ] MAŠEK, L.: Využití nástrojových ocelí pro tvářecí nástroje, práce do soutěže STČ, květen Brno 1996.
- [ ] MAŠEK, L. ; NOVOTNÝ, K. : Hodnocení tribologických vlastností ocelí při tváření, mezinárodní vědecko-pedagogická konference, „Význam a uplatnění progresivních technologií ve strojírenské výrobě“, sborník přednášek, ISBN 80-214-0914-2, říjen Brno 1997.
- [ ] MAŠEK, L. : Tribologické poměry u párové dvojice nástrojová ocel 19 436.4 a konstrukční ocel 11 600.0, odborný seminář, „Nástroje pro zpracování plechu“, Česká společnost pro výzkum zpracování plechu, duben Praha 1998.
- [ ] MAŠEK, L ; NOVOTNÝ, K. : Ověřování vlastností technologických maziv při ohýbání, 4. mezinárodní konference FORM '98, „Technologie tváření, tvářecí nástroje a stroje“, září Brno 1998.

## **Životopis**

### Osobní údaje :

Jméno : Libor Mašek  
Datum narození : 17. ledna 1973  
Místo narození : Vyškov  
Adresa : Nosálovská 27, 682 01 Vyškov

### Dosažené vzdělání :

1996 Začátek nástupu postgraduálního doktorandského studia na VUT - FS v Brně  
Ústav strojírenské technologie - odbor tváření

1991-1996 Vysoké učení technické v Brně  
Fakulta strojní  
Ústav strojírenské technologie - odbor tváření  
Inženýrské studium

1987-1991 Střední průmyslová škola v Jedovnicích

## **Curriculum Vitae**

### Personal details :

Name : Libor Mašek  
Date of birth : 17 January 1973  
Place of birth : Vyškov  
Address : 27 Nosálovská, 682 01 Vyškov

### Education :

1996 Technical University - Brno  
Faculty of Mechanical Engineering  
Institute of Technology - department of Forming  
PhD study

1991-1996 Technical University - Brno  
Faculty of Mechanical Engineering  
Institute of Technology - department of Forming  
MSc study

1987-1991 Secondary Technical School - Jedovnice