

Možnosti snížení frikce ve vytlačovací hlavě

On friction reduction in
extrusion die

Jan Martinek

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Úvodem bych chtěl poděkovat své vedoucí bakalářské práce, inženýrce Veronice Habrové, která mi ve značné míře pomohla s vypracováním bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat pánům ing. Královi z firmy Compuplast a ing. Sondorovi z firmy Liss..

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 06. 06. 2005

.....

podpis

RESUMÉ

Bakalářská práce je věnována nalezení a popsání možností snížení frikce ve vytlačovací hlavě. Vzhledem k tomu, že vytlačování patří obecně k nejrozšířenějším zpracovatelským technologiím v plastikářském průmyslu, je řešení jakéhokoli problému s ní spojeného velmi potřebné a aktuální.

Za účelem uvedení čtenáře do problematiky obsahuje práce literární rešerši, která podává základní informace o samotné technologii vytlačování a popisuje dostupné možnosti vedoucí k úpravě třecích poměrů ve vytlačovací hlavě, mezi něž patří povrchové úpravy hlavy a aplikace kluzných aditiv.

V následující části jsou pak popsány reálné možnosti dostupné v rámci zahraničního i domácího trhu. Závěrem jsou jednotlivé alternativy zhodnoceny a na základě problému vyskytujícího se u skutečné vytlačovací hlavy je navržen konkrétní postup u daného problému.

The bachelor thesis deals with possibilities of friction reduction in the extrusion die. Since continuous extrusion belongs among the most extended technologies in polymeric area, each problem solving related to this manufacturing process is important.

For the purpose to introduce the reader into the issue, the work includes the theoretical chapter giving basic information about extrusion of polymers. Description of available possibilities which can lead to friction lowering in the extrusion die, such as surface treatment of the die or an addition of slip agents is following.

Next part of bachelor thesis describes the real ways, which could lead to reduce the friction and were found in the area of foreign and native market. Finally, the evaluation of the mentioned possibilities was done and regarding the problem in real extrusion die, the concrete suggestion for the problem was introduce.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 VYTLAČOVÁNÍ	8
1.1 JEDNOŠNEKOVÝ VYTLAČOVACÍ STROJ	8
1.1.1 Základní schéma vytlačovacího stroje.....	8
1.2 ŠNEKY PRO VYTLAČOVÁNÍ	9
1.2.1 Typy šneků	10
1.3 PRŮCHOD POLYMERU ZÓNAMI ŠNEKU	11
1.3.1 Vstupní	11
1.3.2 Přejížděvací	11
1.3.3 Výstupní	12
1.4 HLAVY ŠNEKOVÉHO VYTLAČOVACÍHO STROJE	13
1.4.1 Přímé hlavy.....	14
1.4.2 Nepřímé hlavy	16
2 TŘENÍ.....	17
2.1 VLIV PARAMETRŮ NA KOEFICIENT TŘENÍ	19
2.1.1 Vliv rychlosti.....	19
2.1.2 Vliv teploty	19
3 KLUZNÁ ADITIVA	21
3.1 AMIDOVÁ KLUZNÁ MAZIVA.....	22
3.2 FLUOROPOLYMEROVÁ KLUZNÁ ČINIDLA	23
3.3 OLIGOMERNÍ POLYMETHYLFENYLSILOXANY	24
4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY VYTLAČOVACÍ HLAVY	25
4.1 TECHNOLOGIE BROUŠENÍ, KARTÁČOVÁNÍ, LEŠTĚNÍ.....	25
4.1.1 Broušení.....	25
4.1.2 Kartáčování.....	26
4.1.3 Leštění	26
4.2 PVD POVLAKY (POLYVINYLIDEN DIFLUORID).....	26
5 PRŮZKUM TRHU	28
5.1 ZAHRANIČNÍ TRH - ADITIVA.....	28
5.1.1 Produkty firmy Uniqema.....	28
5.1.2 Produkty firmy Croda.....	30
5.1.3 Produkty firmy 3M	32
5.1.4 Produkty firmy Fluon	35
5.1.5 Produkty firmy Rifra	36
5.1.6 Produkty firmy A. Shulman	37
5.2 DOMÁCÍ TRH - ADITIVA	38
5.2.1 Polymer Institut Brno	38
5.3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY VYTLAČOVACÍ HLAVY	39
5.3.1 Leštění vytlačovací hlavy	39
5.3.2 PVD povlaky	40
6 DISKUZE REÁLNÉHO PROBLÉMU.....	41
7 ZÁVĚR.....	44
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	46
9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	48
10 SEZNAM OBRÁZKŮ	50
11 SEZNAM TABULEK.....	51

ÚVOD

K nejrozšířenějším technologiím zpracování polymerních materiálů patří samozřejmě vytlačování. Mohlo by se zdát, že tento kontinuální zpracovatelský proces je již téměř dokonale znám a popsán. Nicméně pokrok v polymerním světě s sebou přináší stále nové aplikace tohoto procesu, a to jak ve stávajících technologiích, tak i v oblasti materiálové. Tím se přirozeně objevuje celá řada nových technologických problémů, které je nutno řešit.

Mezi velmi časté problémy technologie vytlačování plastů obecně patří nedostatky či potíže spojené s poměry ve vytlačovací hlavě. Tento tvářecí nástroj, udávající konečný tvar výrobku, musí být velmi pečlivě konstruován s ohledem na mnoho faktorů. Především je to tvar či užití výrobku a tokové vlastnosti polymerních materiálů obecně, proto zdokonalování tvaru a funkčnosti vytlačovacích hlav není zdaleka u konce. Této problematice je věnováno mnoho vědeckých prací, jelikož povrchové vady výrobku, mající svůj původ v nedokonalosti povrchu či v neideálním naddimenzování tokových podmínek uvnitř hlavy, jsou prozatím nedílnou součástí a častým problémem této technologie.

Návrhy řešení v této oblasti nejsou obvykle jednoduché a ke každému vzniklému problému je nutno přistupovat individuálně, jelikož se může jednat o souhrn několika komplikujících faktorů. V případě, že se jedná o problém, který se vyskytne u reálné vytlačovací hlavy (již zkonstruované pro daný výrobek), nabízí se dvě velmi elegantní řešení - povrchová úprava hlavy či usnadnění toku daného materiálu přidavkem vhodného kluzného aditiva. Obě varianty v podstatě sníží tření na rozhraní polymer-kov a tím výrazně usnadní celý proces vytlačování.

Tato bakalářská práce byla vypsána na základě potřeby řešit reálný problém, jenž se objevil u sbíhavé vytlačovací hlavy navržené pro experimentální vytlačovací linku na výrobu samozpevněných profilů z lineárních polyolefinů. V tomto případě vlastní solidifikace vytlačované struny probíhá tak, že na jejím povrchu nejdříve tuhne tenká povrchová vrstva (slupka) a teprve pak dochází k celkové krystalizaci v celém objemu. Jestliže vytlačovaná polymerní struna prochází přes vytlačovací hlavu snadno, pak je proces kontinuální bez náznaku problémů. Nicméně v našem případě vznikající slupka

velmi často uvízne (zatuhne) ve vytlačovací hlavě, vytváří zátku a celý proces je zastaven. Vzhledem k tomu, že geometrii hlavy a teplotní či tlakové podmínky tohoto procesu nelze příliš měnit, jelikož by nevznikla požadovaná samozpevňená struktura, je nutné hledat jiná dostupná řešení např. snížení frikce na rozhraní polymer-kov pomocí povrchové úpravy vytlačovací hlavy či přidavkem kluzného činidla.

Cílem této bakalářské práce je tedy vypracovat literární rešerši, jenž by čtenáře uvedla do dané problematiky a dále popsat dostupné alternativy snížení frikce ve vytlačovací hlavě, a to v rámci domácího i zahraničního trhu. Závěrem celé práce by měl být návrh řešení problému souvisejícího s reálnou vytlačovací hlavou.

1 VYTLAČOVÁNÍ

Vytlačování je způsob zpracování, při kterém je vysokomolekulární látka v plastickém stavu vytlačována z tlakové komory profilovacím zařízením (tryskou, hubicí) do volného prostoru[1].

Pro převod polymeru do plastického stavu se používají vytlačovací stroje různého konstrukčního řešení, které rozdělujeme, např. podle hlavního pracovního elementu, na pístové, diskové, spirálové, šnekové a speciální. Nejrozšířenějším jsou šnekové vytlačovací stroje, které se konstruují s jedním nebo několika šneky[2,3].

Vytlačování se především používá pro výrobu trubek, profilů, desek a fólií [2].

1.1 Jednošnekový vytlačovací stroj

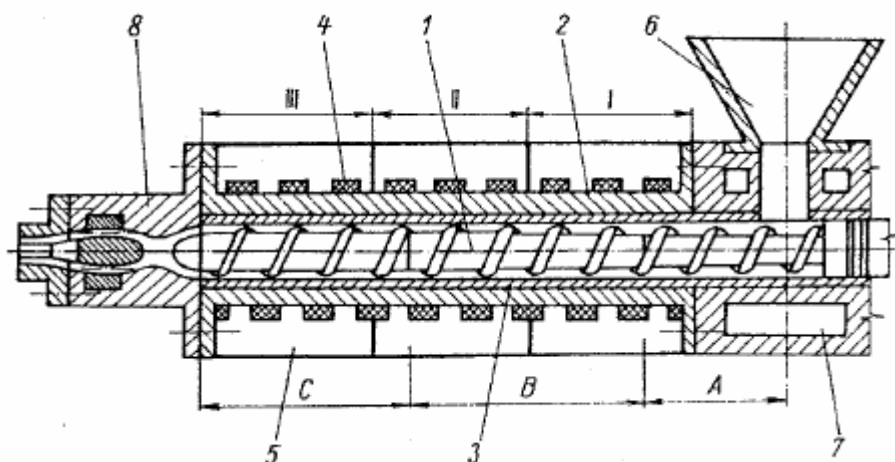
Používá se na zpracování termoplastů. Bez ohledu na konstrukci musí šnekový vytlačovací stroj zabezpečit následující funkce:

- vysoký vytlačovací výkon úměrný otáčkám šneku a co nejméně závislý na protitlaku;
- rovnoměrnou dopravu taveniny bez pulzací;
- vytlačování taveniny bez orientace;
- homogenní zamíchání polymeru se všemi případnými aditivami, bez těkavých podílů;
- místně a časově rovnoměrnou teplotu taveniny, optimální z hlediska výkonu stroje, zpracovávaného polymeru a kvality vytlačovaného výrobku [3].

1.1.1 Základní schéma vytlačovacího stroje

Schéma vytlačovacího stroje je na obrázku 1. V plnicí části se musí většinou granulovaný nebo aglomerovaný polymer zachytit, předeřhát a za odplynění stlačit. V plastikační části je polymer dále stlačován, plastikován a homogenizován s případnými přísadami.

V dávkovací části je již ve formě tepelně i materiálově homogenní taveniny pod tlakem kontinuálně vtlačován do tvářecího nástroje [3].

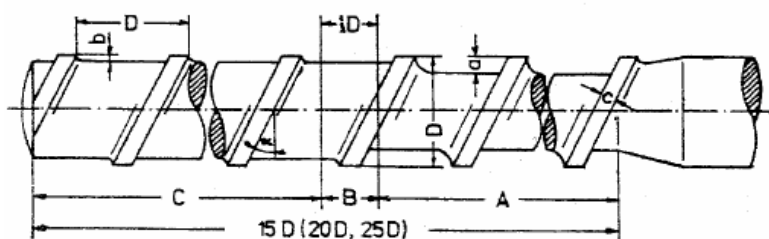


Obr. 1 Schéma uspořádání vytlačovacího stroje[3]

1 – šnek, 2 – pracovní válec, 3 – pouzdro pracovního válce, 4 – topná tělesa, 5 – chladicí kanály, 6 – plnicí otvor s násypkou, 7 – chlazení plnicího otvoru, 8 – vytlačovací hlava, A – plíčí část, B – plastikační část, C – dávkovací část, I,II,III – topná a chladicí pásma

1.2 Šneky pro vytlačování

Šnek je nejdůležitější částí vytlačovacího stroje. Základní názvosloví je patrné z obrázku 2.



Obr. 2 Základní názvosloví šneku[4]

D - průměr šneku, c -šířka vodící plochy závitu, a - hloubka šnekového profilu ve vstupní části, b -hloubka šnekového profilu v dopravní části, α -úhel stoupání závitu

Šnek je charakterizován průměrem, poměrem délky L k průměru D a hloubkou drážky.

Průměr i poměr L/D tvoří řady [4].:

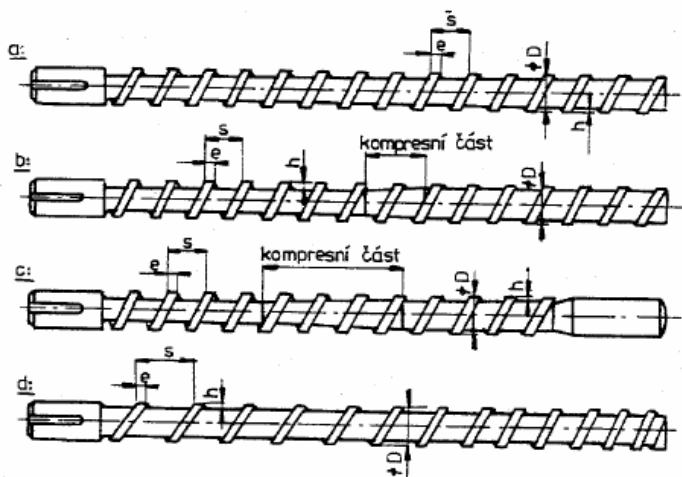
D 20 25 32 45 63 90 125 160 200 250 320

L/D 12 15 18 20 25 28 30 35 - - -

Pro zpracování termoplastů se používají většinou šneky s poměrem L/D 20 a vyšším. Běžně jsou používány jednochodé šneky s úhlem stoupání $17,7^\circ$, což odpovídá stoupání závitu rovnému jednomu průměru [3]. Šneky, u nichž se mění stoupání nebo hloubka drážky (méně časté řešení), se nazývají diferenciální. U diferenciálních šneků je objem závitové drážky u plnicí části větší než na konci šneku u hubice, čímž se zvyšuje tlak směrem k hlavě. Poměr objemů závitové drážky na začátku a na konci udává tzv. kompresní poměr [4]. Tento poměr je definován vztahem $K = V_1/V_x$, kde V_1 je objem závitové drážky pro jedno stoupání na začátku a V_x je objem závitové drážky pro jedno stoupání obvykle na konci šneku. Zmenšení objemu drážky se obvykle provádí změnou hloubky šnekového profilu. Pro granuláty termoplastů se kompresní poměr pohybuje v rozmezí 1,8 až 3 [3].

1.2.1 Typy šneků

Doposud se nepodařilo zkonstruovat univerzální šnek pro všechny termoplasty. Obvykle se upravuje vzájemný poměr tří částí šneku tak, aby co nejlépe zpracovával daný polymer. Na obrázku 3 jsou různé typy šneků, které se v praxi používají [3].



Obr. 3. Některé typy šneků [3]

a – šnek s výraznou kompresní částí, b – šnek s krátkou kompresní částí, c – šnek s výraznou kompresní částí a roztíračem, d – šnek s proměnným stoupáním

1.3 Průchod polymeru zónami šneku

1.3.1 Vstupní

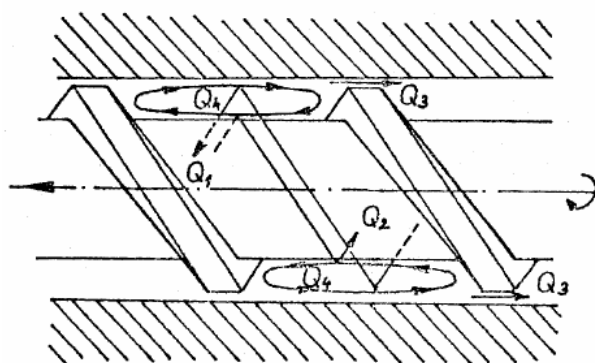
Ve vstupní zóně je polymer, uváděný násypkou do vytlačovacího stroje ve formě granulí nebo prášku, zachycován šnekem. Šnekový profil je zpočátku zaplněn pouze z části. Polymerní materiál se vlivem gravitace a třením o čelo profilu posouvá směrem k hlavě vytlačovacího stroje. Postupně je materiál stlačován, zahříván především teplem vzniklým třením, až konečně vznikne jakási zátka polymeru. Další pohyb této zátky je podmíněn třecími poměry mezi ní a povrchem šneku a vnitřní stěnou pouzdra. Podmínkou účinné dopravy je, aby síly tření zátky o stěnu pouzdra byly větší než síly tření zátky o povrch šneku. V tom případě zátka klouže po povrchu šneku a posouvá se směrem k hlavě. V opačném případě, tj. tehdy, když polymer nemá dostatečnou adhezi k povrchu pouzdra, polymer klouže po pouzdře a neposouvá se [5]. Proto se pro zajištění dopravní funkce vytlačovacího stroje šneky brousí, leští nebo jinak povrchově upravují např. chromují a naopak povrch válce se někdy v plnicí části opatřuje podélnými drážkami. Důležitou roli hraje i teplotní profil na válci, protože koeficient tření plastů je závislý na teplotě a maxima obvykle dosahuje v elastické oblasti. Má-li se na konci této zóny dosáhnout odpovídajícího tlaku je nutné zajistit odpovídající chlazení plnicí zóny, aby nedocházelo k předčasnému tavení zátky. Úroveň chlazení je závislá na zpracovávaném polymeru [3].

1.3.2 Přechodová

Přechodová zóna představuje úsek vytlačovacího stroje, kde se tuhý polymer převádí na taveninu, a to teplem přiváděným pouzdrem (převažuje např. u polyamidu) i teplem vzniklým třením materiálu o pouzdro i šnek a smykovým namáháním zpracovávaného materiálu (např. u polyethylenu, kaučukové směsi). Tavení hmoty většinou začíná na povrchu pouzdra, odkud je roztavená hmota stírána čelem profilu šneku a klouže nejprve po něm a posléze po další části profilu šneku. Do kruhového pohybu je uváděno stále větší množství hmoty, až se granulát zcela roztaví [5].

Tento kruhový pohyb, znázorněný na obrázku 4 se nazývá příčný tok (Q_4). Závažným nedostatkem jednošnekových vytlačovacích strojů je, že uvnitř roztaveného polymeru zůstávají částice, které nepřijdou do styku se stěnou válce a které mimo to

nejdou namáhány smykovými silami, což zapříčiní, že tavenina v závitové drážce není materiálově ani teplotně homogenní. Snaha k odstranění tohoto nedostatku vedla například k následujícímu řešení - aplikace mělčí drážky nebo použití šneku s hladkým či drážkovým zakončením nebo vložení vhodného hnětacího elementu do plastikační části šneku [3].



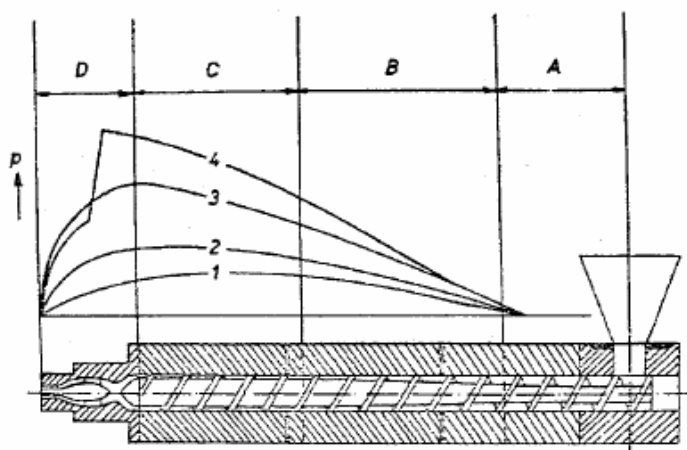
Obr.4 Schéma toků ve šneku při tavení plastu [3]

Q_1 -výtlačný tok, Q_2 - tlakový tok, Q_3 -tok vůlí, Q_4 -tok příčný

1.3.3 Výstupní

Dávkovací zóna představuje část vytlačovacího stroje obsahující pouze homogenní taveninu. Tavenině je vnucován pohyb působením jak boků a dna drážky, tak taky povrchem válce. Výsledkem je tažný tok, který bývá rozkládán do směru rovnoběžného s bokem šroubovice – tzv. výtlačný tok (Q_1) a kolmém na bok šroubovice – tzv. tok příčný (Q_4) – obr. 3 [3]. Výtlačný tok si lze představit jako výkon šnekového vytlačovacího stroje, který vytlačuje taveninu polymeru do volné prostoru, tedy bez vytlačovací hlavy. Hlava vytlačovacího stroje vytváří odpor proti tekoucí tavenině, a tak napomáhá ustavení tlakového profilu [5]. Ve směru tlakového spádu dochází k proudění taveniny – tzv. tlakový tok (Q_2). V závislosti na tlakovém spádu je tavenina polymeru tlakovým tokem dopravována k hlavě stroje nebo opačným směrem (odtud pojem protitlak). Obdobnou závislost na tlaku vykazují také tzv. tok vůlí (Q_3) mezi hřbetem šroubovice a vnitřním povrchem válce [3].

Na obrázku 5 je zobrazen diagram tlakového profilu podél šneku pro hlavu s malým odporem, pro hlavu s postupně stoupajícím odporem a pro hlavu s osazeným lamačem.



Obr.5 Diagram tlakového profilu podél šneku [3]

1 – hlava s malým odporem, 2,3 – hlavy s postupně stoupajícím odporem, 4 – hlava s osazeným lamačem, A – plnicí část, B – plastikační část, C- dávkovací část, D- hlavová část

1.4 Hlavy šnekového vytlačovacího stroje

Hlava je část stroje, v níž materiál dopravovaný šnekem získává definitivní tvar. Hlava musí mít takový profil, aby zaručovala pravidelný a stálý tok materiálu. Nesmí v ní existovat mrtvé prostory, ve kterých by se materiál mohl zastavit a zůstat tak dlouho v kontaktu s vyhřívanou stěnou hlavy, až by degradoval.

Hlava bývá připojena k pouzdru šnekového vytlačovacího stroje několika způsoby. Mimo nejjednodušší způsob, kdy bývá zašroubována do konce pouzdra se pro větší stroje používá bajonetové, objímkové nebo přírubové uchycení sklápěcími šrouby.

Mezi koncem šneku a hlavu bývá vkládán lamač. Je to děrovaná deska s otvory o velikosti 3 až 8 mm. Jeho úkolem je uskutečnit poslední homogenizaci plastu vystupujícího ze šneku. Lamač se používá jako opěra pro sadu čistících sít. Průchodem sítě se plast zbavuje nečistot nebo nerozpracovaných příměsí. Zařazením lamače se sítě vzrůstá odpor, a tak se zvyšuje tlak na konci šneku, čímž se zvětšuje intenzita hnětení plastu.

Podle konstrukce se hlavy dělí do těchto základních skupin:

1. hlavy přímé

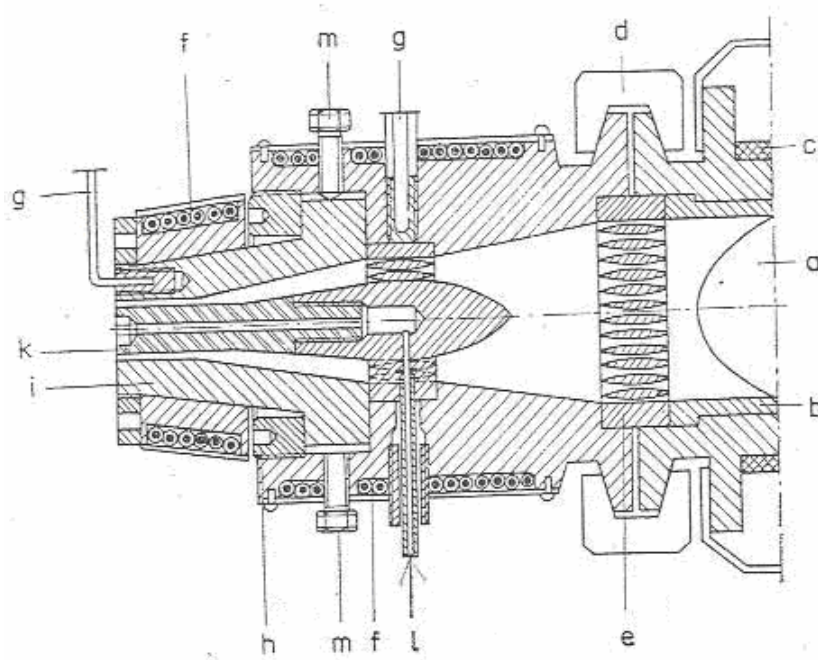
- a) většinou s kruhovým symetrickým průřezem, určené především pro vytlačování

trubek, hadic, tyčí apod.

- b) s rozmanitým, často komplikovaným průřezem, určené pro vytlačování profilů
- 2. hlavy nepřímé, tj. hlavy příčné a šikmé, určené pro opláštění vodičů, kabelů apod., dále hlavy pro vyfukování fólií, pro vyfukování dutých předmětů apod.
- 3. širokoštěrbínové hlavy, tj. hlavy určené pro vytlačování desek, fólií
- 4. hlavy pro vytlačování sítí [5]

1.4.1 Přímé hlavy

Přímá hlava pro vytlačování trubek z plastů je znázorněna na obr. 6.

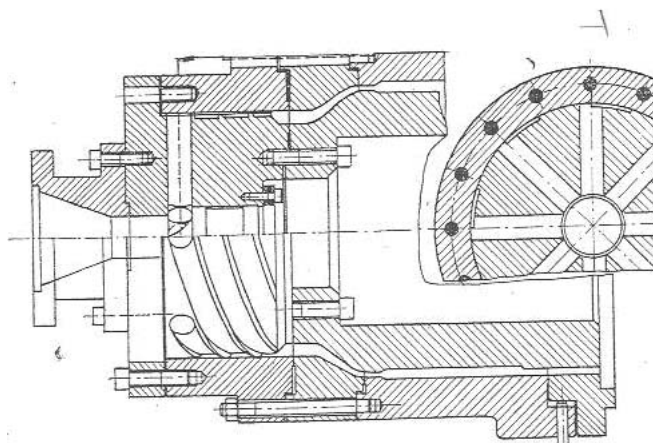


Obr.6 Přímá hlava pro vytlačování trubek z plastů [5]

a-ukončení šneku, b-pouzdro, c-vytápění, d-objímkové uchycení hlavy, e-lamač, f-odporové vytápění hlavy, g-termoelektrický článek, h-uchycení hubice, i-hubice, k-dutý trn, l-přívod tlakového vzduchu, m-stavěcí šrouby.

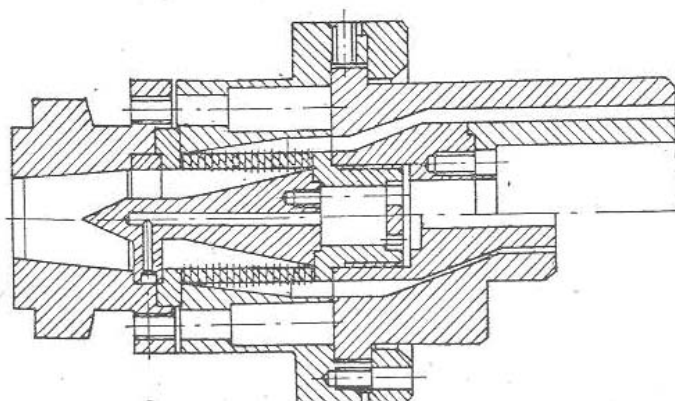
Vnější a vnitřní průměr trubky a tedy i tloušťka stěny trubky jsou voleny podle průměru vyměnitelné hubice a trnu. Hubice je pomocí stavěcích šroubů regulována vůči ose trnu, a tak je možno nastavit rovnoměrnou tloušťku stěny trubky.

Nevýhodou těchto hlav je, že v trubce vznikají slabá místa v oblastech, kde se spojují proudy taveniny rozdělené žebry rozdělovače. proto se někdy používají rozdělovače s dělenými nebo přesazenými žebry. Tento nedostatek plně odstraňuje hlava se spirálovým rozdělovačem, zobrazená na obrázku 7 [3], která je určena pro vytlačování trubek velkých průměrů z polyethylenu.



Obr. 7 hlava se spirálovým rozdělovačem [5]

Průřez spirálových kanálů se postupně zmenšuje a zároveň se zvětšuje mezera mezi hřbetem závitu a vnitřní stěnou hlavy. Tato úprava umožňuje, aby se proudy taveniny vytékající z kanálu dobře mísily bez vzniku slabých míst. Jiné řešení tohoto problému představuje hlava se síťovým košem (obr. 8).



Obr.8 Hlava se síťovým košem [5]

Tavenina, která prochází množstvím otvorů (o průměru 1,2 až 2,5 mm) síťového koše, se snadno spojuje v homogenní taveninu [5].

Hlavy pro vytlačování složitějších profilů, jako je např. okenní profil nebo okapový žlab, jsou obvykle náročné na konstrukci, protože je nutno zaručit plynulé proudění taveniny bez náhlých změn průřezu kanálu a bez mrtvých prostorů. Přes četné snahy teoreticky spočítat konstrukci hlavy pro komplikované profily zůstává i nadále konstrukce hlavy i výroba hlavy především záležitostí zkušenosti a proto je třeba počítat s tím, že hlavu bude nutno upravovat při zajištění výroby [3]. Pro menší výrobu jednoduchých a nenáročných profilů se profil jednoduše vyfrézuje do jisté desky (clony), která je upnuta do hlavy stroje. Tyto hlavy jsou levné, ale z hlediska rovnoměrnosti proudění taveniny nevýhodné [5].

1.4.2 Nepřímé hlavy

Nepřímé hlavy se používají především pro oplášťování vodičů, kabelů či profilů. Mají různý úhly odklonu od osy šnekového vytlačovacího stroje. U příčných hlav je tento úhel 90° , u šikmých hlav je menší (30 až 60°). Je přirozené, že se zvětšujícím úhlem odklonu od osy šnekového vytlačovacího stroje stoupají tokové potíže, které vyvolává nerovnoměrný tok taveniny plastu v dutině hlavy. Pro bezvadnou funkci hlavy je nezbytné, aby tlak hmoty, rychlost toku, teplota a viskozita taveniny byly po odklonění, tj. před výstupní štěrbinou, v příčném řezu naprosto rovnoměrné.

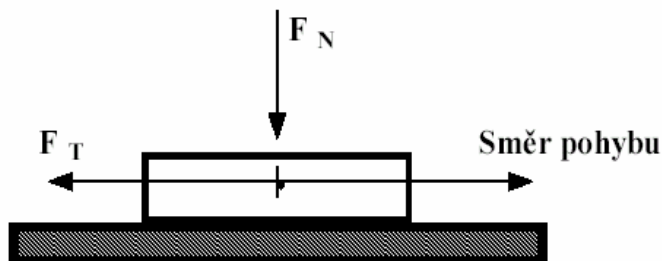
Při konstrukci hlavy se při určování rozměrů hubice musí uvažovat tyto tři faktory:

1. narůstání taveniny za hubicí
2. objemová kontrakce při chlazení
3. změna rozměru protažením vyvolaná zařízením pro odtažení – u tenkostěnných profilů bývá hubice zvětšena o 5 až 10 %, zatímco u masivních profilů bývá cca 10 % zmenšena [5].

V rámci mé bakalářské práce je řešen problém přímé vytlačovací hlavy, proto jsem v této kapitole věnoval nejvíce prostoru právě těmto vytlačovacím hlavám. O nepřímých hlavách jsem se zmínil jen okrajově.

2 TŘENÍ

Obecná definice - tření je odpor proti pohybu jednoho tělesa po povrchu druhého tělesa, který znázorňuje obrázek 9.



Obr. 9 Znázornění pohybu jednoho tělesa po druhém [6]

F_T – třecí síla

F_N – normálová síla

1) Pojem tření (frikce) ve fyzice

Třením lze chápat mechanický odpor (síla) působící proti pohybu pevného tělesa, které je v dotyku s jiným pevným tělesem nebo s tekutinou; např. tření smykové - smyk pevných rovinných ploch, tření valivé - valení rotačního tělesa po rovinné podložce a tření viskózní - pohyb pevného tělesa ve viskózním prostředí, nebo pohyb viskózního prostředí po stěnách pevného tělesa.

2) pojem tření (frikce) v technice

Tření při bezprostředním dotyku tuhých těles se označuje jako suché (tření bez maziva). Tření kapalinné vzniká u funkčních ploch, které jsou dokonale odděleny souvislou vrstvou maziva nebo jiného média (tření na vzduchovém polštáři apod.). Přejížděcí oblastí mezi třením suchým a třením kapalinným je tření polosuché (polokapalinné), kdy z vrstvy maziva vystupují vrcholy nerovností povrchu. Oproti pojmu tření je rozlišován pojem opotřebení, které je definováno jako progresivní ztráta materiálu při pohybu jednoho tělesa po druhém. Při žádoucím opotřebení hovoříme o obrábění.

Prostředkem ke snížení třecího odporu je lubrikace, která vlivem mazadel (lubrikantů) snižuje jednak koeficient tření a jednak opotřebení [6].

V případě technologie vytlačování, široce se uplatňující v plastikářském průmyslu, se při plastifikaci přivádí podstatná část energie do polymerní směsi smykovou deformací od kovového povrchu. Velikost této části energie je kromě jiného podstatně závislá na poměrech na rozhraní kov – polymerní směs. Bohužel vzájemný vliv povrchů, které se třou, je velmi složitý jev, který je závislý na mnoha faktorech.

Mechanická teorie tření se většinou popisuje pomocí tří základních zákonů vycházejících z poznatků Vinciho, Amantova a Coulomba.

1) První Amantov – Coulombův zákon je nejčastěji uváděný ve tvaru:

$$f = \frac{\tau}{\sigma} = \frac{\frac{F}{dS}}{\frac{N}{dS}} = -\frac{F}{N} \quad (1)$$

kde f - koeficient tření;

F – třecí síla (kg.m.s^{-2});

N – normálová síla (kg.m.s^{-2});

S – geometrická plocha dotyk zkoušených třecích povrchů (m^2);

τ a σ jsou specifická třecí a normálová síla (kg.m.s^{-2}).

2) Druhý zákon tření pojednává o vlivu velikostí třecí síly na celkovou styčnou plochu.

Matematickým vyjadřováním druhého zákona tření je vztah:

$$f_s > f_d \quad (2)$$

kde f_s a f_d jsou statický a dynamický koeficient tření. Tento zákon vychází z poznatků, že síla udržující rovnoměrný přímočarý pohyb tělesa po podložce je menší, než síla nutná k uvedení tohoto tělesa ze stavu klidu do pohybu.

3) Za třetí zákon se někdy považuje Coulombův poznatek, že tření je nezávislé na rychlosti pohybu. Novějším výzkumem tření za vysokých rychlostí byla platnost tohoto zjištění omezena [7].

2.1 Vliv parametrů na koeficient tření

Na koeficient tření f má vliv poměrně mnoho parametrů. Patří k nim velikost normálového zatížení, rychlost pohybu třecích ploch, teploty třecích povrchů, drsnost povrchu, přítomnost aditiv (konkrétně antifrikčních aditiv). Dalo by se říci, že neexistuje něco jako typicky kluzné vlastnosti, anebo univerzální koeficient tření pro určitý typ polymerů, protože i při měření koeficientu stejného materiálu, ale na různých typech měřicích přístrojů dostaneme různé výsledky [7].

2.1.1 Vliv rychlosti

Mnohé práce [23,24] dospěly k závěru, že koeficient tření polymerů málo závisí na rychlosti klouzání. Experimenty to však potvrzují pouze pro intervaly rychlosti od $0,02 \cdot 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$ do $0,1 \cdot 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$ pro polyethylen, polystyrén a jiné druhy polymerů. Pro rychlosti od $0,1$ do $7,0 \text{ m.s}^{-1}$ nepřesáhla odchylka koeficientu tření 10%.

Uvádí se, že rychlost nemá na koeficient tření větší vliv, pokud nedojde ke změně teploty na kluzných plochách. Někteří autoři se domnívají, že koeficient tření s rostoucí rychlostí mírně stoupá [25]. Předpokládá se téměř lineární závislost do určité hranice, nad kterou koeficient tření již na rychlosti nezávisí [26,27]. U polytetrafluorethylenu bylo zjištěno, že koeficient tření se měnil po určitou rychlost a dále již na rychlosti nezávisel.

Pro vyšší rychlosti v oblasti pružného kontaktu styčných ploch, třecí síla málo závisí na rychlosti a nebo se zmenšuje. Zvýšení rychlosti zmenšuje totiž plochu skutečného kontaktu a snižuje tím třecí sílu. Třecí sílu může také zvýšit a nebo snížit ohřev, a proto si tato problematika zaslouží obzvláštní pozornost [7].

2.1.2 Vliv teploty

Adhezní a molekulárně-mechanická teorie tření předpokládá vliv teploty na frikční vlastnosti polymerů. Závislost koeficientu tření na teplotě je spojena se zvláštnostmi chemického složení a charakteru vzájemného mezimolekulárního vlivu zkoumaných polymerů. Dle výsledků mnohých autorů [28], vliv teploty na koeficient tření pro většinu

termoplastických materiálů není v intervalu od 50 °C do 80 °C příliš významný. Teprve při vyšších teplotách začíná značně narůstat.

Málo výrazná závislost byla pozorována při teplotách kolem 100 °C. Při vyšších teplotách se hodnoty koeficientu tření značně mění a zvětšuje se chyba měření. To bude mít zřejmě souvislost s fázovými přeměnami, ke kterým dochází na styčných plochách materiálu v důsledku ohřevu.

Závislost dosahuje maxima v oblasti tavení polymerů. Zvyšováním teploty nad jistou mez může např. v případě semi-krystalických termoplastických polymerů vést ke vzniku taveniny. Viskozita s rostoucí teplotou výrazně poklesne a dále klesá až do teplot, při kterých dochází k samotné destrukci materiálu. Materiál teče a tím vlastně dochází ke snižování koeficientu tření [7]. Samozřejmě teplotní závislost je silně spjata s typem materiálu a výše uvedené poznatky platí obecně, např. u síťovaných polymerů neexistuje maximum v oblasti tavení, jelikož tyto polymery po sesíťování již tavit nelze.

3 KLUZNÁ ADITIVA

Kluzná aditiva se běžně používají při různých způsobech zpracování mnoha polymerů (např. PVC, PS, PE, PP). Jsou-li používány se znalostmi v tomto směru, usnadňují často nejen zpracovatelský proces, ale i zlepšují mnohé vlastnosti výrobků, jako např. povrchový vzhled, tepelnou a světelnou stabilitu, korozní odolnost a jiné.

Jako maziv se obecně používá kyseliny stearové a její Ca, Li, Ba, Sr, a Mg soli, přírodních vosků, mikrokrytalických parafinů, minerálních a rostlinných olejů, živočišných tuků apod. V principu je jejich účinek založen na tom, že maziva zabraňují lepení zpracovávané směsi na kovové součásti zpracovatelského zařízení a snižují vnitřní tření ve hmotě, čímž také zabraňují jejímu přehřátí účinkem frikčního tepla. Snižování adheze polymeru na kovové povrchy a vzrůst toku hmoty dovolují zvyšovat i výkonnost zařízení a usnadňují vyjímání materiálu z formy. Hlavním úkolem maziv je tedy ovlivnit tokové vlastnosti taveniny tak, aby směs bylo možno dobře zpracovávat, především vstříkovat, lisovat nebo vytlačovat bez nadměrného zatěžování zařízení a při minimální potřebě energie. Mírou tekutosti taveniny je obecně její viskozita a lze tedy pomocí regulace viskozity do značné míry ovlivňovat zpracovatelnost směsi.

Pro použití běžných maziv je důležité, aby bylo především slabě rozpustné v polymeru, mělo určitou adhezi k molekulám polymeru a nebylo snadno „vypocováno“.

Látka, účinná jako mazivo, musí tedy mít určité vlastnosti:

- být uhlovodíkem s relativně dlouhým řetězcem, většinou zakončený jednou polární skupinou;
- jeho teplota tání musí být taková, aby film, vytvořený po roztavení maziva na povrchu „primárních částic“ tvořených shluky makromolekul (aglomeráty), byl dostatečně pevný. Předpokládá se, že maziva, mající teplotu tání příliš nízkou, nevytvoří příliš pevné filmy, avšak mazivo, mající naopak příliš vysokou teplotu tání, nevytvoří požadovanou celistvou vrstvu filmu vůbec.

Podle účinku lze maziva rozdělit do dvou základních skupin:

- a) Maziva s vnějším účinkem - jsou takové látky, které jsou velmi omezeně rozpustné v polymeru. Částečně vystupují na povrch směsi a vytvářejí tak separační mezivrstvu mezi polymerem a pracovním povrchem zpracovatelského zařízení.
- b) Maziva s vnitřním účinkem - mají relativně dobrou snášenlivost a mísitelnost s polymerem. Jsou tedy více rozpustné s polymerem, čímž snižují viskozitu jeho taveniny.

Zdá se, že všechny látky používané jako maziva, plní více či méně obě úlohy. Mez rozpustnosti maziva v polymeru může být brána jako kritérium jejich klasifikace [1].

3.1 Amidová kluzná maziva

Dlouhé řetězce primárních amidů se velmi často používají jako kluzné přísady pro polyolefiny, a to především při technologiích vytlačování a vstřikování. Kluzná maziva - jako stearamid, oleamid, erucamid apod.- jsou přidávány k polyethylen (PE) nebo polypropylen (PP) během jejich zpracování určitou technologií např. během vytlačování. Ve výsledku vytváří tenký film jak na povrchu výrobku, tak na stěnách tvářecího nástroje a tím dochází k celkovému snížení koeficientu tření na rozhraní polymer-polymer (u hotového výrobku – aplikace u fólií) a polymer-kov. Snížení koeficientu tření mezi filmovou vrstvou maziva a strojním zařízením zvýší následně i výkonnost linky. Kluzný účinek je pak vyjadřován koeficientem tření CoF.

Koeficient tření je v podstatě snížen stěhováním kluzných přísad k povrchu výrobku, a to neslučitelností kluzné přísady s polymerem. Stěhovací rychlost kluzných činidel k povrchu je velmi ovlivněna délkou uhlíkového řetězce a krystalinitou polymeru. Lepší kluzné činidlo (více atomů uhlíku) je více kompatibilní s polymerem a pomaleji se stěhuje na povrch.

Primární amidy se obecně připravují z vyšších mastných kyselin. Stearamid je připravený z kyseliny stearové (C18:0), oleamid z kyseliny olejové (C18:1) a erucamid z erudic kyseliny (C22:1). Na obr. 10 je vidět jejich chemická struktura.

Polymerní aditiva na bázi fluoropolymerů jsou také efektivní cestou jak snížit viskozitu lineárních polyolefinů. Jsou vyvinuty proto, aby zaručovaly plynulý průtok vytlačovacím zařízením a mají za úkol vytvořit fluoropolymerový povlak na povrchu polymeru, který poskytuje nízkoenergetickou hodnotu mezifázového rozhraní polymerní taveniny a kovového povrchu. Při vytlačování je redukován odpor polymeru na stěnu vytlačovací hlavy a následně je také snížena smyková deformace na rozhraní kovová stěna – polymerní směs.

Změny vyvolané přidáním plniva:

- přidáním aditiva za konstantního tlaku a teploty při vytlačování se snižuje odpor toku a tím i energetické nároky;
- při vytlačování směsi za konstantního vytlačovacího tlaku se po přidání aditiva zvýší výstupní objem polymerního materiálu;
- při vytlačování směsi za konstantního vytlačovacího tlaku a použití aditiva je možno temperovat polymer na nižší teplotu;
- snížením zpracovací teploty pak vede k menší degradaci polymeru, ke zkrácení doby chlazení, což přináší energetické úspory;
- použití aditiva vede ke snížení popř. vyloučení vykvétání na ústí hubice – zkrácení prostojů, méně odpadu [9,10].

3.3 Oligomerní polymetylfenylsiloxany

Oligomerní polymetylfenylsiloxanové aditivační koncentráty jsou určeny pro vstřikování plastových výrobků. Snižují vnitřní tření ve hmotě, čímž zabraňují jejímu přehřátí účinkem frikčního tepla. Snižují adhezi polymeru ke kovovým povrchům a tak usnadňují vyjímání materiálu z formy. Umožňují zvýšit rychlost toku hmoty a tak zvýšit výkon zařízení. Dále zvyšují lesk výrobků a prohlubují barevný vjem při probarvování ve hmotě [11].

4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY VYTLAČOVACÍ HLAVY

Mechanická úprava povrchu zajišťuje dosažení požadované mikrogeometrie povrchu bez rozhodujících změn rozměrů součásti – vytlačovací hlavy. V mnoha případech může již samotné mechanické ošetření hlavy vést ke snížení tření na hranici polymer-kov a tím eliminovat povrchové vady výrobku, anebo může být prováděno jako předúprava pro následné chemické ošetření vnitřního povrchu vytlačovací hlavy. Mechanické úpravy rovněž zajišťují odstranění nežádoucích korozních produktů, oxidových vrstev (okují), mechanického znečištění vzniklého při předchozích technologických operacích, odstranění nefunkčních povlaků starých povrchových úprav atd. [12].

4.1 Technologie broušení, kartáčování, leštění

V technologii povrchových úprav jsou technologie broušení, kartáčování a leštění využívány, buď jako pomocné operace předcházející vytvářením různých typů povlaků, nebo se jimi vytváří konečná kvalita povrchu. Tyto technologie tedy nejsou využívány k dosažení předepsaných rozměrů součástky (jako u strojního obrábění, broušení nástrojů atd.), ani se jimi neodebírá větší množství materiálu (např. broušení svarů apod.), ale je upravován pouze povrch výrobku. Broušení, leštění, kartáčování a další podobné technologické operace jsou prováděny ručně a nebo automaticky na strojním zařízení [12].

4.1.1 Broušení

Pro broušení jsou používány různé typy plstěných rotačních kotoučů na jejichž obvodu je nalepeno brusivo s rozdílnou zrnitostí, podle typu prováděné operace:

- hrubování
- hlazení
- jemné hlazení
- předleštění

Pro broušení jsou rovněž používány papírové nebo plátěné brusné pásy a listkové kotouče s odstupňovanou zrnitostí nalepeného brusiva. Pro operace jemné hlazení a

předleštění jsou používány tuhé tukové pasty s obsahem brusiva, které se nanášejí na brousící část nástroje [12].

4.1.2 Kartáčování

Kartáčování se provádí rotačními kartáči z přírodních i uměle vyrobených vláken s nanesenými brusnými pastami. Většinou se tak upravují povrchy určené pro galvanické pokovení případně pro konečné leštění. Kartáčováním se rovněž odstraňují oxidy vzniklé při broušení. Pro operace kartáčování jsou používány tuhé tukové pasty s obsahem brusiva, které se nanášejí na obvodovou část kartáčovacího nástroje [12].

4.1.3 Leštění

Při klasickém leštění se používají rozličně tvarované rotační kotouče sestavené z různých, povětšinou textilních (samet, kord, flanel, saté), materiálů s nanesenými lešticími tukovými pastami. Touto operací se upravují povrchy zejména pro konečnou úpravu vzhledu hotového výrobku. Pro operace leštění jsou používány tuhé tukové pasty s brusivem o velmi jemné zrnitosti brusiva (oxid hlinitý Al_2O_3 , oxid chromitý Cr_2O_3 , oxid hořečnatý MgO), které se nanášejí na obvodovou část nástroje. Pro leštění různých kovů jsou používány rozdílné typy lešticích kotoučů a lešticích past [12,13].

4.2 PVD povlaky (polyvyniliden difluorid)

Další možností snížení koeficientu tření mezi vytlačovaným materiálem a povrchem vytlačovacího zařízení je povrchová úprava nanášením tzv. PVD povlaků na vnitřní stěny vytlačovací hlavy. Tyto PVD povlaky jsou na bázi nitridu titanu a chromu (TiN , CrN) a jejich použitím je možno koeficient tření snížit až o 85%. Tyto materiály se nanášejí pomocí katodového obloukového napařování (tzv. technologií ARC) a vytvářejí tvrdé otěruvzdorné vrstvy. Předpokladem pro kvalitní vrstvu je vhodný základní materiál, jelikož průběh napařování probíhá při teplotách kolem 430 až 480°C. Proto úroveň popouštěcí teploty po kalení musí být nad 500 °C. Dále pak samotný povrch součásti – vytlačovací hlavy musí být co nehladší, jelikož povlak kopíruje veškeré nerovnosti. Vhodné je proto tedy, aby v prvním kroku byla provedena mechanická úprava hlavy (pokud to vyžaduje její stav). PVD vrstvy se obvykle nanášejí v rozsahu 1 až 4 μm .

Mezi tzv. kluzné povrchové úpravy, které snižují koeficient tření se dále řadí technologie magnetového napařování. Proces povlakování probíhá při 80 °C. Nanáší se výhradně sulfid molybdenu (MoS_2) ve vrstvě do 2 μm [14,15].

5 PRŮZKUM TRHU

5.1 Zahraniční trh - aditiva

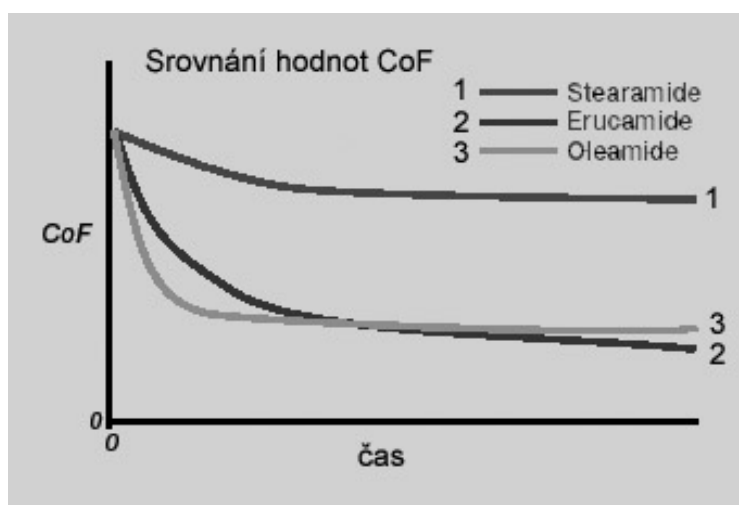
Jelikož je zahraniční trh s kluznými činidly pro polymery velmi rozsáhlý, tak jsem se soustředil s vyhledáváním informací především na firmy, které se představily na mezinárodním plastikářském a gumářenském veletrhu K 2004 v Düsseldorfu.

5.1.1 Produkty firmy Uniqema

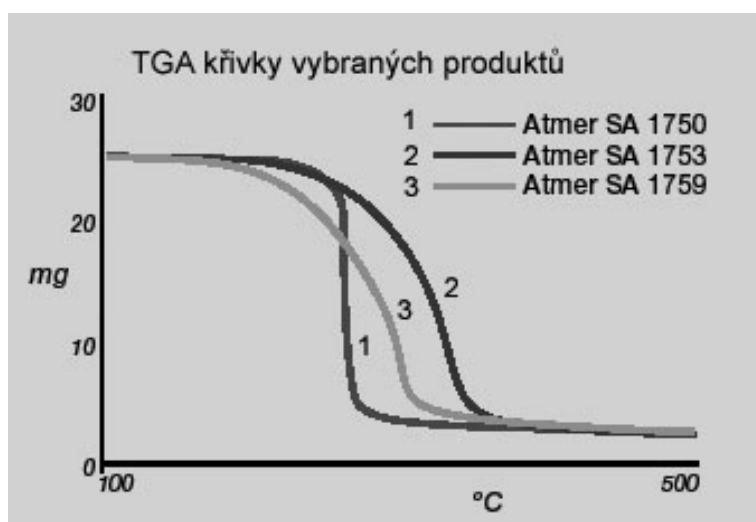
Americká firma Uniqema vyrábí primární amidová kluzná činidla pro polyolefiny. Jejich funkce je popsána v kapitole "Kluzná aditiva". Jak již bylo zmíněno, amidová kluzná činidla neposkytují kluzný účinek pouze při zpracování polymeru, ale i při následných technologických operacích či při manipulaci s výrobkem samotným. V této kapitole je uvedeno jak své produkty prezentuje firma Uniqema.

Popis vlastností

Erucamid migruje na povrch pomaleji než oleamid, což vystihuje obr.11, kde je vyhodnocena závislost koeficientu tření na čase pro různá kluzná činidla. Erucamid je v porovnání s oleamidem více stálý za tepla, více odolný proti oxidaci a také více stálý během zpracování, což znázorňuje obr.12, kde byla měřena termogravimetrická závislost pro vybrané produkty. Lze tedy říci, že erucamid je obecně více vhodný pro vyšší zpracovatelské teploty .



Obr.11 Závislost koeficientu tření na čase pro různá kluzná činidla od firmy Uniqema [8]



Obr. 12 TGA křivky vybraných produktů

Atmer SA 1750 – stearamid,

Atmer SA 1753 – erucamid

Atmer SA 1759 – oleamid [8]

V tabulce I jsou shrnuty obchodní názvy, chemické složení, body tání, slučitelnost a hlavní vlastnosti jednotlivých kluzných činidel.

Tab.I Vlastnosti produktů firmy Uniqema [8]

Produkt	Chemické složení	Fyzikální forma při 25°C	Bod tání	Hlavní vlastnosti
Atmer SA 1750	Stearamid	kulička	98-104°C	Organická antibloková přísada, ale i kluzné činidlo
Atmer SA 1753	Erucamid	kulička	79-85°C	Vynikající kluzné čin. pro poleolefiny, antibloková přísada
Atmer SA 1783FD	Erucamid	granule	79-85°C	Granulován forma Atmer SA 1753
Atmer SA 1756	Oleamid	kulička	70-76°C	Oleamid pro PE a PP, založený na rostliném základu
Atmer SA 1756FD	Oleamid	granule	70-76°C	Granulován forma Atmer SA 1756
Atmer SA1758	Oleamid	kulička	70-76°C	Oleamid pro PE vrstvy
Atmer SA1758FD	Oleamid	granule	70-76°C	Granulován forma Atmer SA 1758
Atmer SA 1759	Oleamid	kulička	70-76°C	Oleamid s vynikající tepelnou odolností pro PE a PP.
Atmer SA 1756FD	Oleamid	granule	70-76°C	Granulován forma SA 1759

Všechny produkty uvedené v tabulce I jsou slučitelné s PE a PP. Výjimku tvoří aditiva Atmeru SA 1758FD a Atmer SA 1758, ty jsou neslučitelné s PP [8].

5.1.2 Produkty firmy Croda

Firma Croda, která má rozsáhlou síť poboček v Evropě, Asii, Severní a Jižní Americe vyrábí stejně jako firma Uniqema amidová kluzná činidla. Funkce amidových činidel je popsána v kapitole "Kluzná aditiva". Ale opět je nutno připomenout, že amidová kluzná činidla neposkytují kluzný účinek pouze při zpracování polymeru, ale i při dalším technologickém použití. V této kapitole je popsáno jak své produkty prezentuje firma Croda. Obecné označení produktů firmy Croda je crodamid. Crodamidy se dělí na primární a sekundární

Primární amidy

Mezi primární amidy vyráběné firmou Croda patří crodamidy ER a OR. Jedná se o velmi efektivní kluzná činidla pro polyolefiny a další polymery. Crodamid ER je primární amid pro použití v LDPE, LLDPE a PP. Má nízkou oxidační stabilitu, nízkou těkavost, výborný kluzný účinek a dobrou směšnou charakteristiku. V tabulce II jsou uvedeny zkratky, celé názvy, body tání a polymerní snášenlivost jednotlivých primárních crodamidů.

Tab.II Vlastnost produktů firmy Croda – primární crodamidy [16]

Crodamid	Název	Bod tání (°C)	Polymerní snášenlivost
O	Oleamid	66-72	LDPE,LLDPE,PP
OR	Čistý oleamid	70-73	LDPE,LLDPE,PP
ORX	Tepelně odolný oleamid	71-76	LDPE,LLDPE
VR	Rostlinný oleamid	73-78	LDPE,LLDPE,HDPE,PP
E	Erucamid	7580	LDPE,LLDPE,HDPE,PP
ER	Čistý erucamid	78-81	LDPE,LLDPE,HDPE,PP
SR	Čistý stearamid	96-102	LDPE,LLDPE
BR	Čistý behenamid	102-112	LDPE,LLDPE,HDPE,PP

Sekundární diamidy

Označení crodamid zahrnuje také sekundární amidy, které nacházejí efektivní využití při vysokých zpracovatelských teplotách. Mají výbornou tepelnou stálost. Pro tento účel se jako třecí modifikátory používají Croamidy 203 a 212. Využití mají ve strojírenství polymerů a to pro zpracovatelské teploty více než 300°C. Croamidy 203 a 212 jsou velmi vhodná kluzná činidla do polyolefinů, kde dosahují středního koeficientu tření ($CoF = 0,2 - 0,4$). Obsah přidávaných kluzných činidel je malý. Kvůli vyšší molekulové hmotnosti se crodamidy 203 a 212 stěhují k povrchu zpracovávaného polymeru pomaleji a tím dávají kvalitnější kluznou vrstvu. Další možností jsou croamidy EBS. Mají široké využití v plastikářském průmyslu a dají se použít i jako plniva při výrobě nylonu a ABS. Používají se také jako vnější maziva pro PVC. Obecně mají vysokou tvrdost a vysoký bod tání. V tabulce III jsou uvedeny zkratky, celé názvy, body tání a polymerní snášenlivost jednotlivých sekundárních crodamidů.

Tab.III Vlastnosti produktů firmy Croda – sekundární amidy [16]

Crodamid	Název	Bod tání (°C)	Polymerní snášenlivost
203	Oleyl palmitamid	60-66	LLDPE,PP
212	Stearyl erucamid	70-75	LLDPE,PP
EBS	Ethylen bis-stearamid	140-145	LLDPE,HDPE,PP

Aplikace crodamidů:

Míchání crodamidů s polymerem se může provádět přímo ručně, ale doporučuje se míchání strojové s ohledem na lepší homogenizaci směsi. Optimální dávkování závisí na typu polymeru a stupni požadovaného mazání. Crodamidy se dodávají buď ve formě prášku nebo ve formě kuliček [16].

5.1.3 Produkty firmy 3M

Belgická Firma 3M je významnou firmou ve výrobě kluzných činidel (spolupracuje s ní i Univerzita Tomáše Bati). Produktem této firmy je i kluzné fluoropolymerové činidlo Dynamar .

Charakteristika dynamaru

Dynamar je fluoropolymerové kluzné činidlo, které vytváří tenký film na kovových zpracovatelských zařízeních. Plní funkci kluzného činidla při zpracování polyolefinů a dalších polymerních systémů. Tenká vrstva dynamaru vystupuje jako mazadlo a redukuje viskozitu příslušného polymerního systému. Snížení viskozity poskytne různé zpracovatelské výhody - např. ovlivňuje zpětný tlak, kroutivou sílu, krystalizaci a zlepší výkonnost zpracovatelského zařízení. Účinek dynamaru v polymerním systému je nejčastěji využíván přímo na zpracovatelských strojích v plastikářském průmyslu při technologiích vytlačování a vyfukování. Může být ovšem použit také v rámci výzkumné činnosti v laboratorních podmínkách (např. při měření na reometrech, při provozu zkušebních linek). Obecně platí, že provozní zařízení musí být čisté, jelikož přichycený polymer na kovovém povrchu může ovlivnit účinek přísad a mít za následek nevěrohodná data. Dynamar může plnit funkci i čistícího činidla pokud se nechá protlačit skrz vytlačovací stroj jako první.

Aplikace dynamaru

Dynamar se přidává k polymeru pomocí koncentráту. Kvalitní rozptýlení Dynamaru je velmi podstatné. Každý závit šneku ve vytlačovacím stroji poskytne potřebné promíchání. Přídavek Dynamaru bývá v koncentraci 2-3 % obj. Kvalitnějšího promíchání se dosáhne na mísicím zařízení např. Bandur nebo na vytlačovacím stroji s dvojitém šnekem.

Působení dynamaru

Aditivum při zpracování pokrývá kovový povrch zpracovatelského zařízení. V závislosti na strojním zařízení a zpracovatelských podmínkách by měla být požadovaná (kompletní) vrstva dynamaru na kovových stěnách zpracovatelského stroje přibližně po 15-60 minut provozní doby. Většina dalších přísad jako jsou např. antioxidanty by neměly snižovat funkci Dynamaru a ovlivňovat jeho výkonnost.

Typy dynamaru

Vlastnosti vybraných kluzných činidel dynamaru jsou uvedeny v následujících tabulkách. Pro DynamarTM FX 5911 jsou uvedeny v tabulce IV, pro DynamaTM FX 5920A v tabulce V a pro DynamaTM FX 9613 v tabulce VI [17,18].

Tab. IV Vlastnosti DynamaruTM FX 5911 [18]

Tvar	granule
Barva	Bílý až naředlý
Aktivní složky	100 %
Bod tání, °C	Od 110 do 126
MFI, index toku g/10 min (265°C, 5kg)	Od 5.0 do 14.0
hustota, g/cm³	Od 1.90 do 1.96

Tab. V Vlastnosti DynamaruTM FX 5920A [18]

Tvar	granule
Barva	Bílý až naředlý
Aktivní složky	97 %
Anorganické přísady	3 %
hustota, g/cm³	0.7
Užívaný stupeň	200 – 1000 ppm

Tab. VI Vlastnosti DynamaruTM FX 9613 [18]

Tvar	granule
Barva	naředlý
Aktivní složky	90 %
Anorganické přísady	10 %
hustota, g/cm³	0.9
Užívaný stupeň	50 - 1000 ppm

Studie DynamaruTM

Jelikož činidlo dynamar je možno aplikovat při různých technologiích a jeho účinky mohou být různé, bylo již provedeno na toto téma mnoho studií. Na ukázkou byly vybrány

dvě studie zabývající se účinností dynamaru při různých zpracovatelských technologiích a jejich stručný obsah je uveden v následujících podkapitolách.

1. Studie: Polymer processing additives to enhance HDPE extrusion blow moulding and pipe extrusion processes

Ve spolupráci s firmou 3M páni Johan De Witte a Dr.J. Briers použili DynamarTM jako zpracovatelskou přísadu do vysokohustotního polyethylénu ke zlepšení postupů vyfukování fólií a vytlačování trubek. V práci je popsán způsob jakým je možno při vyfukování a při vytlačování HDPE využít zpracovatelské přísady z řady DynamarTM jednak ke zvýšení produktivity a dále pak ke zlepšení kvality výrobku. Vznik dynamického filmu fluorovaných polymerů na stěně vytlačovací hlavy, který na rozhraní fluoropolymer – polymer vyvolává kluzný účinek, má pak za následek právě výše popsané výhody. Výsledky aplikace tohoto činidla jsou popsány v následujících odstavcích a jsou stále ještě předmětem vědeckého zkoumání.

a) HDPE –vyfukování fólií (*kapilárně reometrická studie vysokomolekulárního HDPE pro vyfukování*)

Poté co dynamický povlak fluorovaného polymeru dosáhl rovnovážných podmínek, bylo pozorováno, že lom taveniny (povrchové deformace) za kritických smykových podmínek úplně vymizel. Obě elastomerní přísady FX 9613, tak i termoplastická přísada FX 5911 se osvědčily.

b) HDPE – vytlačování trubek (*kapilárně reologická studie HDPE PE100 pro vytlačování trubek*)

Kapilárně reologická měření HDPE pro výrobu vysokotlakých trubek prokazují, že přidavkem 500 ppm přísady DynamarTM FX 5911 je možno dosáhnout zlepšeného zpracování.

Potom co povlak fluorovaného polymeru dosáhne rovnovážných podmínek, byly zjištěny tyto výhody:

- úplná eliminace kritických smykových podmínek;

- maximální pokles vstupního tlaku o 37 % při kritické smykové rychlosti 110s^{-1} ;
- výborná kontrola procesu v širokém rozmezí smykových rychlostí (kapacity).

Typického poklesu tlaku na výstupu při použití tohoto činidla je možno využít k úpravě procesu vytlačování trubek různým způsobem tak, aby to bylo pro výrobce výhodné z technického i ekonomického hlediska [9].

2. Studie: Molecular mechanisms for polymer extrusion instabilities: Interfacial origins

Tato studie pánů S.Q.Wanga, P.A. Drdy se zabývá porovnáváním polyetylenových strun vytlačovaných na vytlačovacím stroji vybaveném hliníkovou hlavu bez použití a s použitím kluzných přísad - Dynamaru of firmy 3M a fluoropolymeru Viton od firmy Du-Pont. Výsledkem studie je fakt, že použití fluoropolymeru od firmy Du-Pont poskytuje téměř dokonalý povrch na vytlačovacím zařízení. Kompletně se vyloučí veškeré tokové nestability včetně žraločí kůže. Ve srovnání s Dynamarem, kde se mohou objevit defekty povlaku, jenž mají vliv na celý vytlačovací proces, je toto činidlo dle autorů dokonalejší volbou. Ukázalo se, že fluoropolymerový povlak Viton od Du-Pontu je také více teplotně a mechanicky odolný [19].

5.1.4 Produkty firmy Fluon

Firma Fluon vyrábí kluzné činidlo pod obecným názvem Fluon®. Toto polymerní mazadlo a je vyrobeno z čistého polytetrafluoroethylenu (PTFE). Jeho použití je možné v podobě čistého mazadla nebo jako přísady v dalších materiálech. Toto aditivum, jenž vytvoří teflonový povlak na strojní součásti (např. vytlačovací hlavě) zlepši odolnost proti opotřebení, obecně zvětší kluznost a zlepši třecí charakteristiky i plněného polymeru. V tabulce IV jsou vypsány produkty firmy Fluon [20].

Tab.VII Produkty firmy Fluon [20]

Označení	Hustota (g/l)	Velikost částic(μm)	Specifický povrch (m ² /g)	Použití
FL1650/ FL1690	480	20	1,0	Obecně jako mazadlo pro termoplasty a elastomery
XL1607	500	35	1,0	Obecně jako mazadlo, zvláště pro termoplasty

5.1.5 Produkty firmy Rifra

Další v pořadí je italská chemická společnost Rifra, která nabízí širokou paletu výrobků pro chemický průmysl a mimo jiné také kluzná činidla pro polyolefiny. Jejich názvy a stručná charakteristika jsou následující:

- ***Rifrachem slip PP/E (kód:1005003)***
 - Popis: Rifrachem slip PP/E je komplex erudic diaminu a slouží jako kluzné additivum pro PP. Produkt usnadňuje zpracovatelský proces a pomáhá jednoduššímu vyjmutí výrobku z formy. V tabulce VIII jsou uvedeny fyzikální vlastnosti. Produkt má potravinové schválení podle normy DMI, 2002/72/CE, FDA.
 - Aplikace: Při vytlačovacích a vstřikovacích procesech plastických hmot.

Tab. VIII Fyzikální vlastnosti Rifrachemu slip PP/E [21]

Fyzikální vlastnosti	Hodnoty
Hustota (kg/dm ³)	od 0,45 do 0,65
Index toku (g/10 min)	od 25 do 55
Tepelná odolnost (C°)	280-300

- ***Rifrachem slip ab/02 (kód:1005001)***
 - Popis: Rifrachem slip ab/02 je komplex amidu mastné kyseliny a antiblokového činidla. V tabulce IX jsou uvedeny fyzikální vlastnosti. Produkt má potravinové schválení podle normy DMI,90/128/CEE,2002/72/CE, a FDA.
 - Aplikace: Kluzné činidlo Rifrachem ab/02 poskytuje vysokou kluznou účinnost pro polyolefiny (zejména LDPE). Proto se nejvíce využívá při vstřikování, kdy je potřeba větší kluznosti, aby se snadněji zaplnil celý objem dutiny formy.
 - Dávkování: Závisí na typu polymeru a požadovaném stupni kluznosti. Doporučuje se 0,2 až 0,5 % plniva.

Tab.IX Fyzikální vlastnosti Rifrachemu slip ab/02 [21]

Fyzikální vlastnosti	Hodnoty
Hustota (kg/dm ³)	0,62
Index toku (g/10 min)	29,8
Tepelná odolnost (C°)	Není definovaná

- **Rifrachem slip E/08 (kód:1005008)**

- Popis: Rifrachem slip E/08 je komplex aminů erudic kyseliny. V tabulce X jsou uvedeny fyzikální vlastnosti. Produkt má potravinové schválení podle normy 2002/72/CE, DMI, FDA.
- Aplikace: Kluzné činidlo Rifrachem slip E/08 je vhodné pro tenko-vrstvé vytlačování, vyfukování a vstřikování a používá se především při zpracování polymerů, u kterých se blížíme při zpracování ke kritickým hodnotám např. teploty únosné pro daný polymer. Slouží především k modifikaci LDPE, LLDPE, HDPE, PP.
- Dávkování: Podle typu požadované viskozity je doporučené dávkování od 0,5 do 2%.

Tab. X Fyzikální vlastnosti Rifrachemu slip E/08 [21]

Fyzikální vlastnosti	hodnoty
Hustota (kg/dm ³)	Od 0,50 do 0,70
Index toku (g/10 min)	1-20
Tepelná odolnost (C°)	Není definována

Všechny uvedené produkty se dodávají ve formě granulí v balících po 25 kg. Uskladnění se doporučuje na suchém místě [21].

5.1.6 Produkty firmy A. Shulman

Firma A. Shulman mající své centrální sídlo ve Velké Británii nabízí kromě kluzného aditiva Polybatch AMF – 705 také další aditiva jako jsou světelné stabilizátory, antioxidanty, retardéry hoření, antistatické činidla, antiblokační činidla, nadouvadla apod.

Polybatch AMF-705 je fluoropolymerový koncentrát, který napomáhá při zpracování LLDPE a HDPE. Při zpracování polymeru snižuje přídavek tohoto aditiva kroutivou sílu vytlačovacího stroje. Standardní praxe při použití Polybatch AMF-705 je v první části přidat koncentrát ve vyšší míře než je zpracovatelská úroveň (například 15%). Dále se nechá vytlačovací stroj třicet minut běžet na prázdko při střední až nízké vytlačovací rychlosti, mezitím se nám kluznou vrstvou pokryjí všechny kovové povrchy. Následně je nutno redukovat přidání plniva na 1-2% během zpracování [22].

5.2 Domácí trh - aditiva

Český trh není bohužel tak bohatý na výrobce kluzných činidel pro polymery jako zahraniční. A tak v rámci této bakalářské práce byl nalezen pouze jediný zástupce, zabývající se problematikou kluzných činidel a tím je Polymer Institut Brno

5.2.1 Polymer Institut Brno

Podnik Polymer Institut Brno se zabývá kluznými činidly MAKROPLUS, které jsou určeny pro polyolefiny. V následujícím textu jsou popsány základní typy:

- Makroplus RA 10/LDPE IT 2 a Makroplus 10/LDPE IT 20:
 - tyto kluzná činidla jsou založena na účinku oligomerních polymetylfenylsiloxanů a vyznačují se zvýšenou teplotní stálostí.
- Makroplus RAA 10/LDPE IT2:
 - je založen na účinku oligomerních polymetylfenylsiloxanů a vyznačuje se opět zvýšenou teplotní stálostí; obsahuje dále fóliové aditivum z kategorie antiblokačních činidel.
- Makroplus RA 25/LDPE IT 20:
 - je založen na účinku kovových mýdel vyšších mastných kyselin.

Použití výše uvedených činidel:

Aditivační koncentráty MAKROPLUS RA jsou určeny pro aditivaci LDPE, HDPE a PP nebo jeho kopolymerů. Použití pro jiné typy materiálů (např. ABS) je možné, avšak doporučuje se předchozí konzultace se specializovaným pracovištěm Polymer Institutu Brno. Vliv na následné operace (potisk, pokovování, svařování apod.) je nutno vždy individuálně ověřit.

Pokyny pro zacházení a skladování:

Manipulace s koncentráty nepodléhá žádným zvláštním omezením, měla by být pouze respektována obecně platná hygienická pravidla pro práci s chemickými produkty tohoto druhu. Koncentráty je nutno skladovat na suchém a chladném místě mimo přímé sluneční záření a zdroje radioaktivního záření. Teplota skladování je vhodná do 40 °C. Při dodržení podmínek skladování je doba použitelnosti minimálně 1 rok.

Zdravotní nezávadnost:

Koncentráty MAKROPLUS RA jsou vyráběny ze surovin, které odpovídají požadavkům Vyhlášky MZ č. 38/2001 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami.

Aplikace:

Doporučené dávkování je 0.5 - 2 % hmot. Koncentráty se smíchají se základním polymerem a směs se dávkuje do stroje obvyklým postupem. Otáčky šneku jsou doporučeny minimálně 100 otáček/min pro dosažení homogenizace se základním polymerem [11].

5.3 Povrchové úpravy vytlačovací hlavy

5.3.1 Leštění vytlačovací hlavy

Leštění je základní povrchovou úpravou kovů. Proto se touto technologií zabývají téměř všechny strojírenské podniky nejen v České republice, ale i na celém světě. Např. firma Compuplast, která sídlí ve Zlíně.

5.3.2 PVD povlaky

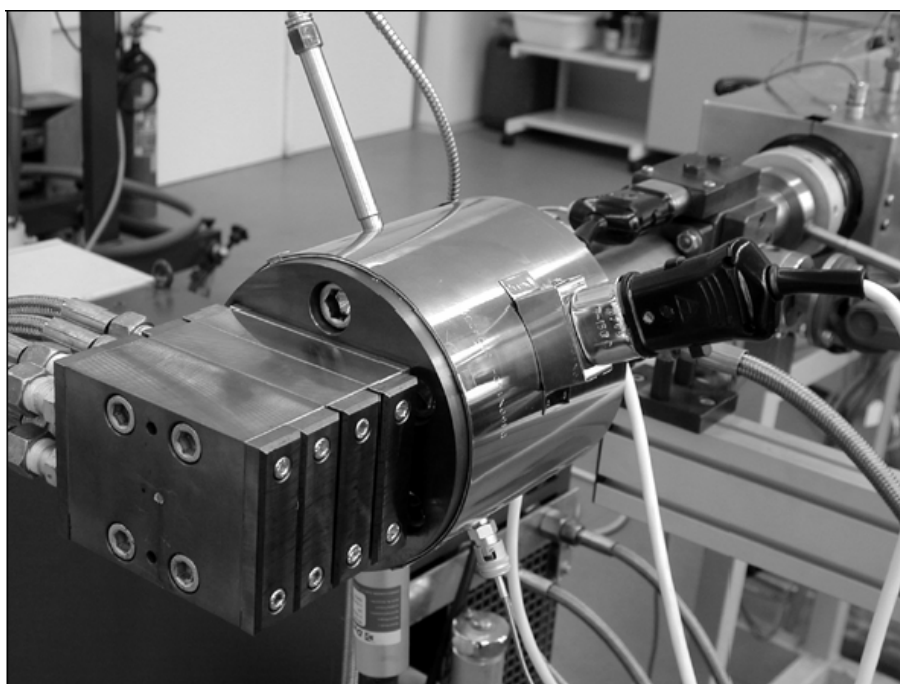
Další možností povrchové úpravy kovů jsou nanášení PVD povlaků na bázi TiN a CrN, jež provádí firma Liss z Rožnova pod Radhoštěm. Tato firma se více než povrchovými úpravami vytlačovacích hlav spíše zabývá úpravami strojních zařízení pro soustružení, frézování, vrtání, závitování atd. Firma je zcela vybavena strojním zařízením od Švýcarské firmy Platin. Na obrázku 13 je zobrazeno povlakovací zařízení PL-1000 [14,15].



Obr. 13 Povlakovací zařízení PL-1000 [14]

6 DISKUZE REÁLNÉHO PROBLÉMU

Bakalářská práce je věnována možnostem snížení frikce ve vytlačovací hlavě a to na základě výskytu problému u reálné vytlačovací hlavy zkonstruované pro vytlačování samozpevněných profilů z lineárních polyolefinů. Tato hlava, jejíž fotografie je na obrázku 14, je součástí experimentální vytlačovací linky (obr. 15), jenž je umístěna laboratorních prostorách Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

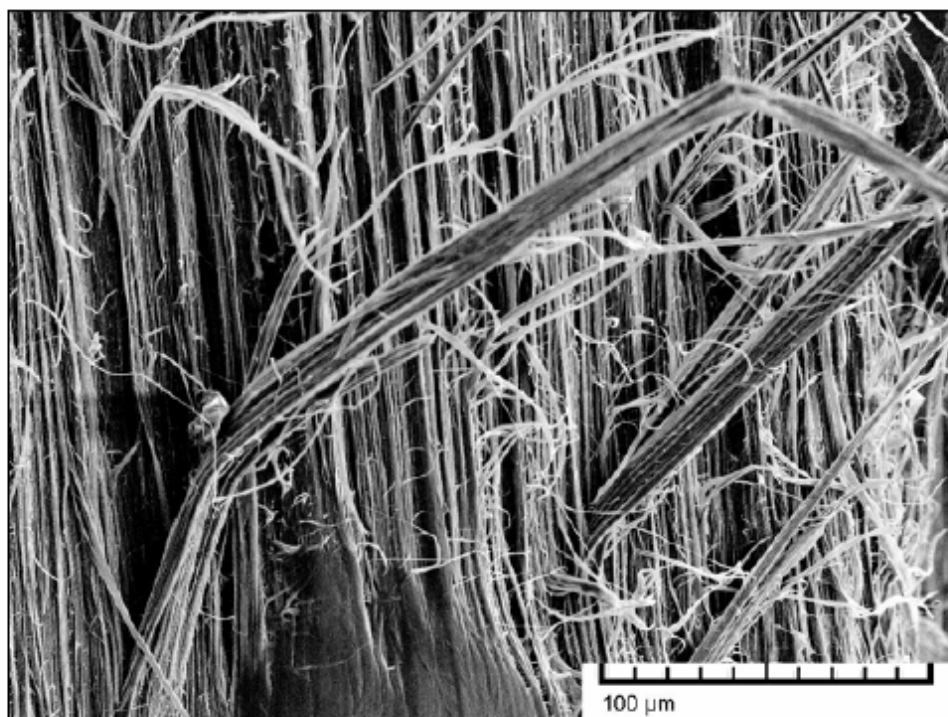


Obr. 14 Experimentální vytlačovací hlava

Problém, který se vyskytl při experimentálním běhu linky a sloužil jako návrh pro vypracování této bakalářské práce, by mohl být popsán asi takto: Tuhnutí vytlačované struny probíhá tak, že na jejím povrchu se nejdříve objeví tuhá ale tenká povrchová vrstva (slupka) a teprve pak dochází k celkové krystalizaci v celém objemu. Jestliže vytlačovaná polymerní struna prochází přes vytlačovací hlavu snadno, pak je proces kontinuální bez náznaku problémů. Nicméně v našem případě vznikající slupka velmi často uvízne (zatužne) ve vytlačovací hlavě, vytváří zátku a celý proces je zastaven. Vzhledem k tomu, že geometrii hlavy a teplotní či tlakové podmínky tohoto procesu nelze příliš měnit, jelikož by nevznikla požadovaná samozpevněná struktura (obr. 16), bylo nutné hledat jiná dostupná řešení např. snížení frikce na rozhraní polymer-kov pomocí povrchové úpravy vytlačovací hlavy či přidavkem kluzného činidla.



Obr. 15 Experimentální vytlačovací linka



Obr. 16 Morfologie samozpevňených extrudátů (Skenovací elektronová mikroskopie)

Při bližším prozkoumání vytlačeného profilu byla také nalezena na jeho povrchu zjevná rýha, jenž mohla částečně způsobovat zmíněné obtíže. Z tohoto důvodu byla

vytlačovací hlava ve spolupráci s firmou Compuplast vyleštěna. Leštění tokového otvoru ve vytlačovací hlavě se provádělo vysokootáčkovým motorem pomocí jemného smirkového plátna. Následně se na takto upravený povrch použila k závěrečnému leštění 30 mikronová leštící pasta. Tato prvotní úprava byla provedena také proto, že jakýkoli další povlak (povrchová úprava hlavy PVD povlakem či aplikace kluzných činidel) již jen kopíruje stávající povrch a ten proto musí být co nejdokonalejší.

Další efektivní možností snížení frikci ve vytlačovací hlavě se zdála být povrchová úprava vnitřních stěn vytlačovací hlavy kluzným PVD povlakem. Po doporučení pana Krále z firmy Compuplast byl navázán kontakt s firmou Liss, která se zabývá povlakováním kovů PVD povlaky. Při řešení vlastního problému snížení frikce ve výše uvedené vytlačovací hlavě pomocí katodového obloukového napařování PVD povlaku, se došlo ve spolupráci Ing. Sondorem k závěru, že zmíněná metoda v našem případě není nejvhodnější. Nanosená vrstva by sice snížila koeficient tření mezi zpracovatelským zařízením a vytlačovaným polymerem. Nicméně metoda katodového obloukového napařování je schopna nanést vrstvu pouze do hloubky, která se rovná průměru profilu ve vytlačovací hlavě. Tím pádem by PVD vrstva nebyla po celé délce profilovaného kanálu vytlačovací hlavy a nejen že by neřešila zmíněný problém, ale nejspíše by ho ještě více prohloubila.

Z tohoto důvodu byla zvážena další možnost a to snížení frikce na hranici polymer-kov přídavkem kluzného aditiva. V rámci domácího a zahraničního trhu bylo nalezeno několik firem, které se zabývají kluznými činidly pro polyolefiny. Tyto firmy vyrábějí několik druhů kluzných činidel, mezi než patří amidová kluzná činidla, fluoropolymerová kluzná činidla a aditiva založená na bázi oligomer polymetyfenylsiloxanů. Jako nejvhodnější a nejdostupnější činidlo pro aplikaci na zmíněnou vytlačovací hlavu bylo vybráno fluoropolymerové kluzné činidlo Dynamar od firmy 3M, jehož účinek byl testován v rámci výzkumů Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati již v případě vytlačování bariérových fólií širokoštěrbínovou vytlačovací hlavou [29].

Díky bližší spolupráci s firmou 3M bude tedy v nejbližší době aditivum Dynamar vyzkoušeno i při vytlačování samozpevněných strun, kde by jeho kluzný účinek měl zmírnit či úplně odstranit výše zmiňovaný problém.

7 ZÁVĚR

Stěžejní část bakalářské práce je věnována literární rešerši, jenž je rozdělena do několika částí a má za úkol poskytnout čtenáři alespoň základní informace o technologii vytlačování polymerů, třecích poměrech při vytlačování a možnostech snížení tření na rozhraní polymer-kov a to především ve vytlačovací hlavě. Jako zásadní metody snížení frikce ve vytlačovací hlavě byly teoreticky popsány tyto: přidavek kluzného činidla a povrchová úprava hlavy (mechanická, chemická). V prvním případě při přidavku vhodných aditivačních činidel, se vytváří na stěně vytlačovací hlavy v průběhu vytlačování polymeru kluzná vrstva, jenž vede ke snížení frikce mezi vytlačovaným materiálem a stěnou vytlačovací hlavy. Další možností jak snížit frikci ve vytlačovací hlavě je vhodná povrchová úprava vnitřních stěn vytlačovací hlavy a to mechanickým způsobem např. leštění či chemickým např. PVD povlaky.

V další části práce byl proveden průzkum zahraničního i domácího trhu. Bylo nalezeno mnoho firem zabývajících se touto problematikou. Jako aditivační činidla pro polyolefiny jsou uvedena amidová kluzná činidla (firmy Uniqema, Croda a Rifra), kluzná činidla na bázi oligomerní polymetyfenylsiloxanů (Polymer Institut Brno) a kluzná činidla na bázi fluoropolymerů (firmy 3M, A Shulman a Fluon). U vybraných kluzných aditiv jsou v této práci uvedeny také vlastnosti, užití a aplikace. Mezi firmy zabývajícími se povrchovými úpravami vytlačovacích hlav patří např. firmy LISS a Compuplast.

V poslední části práce byla diskutována použitelnost nalezených alternativ v rámci problémů spojených s reálnou vytlačovací hlavou speciálně navrženou pro vytlačování samozpevněných profilů z lineárních polyolefinů. Tato hlava je součástí experimentální vytlačovací linky tvořící laboratorního vybavení Fakulty technologické University Tomáše Bati ve Zlíně. V prvním kroku byla zvažována povrchová úprava této hlavy. Bohužel nebyla nalezena vhodná technologie, která by dokázala vytvořit vhodný kluzný povlak (např. PVD) na stěnách vytlačovací hlavy, proto bylo provedeno jen leštění tokového kanálu vytlačovací hlavy. Tento krok by v případě nedokonalosti hlavy měl být vždy jako první, jelikož jakýkoli povlak jen kopíruje nedokonalosti povrchu.

Dále pak byl zvažován přídavek vhodného kluzného činidla, jež by byl přidáván k polymeru během vytlačování a snížil tak frikci na rozhraní polymer kov vytvořením mikrovrstvy mezi polymerem a stěnou hlavy. Jako nejvhodnější kandidát byl vybrán Dynamar od firmy 3M. Jeho experimentální aplikace při vytlačování samozpevněných profilů z lineárních polyolefinů je plánovaná v nejbližší době.

Závěrem lze tedy říci, že původní cíle bakalářské práce byly úspěšně splněny. Nalezené možnosti snížení frikce ve vytlačovací hlavě byly nejprve teoreticky popsány, následně prakticky vyhledány v rámci zahraničního i domácího trhu a uvedeny v práci. Závěrem byly alternativy zváženy a bylo navrženo řešení pro reálnou vytlačovací hlavu.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Doc. Ing. Jiří Štěpek, DrSc. *Zpracování Plastů*, 1980
- [2] Prof. Ing. Dr. Josef Mleziva, DrSc. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*, 1993
- [3] Ing. Miloš Sova, CSc., Doc. Ing. Josef Krebs, CSc. a kolektiv autorů, *Termoplasty v praxi*, 2000-2001
- [4] Prof. Ing. Dr. Ivan Franta a kolektiv, *Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže*, 1969
- [5] J. Štěpek, J. Zelinger, A. Kuta, *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*, 1989
- [6] VSLIB, [cit.2005-17-03], Dostupné z URL:
http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/studijni_materialy/zpracovatelske_textilnich_vlaken/zvt_p_6.pdf
- [7] Ing. Wladyslaw Sudník, *Studium šnekové plastikace gumárenských směsí*, Aspirantské minimum, VUT Brno - Fakulta technologická ve Zlíně, 1982
- [8] UNIQEMA,[cit.2004-03-11],Dostupné z URL:<http://www.uniqema.com/pa/lit/pa1.pdf>
- [9] Ing. Johan De Witte, Dr. J. Briers, *Zpracování přísad do polymerů ke zlepšení postupů extruzního vyfukování vysokohustotního polyetylénu a vytlačování trubek*, 3M Belgium N. V.,Canadastraat 11, B-2070 Zwijndrecht, Belgie
- [10] John Horns, *The Influence of Using Fluoropolymer Processing Additives to Improve the Extrusion Characteristics of LDPE/LLDPE Resin Blends*, 3M-HOECHST ENTERPRISE
- [11] MAKROPLUS RA, [cit.2005-07-01],
Dostupné z URL: http://www.polymer.cz/obrazky/mplus_ra.pdf
- [12] POPIS TECHNOLOGIE POVRCHOVÝCH ÚPRAV, [cit.2005-13-05]
Dostupné z URL:< http://www.ceu.cz/ippc/columns/povrchove_upravy/popis.htm>
- [13] ZÁKLADY OPTICKÉ A ELEKTRONOVÉ MIKROSKOPIE, [cit.2005-13-05]
Dostupné z URL :
http://64.233.183.104/search?q=cache:HmWBxxcsiVYJ:www.kmt.vslib.cz/predm-zs/vsechna_cviceni.doc+popis+le%C5%A1t%C4%9Bn%C3%AD+kov%C5%AF&hl=cs
- [14] Katalog firmy Liss
- [15] Josef Sondor,Liss, *Povlaky kovů*, [2005-10-01] , osobní komunikace
- [16] CRODA EUROPE, [cit.2005-06-02], Dostupné z URL :
<<http://www.croda.com/home.aspx?d=content&s=53&r=83&p=344>>

- [17] 3M WORLDWIDE, [cit..2005-12-03], Dostupné z URL:
http://multimedia.mmm.com/mws/mediawebserver.dyn?RRRRRR_Y3beRku6RDu6RRR&1qB4VUctP-
- [18] Katalog firmy 3M
- [19] S.Q.Wang, P.A. Drda, A.Baughner, *Molecular mechanisms for polymer extrusion instabilities: Interfacial origines*
- [20] FLUON, [cit.2005-25-01], Dostupný z URL: <www.fluon.com>
- [21] Katalog firmy Rifra
- [22] Katalog firmy A.Shulman
- [23] SHOOTER, K., THOMAS, R.H.:Frictional Properties of Some Plastics, Research 1949, 2, 533.,
- [24] SHOOTER, K., TABOR, D.: The Frictional Properties of Plastics. Proc. Roy. Soc. 2, 1952, 533
- [25] TOMIS, F. BŘEZÍK, R. Plast und Kutschuk, 19, 1973, č.3
- [26] FLOM,D.G., PORILE, N.T.: Effect of Temperature (Speed) Sliding of teflon, J.Appl. Phys. 26,1955.
- [27] FLOM, D.G., PORILE, N.T.: Effect of Temperature Speed Sliding of the Friction of Teflon on Teflon Nature, 175, 1955.
- [28] HACHMANN, H., STRICKLE, E.: Kunststoffe, 59, 1969, č.1, 213
- [29] ZATLOUKAL, M., DE WITTE, J. :*The effect of process aids on the zig-zag type of interfacial instabilities in multi-lazer flows: Theoretical and experimental investigation*, Plastko 2005

9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

D - průměr šneku,

c - šířka vodící plochy závitu

a - hloubka šnekového profilu ve vstupní části

b - hloubka šnekového profilu v dopravní části,

α - úhel stoupání závitu

K - kompresní poměr

V_1 - je objem závitové drážky pro jedno stoupání na začátku

V_x - je objem závitové drážky pro jedno stoupání obvykle na konci šneku

Q_1 -výtlačný tok

Q_2 - tlakový tok

Q_3 - tok vřelí

Q_4 - tok příčný

F_T – třecí síla

F_N – normálová síla

f - koeficient tření

N – normálová síla

S – geometrická plocha dotyk zkoušených třecích povrchů

τ a σ jsou specifická třecí a normálová síla

f_s a f_d jsou statický a dynamický koeficient tření

PVC - polyvinylchlorid

PS - polystyren

PE - polyetylen

PP - polypropylen

Ca - vápník

Li - litium

Ba - barium

Sr - stroncium

Mg - hořčík

CoF - koeficient tření

NH_3 - amoniak

ppm - počet jednotek na milión

PPA - polymer processing additives (polymerní zpracovatelská přísada)

Al_2O_3 - oxid hlinitý

Cr_2O_3 - oxid chromitý

MgO - oxid hořečnatý

PVD - polyviniliden difluorid

TiN - nitrid titanu

CrN - nitrid chromu

μm - mikrometr

MoS_2 - sulfid molybdenu

TGA - termogravimetrie

LDPE - nízkohustotní polyetylen

LLDPE - lineární nízkohustotní polyetylen

HDPE - vysokohustotní polyetylen

ABS - akrylonitrilbutadienstyren

$\text{g}/10\text{min}$ - index toku

PTFE - polytetrafluorethylen

m^2/g - specifický povrch

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma uspořádání vytlačovacího stroje.....	10
Obr. 2 Základní názvosloví šneku	10
Obr. 3 Některé typy šneků	11
Obr. 4 Schéma toků ve šneku při tavení plastu	13
Obr. 5 Diagram tlakového profilu šneku	14
Obr. 6 Přímá hlava	15
Obr. 7 Hlava se spirálovým rozdělovačem.....	16
Obr. 8 Hlava se síťovým košem	16
Obr. 9 Znázornění pohybu jednoho tělesa po druhém.....	18
Obr. 10 Chemická struktura stearamid, oleamid, erucamid	24
Obr. 11 Závislost koeficientu tření na čase pro různá kluzná činidla od firmy Uniqema ...	30
Obr. 12 TGA křivky vybraných produktů	30
Obr. 13 Powlakovací zařízení PL-100.....	41
Obr. 14 Vytlačovací hlava	42
Obr. 15 Vytlačovací linka.....	43
Obr. 15 Morfologie samozpevněných extrudátů	43

11 SEZNAM TABULEK

Tab. I Vlastnosti produktů firmy Uniqema.....	31
Tab. II Vlastnosti produktů firmy Croda- primární amidy	32
Tab. III Vlastnosti produktů firmy Croda-sekundární amidy	32
Tab. IV Vlastnosti Dynamaru TM FX 5911	34
Tab. V Vlastnosti Dynamaru TM FX 5920A.....	34
Tab. VI Vlastnosti Dynamaru TM FX 9613	34
Tab. VII Produkty firmy Fluon.....	36
Tab. VIII Fyzikální vlastnosti Rifrachemu slip PP/E	37
Tab. IX Fyzikální vlastnosti Rifrachemu slip ab/02.....	38
Tab. X Fyzikální vlastnosti Rifrachemu slip E/08.....	38