

Návrh a realizace Široko-štěrbinové vytlačovací hlavy

Bc. Jan Laža

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan LAŽA**
Osobní číslo: **T09691**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Širokoštěrbinová vytlačovací hlava**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Navrhněte výukový model širokoštěrbinové vytlačovací hlavy v CAD systému.
3. Navrhněte technologii pro výrobu výukového modelu.
4. Realizujte výrobu navrženého modelu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- ŠTĚPEK, Jiří; ZELINGER, Jiří; KUTA, Antonín. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. Vyd. 1. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989. 637 s
- MAŇAS, Miroslav; TOMIS, František; HELŠTÝN, Josef. Výrobní stroje a zařízení : gumárenské a plastikářské stroje. Brno : VUT, 1990. 199 s. ISBN 802140213X.
- Další literatura dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jakub Černý
UTB FT Zlín

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 10.5.2011

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomové práce se zaměřuje na konstrukci, realizaci a výrobu výukové verze široko-štěrbinové vytlačovací hlavy vyrobené z materiálu PMMA. Úvodní část práce popisuje technologie zpracování polymerních materiálů vytlačováním a související specifické reologické chování tavenin při zpracování polymerů. V druhé části autor popisuje práci v CAD / CAM softwaru, pomocí kterého je vytvořen 3D model a CNC kódy pro obrábění na CNC frézce.

Klíčová slova: Široko-štěrbinová hlava, PMMA, vytlačování, CNC obrábění

ABSTRACT

This master thesis focuses on the design, realization and manufacturing of extrusion wide-slotted die made from PMMA material. The first part describes the processing technology of polymer materials extrusion and related specific rheological behavior of melts in the polymer processing. In the second part the author describes the work in CAD / CAM software, by which 3D model and CNC codes for machining on CNC milling machine are prepared.

Key words: wide-slotted die, PMMA, extrusion, CNC milling

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Jakubu Černému za vedení práce a odborné rady při řešení problémů souvisejících s návrhem, technologií obrábění a dokončování dílů široko-štěbinové vytlačovací hlavy vyrobené z PMMA.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 VYTLAČOVÁNÍ.....	12
1.1 PÍSTOVÉ VYTLAČOVACÍ STROJE.....	12
1.2 DISKOVÉ VYTLAČOVACÍ STROJE.....	13
1.3 ŠNEKOVÉ VYTLAČOVACÍ STROJE.....	14
2 VYTLAČOVACÍ HLAVY	16
2.1 ROZDĚLENÍ VYTLAČOVACÍCH HLAV	17
2.2 PŘÍMÉ VYTLAČOVACÍ HLAVY	18
2.3 NEPŘÍMÉ HLAVY.....	19
2.4 VYFUKOVACÍ HLAVY:	20
2.5 ŠIROKO-ŠTĚRBINOVÉ HLAVY.....	21
2.6 KOEXTRUZNÍ HLAVY	23
3 REOLOGICKÉ CHOVÁNÍ TAVENIN PLASTŮ.....	25
3.1 VSKOZITA TAVENINY	25
3.1.1 Rotační viskozimetr	26
3.1.2 Kapilární viskozimetr.....	27
3.1.3 Index toku taveniny.....	28
3.2 PRVNÍ ROZDÍL NORMÁLOVÝCH NAPĚTÍ.....	28
3.3 NARŮSTÁNÍ ZA HUBICÍ	30
4 PŘÍSADY OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI PLASTŮ.....	31
4.1 ZMĚKČOVADLA	31
4.2 MAZIVA	32
4.3 SEPARAČNÍ ČINIDLA	32
4.4 PLNIVA.....	33
4.5 PIGMENTY	34
4.6 NADOUVADLA.....	35
4.7 ANTISTATIKA	36
4.8 STABILIZÁTORY OXIDACE	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
5 ÚVOD PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	40
6 KONSTRUKCE ŠIROKOŠTĚRBINOVÉ VYTLAČOVACÍ HLAVY.....	41

6.1	TĚLESO 1	42
6.2	TĚLESO 2	43
6.3	OBJÍMKOVÝ SPOJ	44
6.4	LAMAČ	45
6.5	STAVITELNÝ BRZDNÝ MŮSTEK	46
6.6	PEVNÁ ČELIST	47
6.7	STAVITELNÁ ČELIST	48
6.8	TOPNÉ PÁSY	49
7	CNC PROGRAMOVÁNÍ.....	51
8	VÝROBA ŠIROKOSTĚRBINOVÉ VYTLAČOVACÍ HLAVY.....	55
8.1	CNC FRÉZOVÁNÍ.....	56
8.1.1	Upínání obrobku.....	57
8.1.2	Frézování.....	59
8.2	VRTÁNÍ A ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ	62
8.3	BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ.....	62
8.4	POVRCHOVÁ ÚPRAVA DÍLŮ Z PUR	64
8.5	MONTÁŽ HLAVY	65
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	71
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	73
	SEZNAM PŘÍLOH.....	76

ÚVOD

Mezi vysoce produktivní technologie zpracování polymerních materiálu patří proces vytlačování. Tato technologie našla v průmyslu široké uplatnění při výrobě folii, desek, profilových materiálů nebo k opláštování vodičů. Při vytlačování je zapotřebí materiál převést ve vytlačovacím stroji do plastického stavu a následně taveninu extrudovat přes vytlačovací hlavu do volného prostoru. Za vytlačovací hlavou obvykle následuje kalibrace, chlazení a měření daného výrobku. Správná funkce vytlačovací hlavy je podmíněna vhodnou konstrukcí, proto je zapotřebí této činnosti věnovat zvýšenou pozornost. Správné řešení konstrukce může výrazně ovlivnit vlastnosti a cenu extrudovaného výrobku. Jelikož se obvykle jedná o kontinuální výrobu, je důležité zajistit ve výrobním procesu dodatečné dělení a skladování materiálu.

V dnešní době lze konstrukci vytlačovací hlavy navrhovat pomocí speciálního softwaru, který dokáže spočítat potřebné parametry toku taveniny ve vytlačovací hlavě. Práce s tímto softwarem potlačuje konstrukční chyby, které se můžou projevit při zkoušení daného nástroje. Dodatečná oprava zvyšuje výslednou cenu hlavy a výrobku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VYTLAČOVÁNÍ

Vytlačování je kontinuální proces, při němž se převádí materiál do plastického stavu a následně je tlakem extrudován přes vytlačovací hlavu (nástroj) do volného prostoru. Technologie vytlačování lze použít k výrobě desek, folii, trubek, tyčí a profilů z polymerních materiálů nebo k opláštění vodičů.

Z hlediska hlavních pracovních pohybů lze vytlačovací stroje rozdělit na:

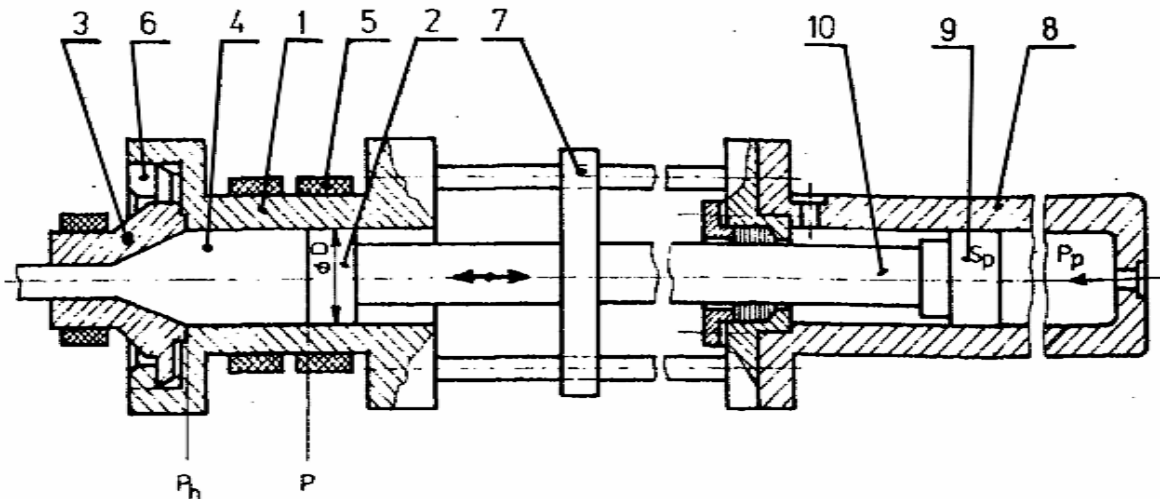
- Pístové
- Diskové
- Šnekové – jednošnekové, dvoušnekové a vícešnekové
- Speciální

Je potřeba zajistit aby tlaková energie vytlačovacího stroje byla dostatečně vysoká k překonání všech odporů vznikajících při procesu vytlačování.

1.1 Pístové vytlačovací stroje

K vytvoření tlakové energie využívají pístové vytlačovací stroje mechanicky nebo hydraulicky pohon působící na vytlačovací píst složený z pracovního válce a pístu. K pracovnímu pístu bývá často připevněna vytlačovací hlava pomocí bajonetového uzávěru umožňující snadnou manipulaci při spojení vytlačovací hlavy s pracovním válcem. K zajištění správného teplotního pole při vytlačování je vytlačovací hlava a pracovní válec opatřen několika topnými pásy, které umožňují snadnou regulaci teploty taveniny ve stroji. [1]

Základní parametry vytlačovacího stroje jsou dány maximální vytlačovací silou, průměrem a zdvihem pracovního válce pístu. Výhodou pístového vytlačovacího stroje je, že tavenina není namáhána vysokým smykovým napětím. Tato vlastnost umožňuje vytlačovat materiály citlivé na teplotu nebo vykazující špatné tokové vlastnosti (PTFE). Nevýhoda stroje spočívá v cyklické tvorbě tlakové energie. [1]

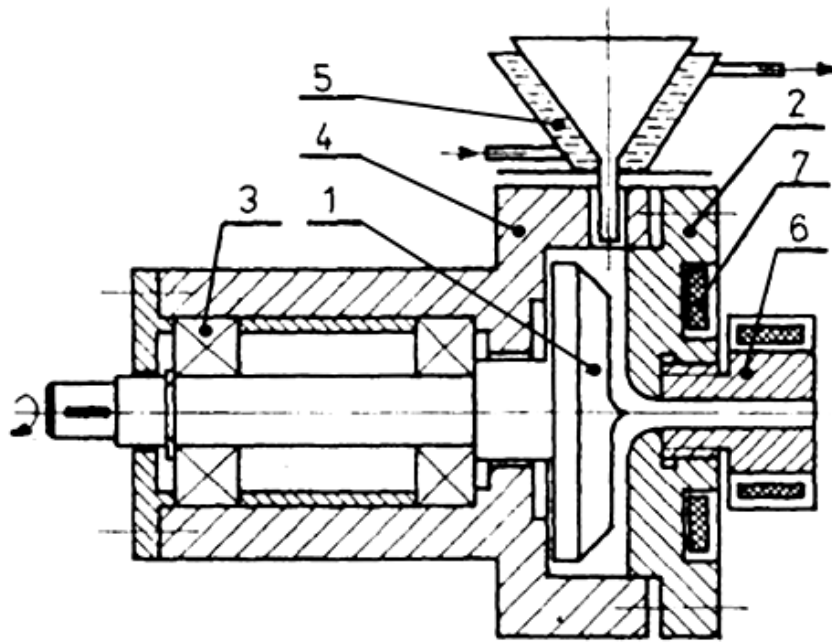


Obr. 1. Pístový vytlačovací stroj. [1]

1 — pracovní válec, 2 — pracovní píst, 3 — vytlačovací hlava, 4 — vytlačovaný materiál, 5 — topné tělesa, 6 — bajonetový uzávěr, 7 — vedení pístnice, 8 — hydraulický válec, 9 — píst, 10 — pístnice

1.2 Diskové vytlačovací stroje

Diskové vytlačovací stroje pracují na využití viskoelastických vlastností vytlačovaného materiálu (Weissenbergův efekt). Materiál je dopravován z chlazené násypky do štěrbin mezi rotační disk a přední desku vytlačovacího stroje. Rotací disku uloženého v ložiskách je granulát vlivem smykového napětí a tepla dodaného topným tělesem nataven a účinkem prvního normálového napětí (Weissenbergův efekt) dopravován v radiálním směru k hubici vytlačovacího stroje. Na čelní desce a hubici stroje je připevněno topné těleso dodávající teplo do soustavy. Nevýhodou tohoto řešení je dosažení velmi nízkých vytlačovacích tlaku na výstupu z hubice. Mezi žádoucí vlastnosti stroje patří dobrá výsledná homogenita a snadné řízení plastikace taveniny. Výkon stroje lze ovládat změnou velikosti štěrbin nebo otáček disku a druhu zpracovávaného materiálu. [1]



Obr. 2. Diskový vylačovací stroj. [1]

1 – rotor, 2 – čelní deska, 3- ložisko, 4 – těleso, 5- chlazená násypka, 6 – vylačovací hlava, 7 – topné těleso

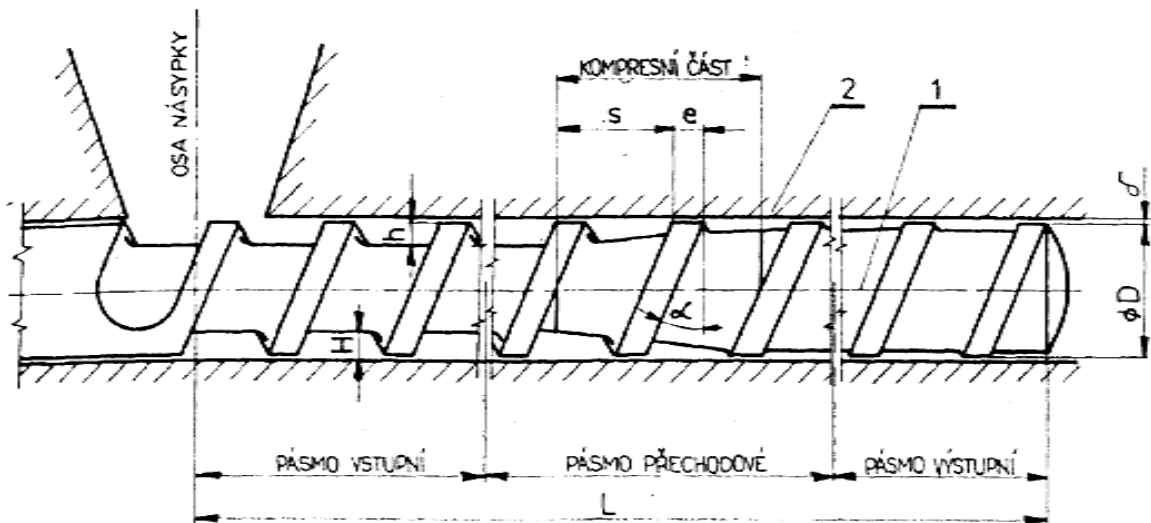
1.3 Šnekové vylačovací stroje

Vzhledem ke kontinuálnímu způsobu práce zauímají šnekové vylačovací stroje přední místo mezi stroji na zpracování plastů a kaučukových směsí. Pro jejich univerzálnost jsou tyto stroje využívány k nepřetržité výrobě trubek, profilů, desek, rozfukování folii nebo dutých předmětů a opláštění vodičů. Významné využití šnekových vylačovacích strojů je u plastikačních jednotek vstřikovacích strojů. [2]

Základní součástí stroje je válcové těleso opatřené jednochodým nebo vícechodým závitovým profilem, který bývá speciálně navržen pro daný zpracovávaný materiál. Charakter šneku je dán poměrem L/D , vyjadřující poměr celkové délky šneku vůči průměru šneku. Typický rozměr jednochodého šneku je $20D - 30D$. Vylačovací šnek je rozdělen na vstupní, přechodovou a výstupní zónu.

- Vstupní pásmo – doprava a míchání materiálu před tavením. Obvykle je šnek pod násypkou chlazen z důvodu zabránění předčasného tavení materiálu, které způsobí snížení výkonu stroje.

- Přechodové pásmo – oblast zlepšení homogenity, stlačování hmoty (kompresní poměr) a začátku tavení materiálu obsahující taveninu i tuhé lože.
- Výstupní pásmo – slouží k míchání a dopravování materiálu do vytlačovací hlavy.



Obr. 3. Jednohodý šnek. [1]

1 – šnek, 2 – pracovní válec, L – délka šneku, D- průměr šneku, h- hloubka šnekového profilu, H – hloubka šnekového kanálu, s – stoupání závitu, e – vodící plocha závitu, δ – poloviční vůle, α – úhel šroubovice

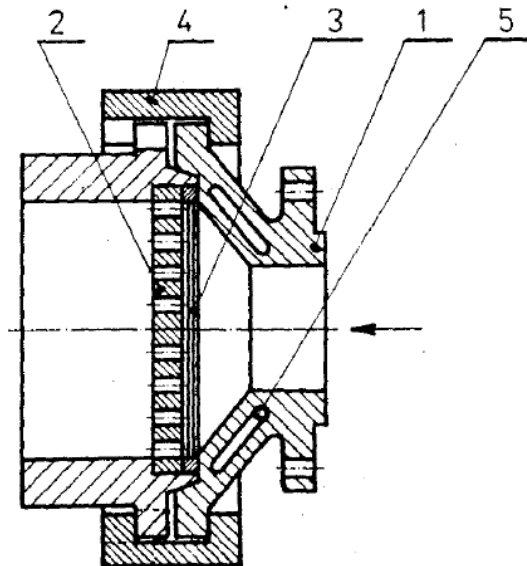
Pro tavení polymerních materiálu, které velmi špatně vedou teplo, je při vytlačování do soustavy dodávané teplo z topných pásů a účinkem disipace. Pojem disipace představuje přeměnu mechanické energie na teplo. Při snížení teploty na topných pásích se snižuje viskozita materiálu a dominuje disipace. K zajištění dobré dopravy materiálu ve šnekovém vytlačovacím stroji je důležité, aby povrch šneku byl, leštěný a povrch pracovního válce zdrsňený. Zvýšení výkonu vytlačovacího stroje, lze zdrsňením povrchu, chlazením nebo drážkováním pracovního válce.

2 VYTLAČOVACÍ HLAVY

Hlava je část stroje, v níž materiál dopravovaný šnekem získává definovaný tvar. Při navrhování hlavy je důležitý správný profil nástroje, který má zaručovat rovnoměrný a trvalý tok materiálu. Je nutné se vyvarovat vzniku mrtvých míst, která způsobí zastavení toku materiálu a následný dlouhý kontakt s vyhřívanou stěnou hlavy, jež vede k degradaci taveniny a následné výrobě zmetků. [2]

Těsné a pevné připojení hlavy k pracovnímu válci stroje je možné mnoha způsoby. Samotné spojení hlavy a stroje by mělo umožňovat snadnou montáž a demontáž. Pro malé stroje se používají prostá šroubová spojení. U větších strojů se volí přírubové spojení i pomocí sklápěcích šroubů. Často se uplatňují bajonetové nebo objímkové uchycení. [1]

Pro zajištění čistoty taveniny vstupující do vytláčovací hlavy, bývá mezi šnekem a hlavou stroje zařazen lamač. Lamač představuje děrovanou desku s otvory \varnothing 8-10mm, o kterou se opírá sada čistících sít. Průchodem taveniny sítí jsou zachyceny nečistoty a nerozpracované příměsi. Tato filtrace je důležitá pro výrobu folií a tenkostěnných výrobků. Zařazení lamače se sítí se zvyšuje odpor toku taveniny, způsobující delší setrvání materiálu ve stroji. Pro rychlou výměnu zanesených sít se často využívá bajonetový uzávěr viz. Obr. 4. [1]

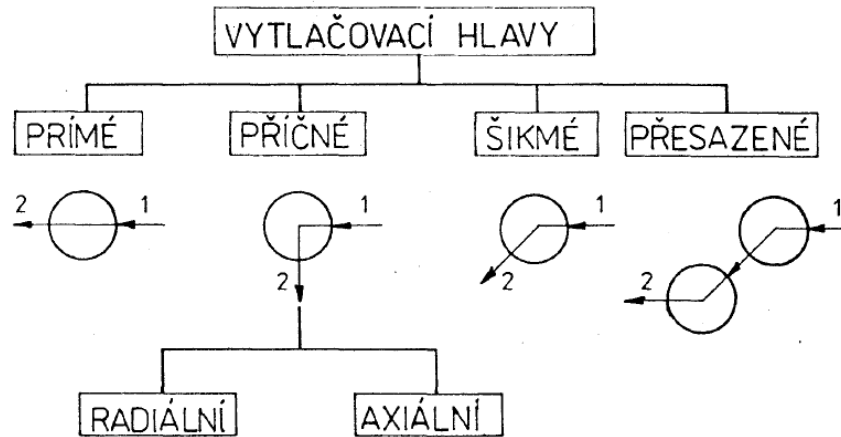


Obr. 4. Lamač. [1]

1 – těleso vytláčovací hlavy, 2 – lamač, 3-
čistící síta, 4 – bajonetový uzávěr, 5-
temperanční kanál

2.1 Rozdělení vytlačovacích hlav

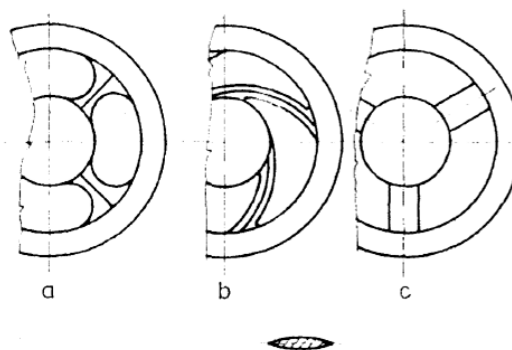
- Podle směru osy vytlačovacího stroje a hlavy.



Obr. 5. Rozdělení vytlačovacích hlav. [1]

1 – osa šneku, 2 – osa vytlačovací hubice

Přímé vytlačovací hlavy se používají k výrobě tyčí, trubek, hadic, profilů apod. Pro vyfukování folii nebo opláštění vodičů jsou nejvhodnější příčné hlavy. Šikmé vytlačovací hlavy se uplatňují k výrobě tenkých folií a na výrobu trubek s vnitřní kalibrací jsou využívány přesazené hlavy. [1]



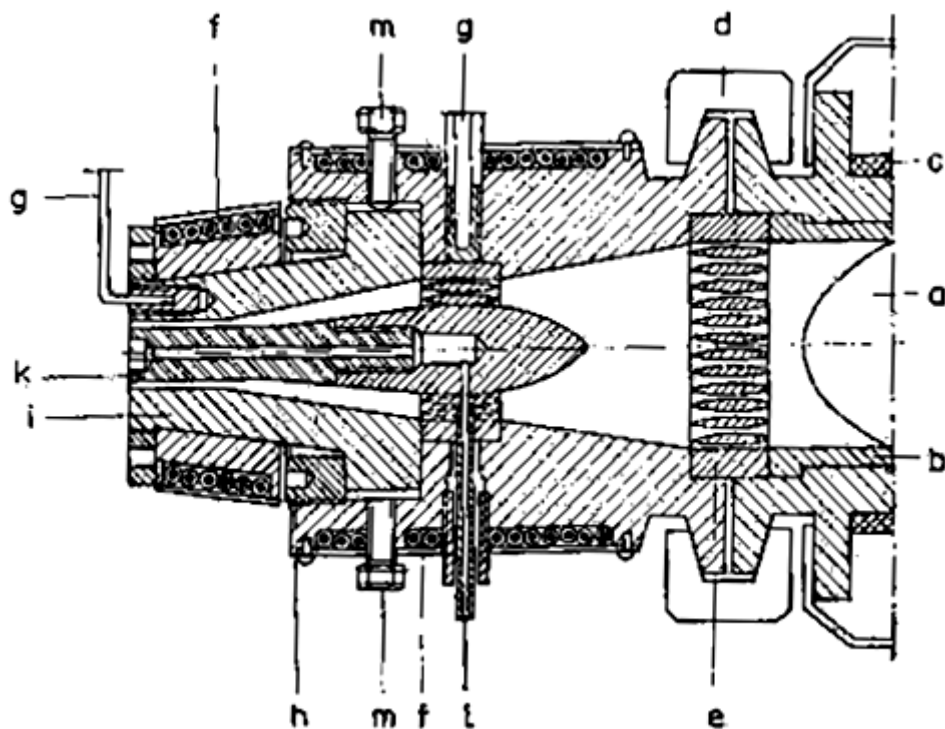
Obr. 6. Konstrukce vytlačovacích trnů. [1]

a, b, c – různé druhy rozdělovačů.

2.2 Přímé vytlačovací hlavy

Přímá vytlačovací hlava pro výrobu trubek z polymerního materiálu je znázorněna na Obr. 7. Tloušťku stěny trubky je možné nastavit výměnou hubice a trnu odlišných průměrů.

Rovnoměrná tloušťka stěny trubky lze seřídit po celém obvodu pomocí stavitelných šroubů. Pro uchycení dutého trnu do středu vytlačovací hlavy jsou použity nosná žebra rozdělovače, které způsobují rozdělení taveniny před žebry a následné spojení toků materiálu za žebry. Toto spojení taveniny se nazývá stoková čára, která představuje optický defekt a nejslabší místo výrobku, kde může dojít k praskání. Potlačení stokových čar lze použitím spirálového rozdělovače. [2]

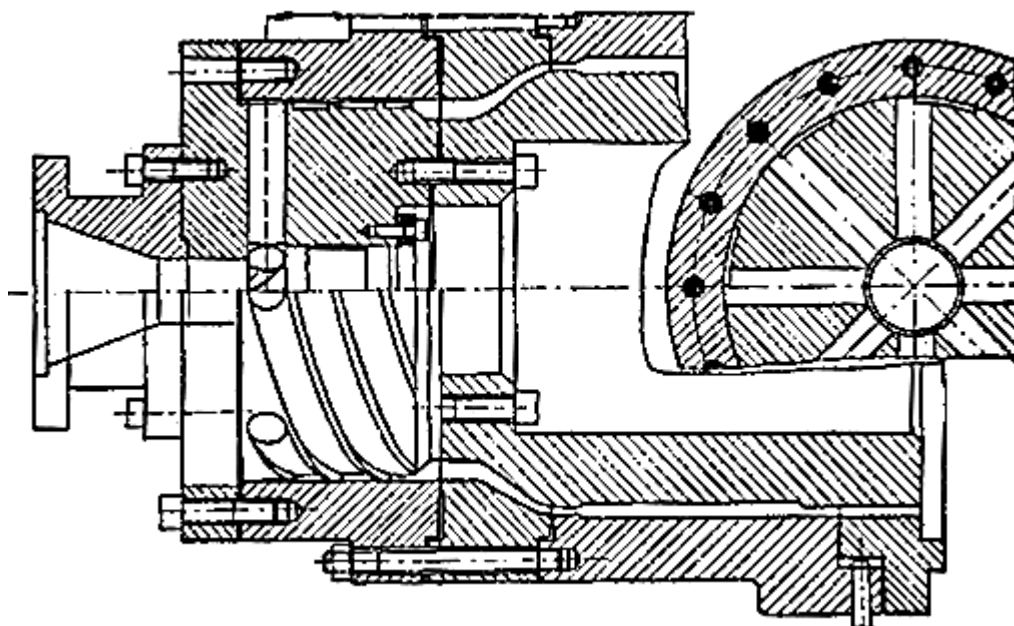


Obr. 7. Přímá hlava pro vytlačování trubek. [2]

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 šroub

Hlava se spirálovým rozdělovačem vykazuje vysokou účinnost míchání materiálu. Tavenina vstupuje do rozdělovače řadou vstupních otvorů a následně proudí ve spirále a také vytéká ze spirály do mezery mezi trn a těleso, směrem k výstupní štěrbině v radiálním směru. Stokové čáry mají lepší orientaci než u jiných typů rozdělovačů.

Průřez spirálových kanálů se ve směru toku taveniny postupně zmenšuje a zároveň se zvětšuje štěrbina mezi hřebenem závitů a vnitřní stěnou hlavy. Toto řešení umožňuje dobré promísení toku taveniny bez vzniku slabých míst. [2]



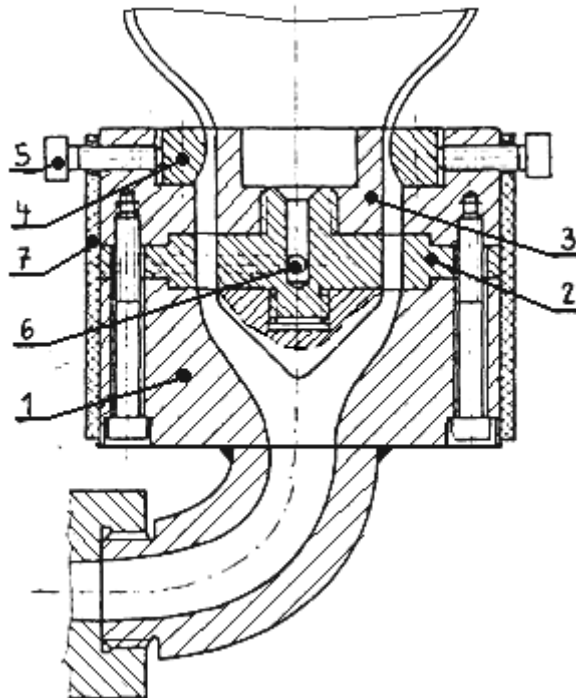
Obr. 8. Hlava se spirálovým rozdělovačem. [2]

2.3 Nepřímé hlavy

Do této skupiny lze zařadit hlavy příčné, šikmé nebo přesazené. Využití těchto hlav je ve výrobě profilů, vyfukování folií, opláštění vodičů a kabelů. Vyznačují se odlišným odklonem osy šneku stroje od osy vytlačovací hlavy. Pro příčné hlavy je tento úhel 90° , u šikmých hlav se jedná o úhel $30^\circ - 60^\circ$. Se zvyšujícím se odklonem se zhoršují tokové vlastnosti vytlačovací hlavy, projevující se v nerovnoměrném tlakovém profilu v dutině hlavy. K zajištění dobré funkce nástroje je zapotřebí, aby po celém příčném řezu výstupní štěrbině hlavy, byl rovnoměrný tlak, rychlostní profil, teplota a viskozita taveniny. [2]

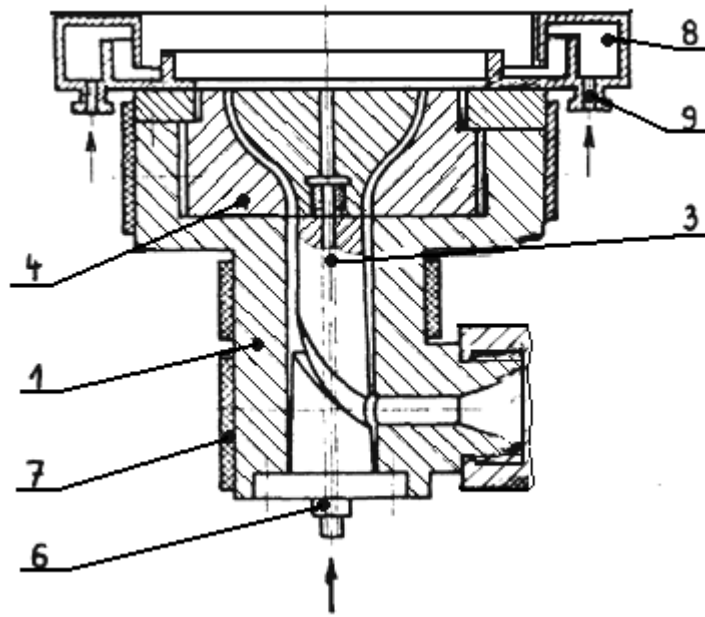
2.4 Vyfukovací hlavy:

Mezi velmi technicky náročné patří vyfukovací hlavy. Jedná se v podstatě o dosti složité nepřímé hlavy v provedení s radiálním nebo axiálním vtokem. Tyto hlavy jsou využívány k výrobě folii, proto jsou na ně kladeny vysoké požadavky pro rovnoměrný tok taveniny výstupní štěrbinou. Průchodem taveniny přes vytlačovací trn a hubici je vytlačena trubka v plastickém stavu o stejné tloušťce stěny. Následně je trubka rozfouknuta přivedeným tlakovým vzduchem, který vytvoří výslednou folii. Vyfukovací hlavy lze uplatnit i při výrobě vícevrstevných folii. [2]



Obr. 9. Příčná hlava s axiálním vtokem na vyfukování folii. [1]

1 – těleso hlavy, 2 – rozdělovač, 3- trn, 4 – hubice, 5- stavěcí šroub, 6 – přívod stlačeného vzduchu, 7 – topné těleso



Obr. 10. Příčná hlava s radiálním vtokem na
vyfukování folii. [1]

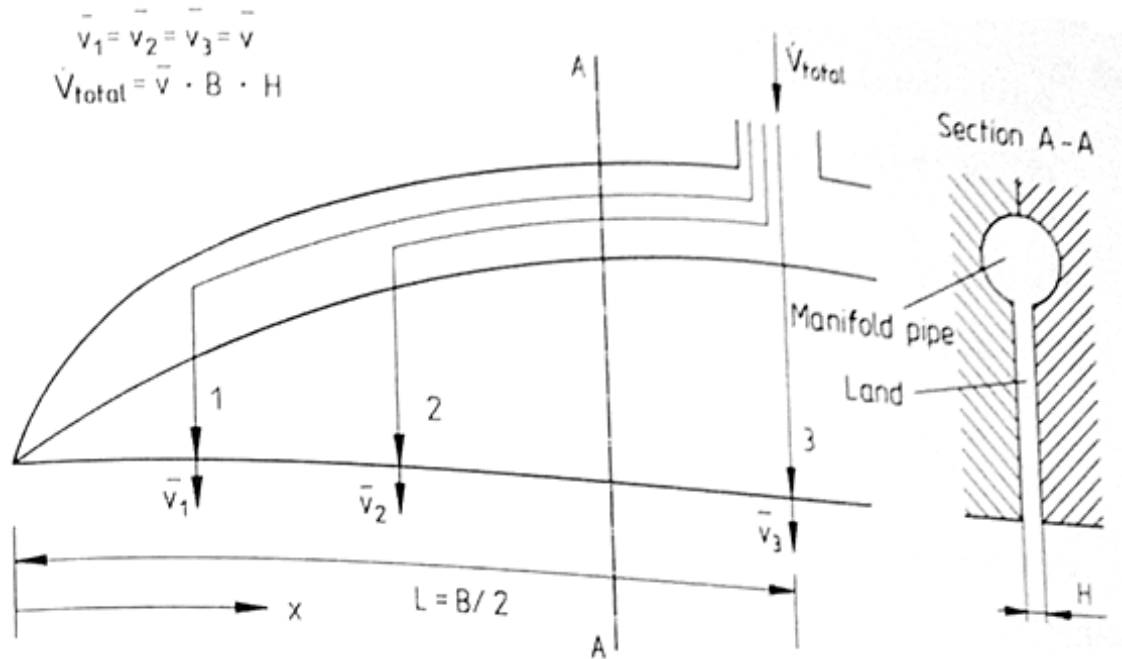
1 – těleso hlavy, 3- trn, 4 – hubice, 6 – přívod
stlačeného vzduchu, 7 – topné těleso, 8 - chladicí
prstenec, 9 – chladicí vzduch

2.5 Široko-štěrbinové hlavy

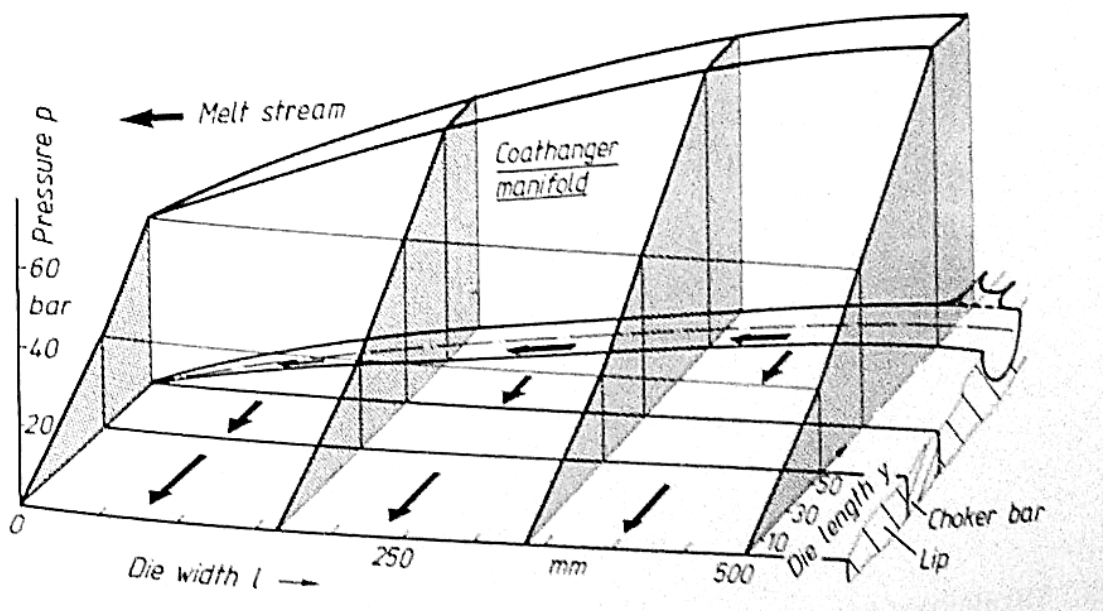
Pro výrobu pásů a folií se používá plochá široko-štěrbinová hlava v provedení přímém nebo šikmém k ose stroje. Plnění hlavy je řešeno axiálním nebo radiálním vtokem. Je nutné zajistit konstantní tokovou rychlost po celé šířce štěrbin. Tavenina vstupující do hlavy je rozváděna rozvodným kanálem po celé šířce vytlačovací hlavy. Rozvodný kanál může být v provedení příčném, ve tvaru „ramínko na šata“ nebo „rybího ocasu“. K dosažení stejné rychlosti toku taveniny je možné změnit průřez v jednotlivých místech štěrbin, pomocí stavěcích šroubů působících na brzdný můstek, tím se změní odpor toku a rychlostní profil. Konečná tloušťka výrobku je nastavována stavěcí lištou. [1]

Rozvodný kanál ve tvaru „ramínka na šaty“ a „rybího ocasu“ vykazuje lepší tokové vlastnosti, než příčný rozvodný kanál. Tato vlastnost je důležitá pro zpracovávání PVC materiálu. Vytlačováním pomocí široko-štěrbinové hlavy je možné vyrobit folie o tloušťce 0,3 až 0,5 mm. Konečná tloušťka výrobku je částečně regulována rychlostí odtahu. Pomocí speciálních široko-štěrbinových hlav je možné vyrábět vícevrstvé folie a desky. [2]

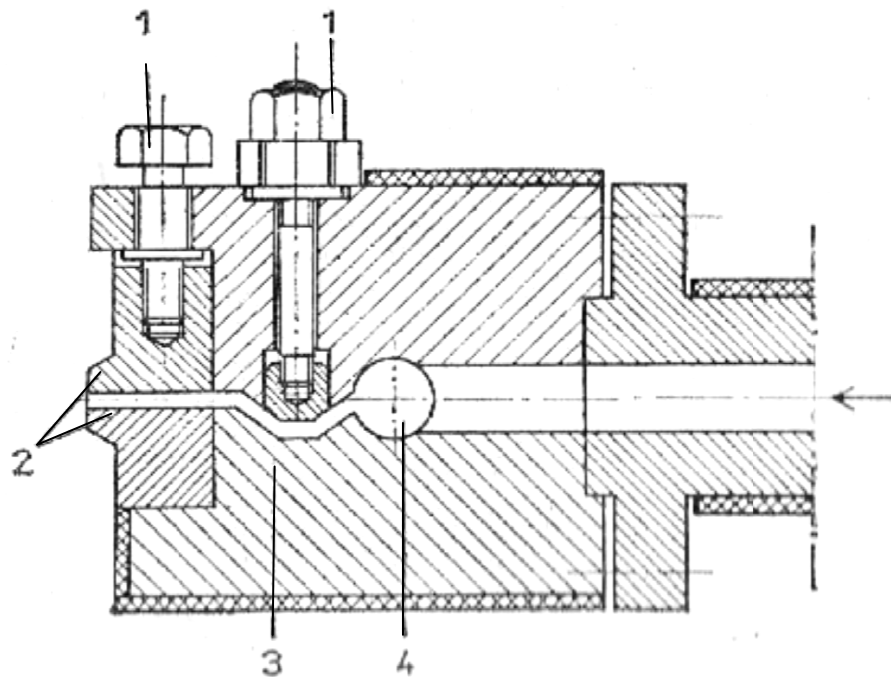
Pro automatickou regulaci tloušťky vytlačené desky nebo folie u široko-štěrbinové hlavy, je možné pomocí šroubů pro základní nastavení tvářecí lišty opatřené vyhřívaným blokem. Přesné nastavení se provádí na základě automatického měření tloušťky folie ovlivňující pomocí zpětné vazby regulovaný ohřev šroubů.



Obr. 11. Tok taveniny široko-štěrbinovou hlavou. [3]



Obr. 12. Typická tlaková distribuce široko-štěrbinové hlavy. [3]

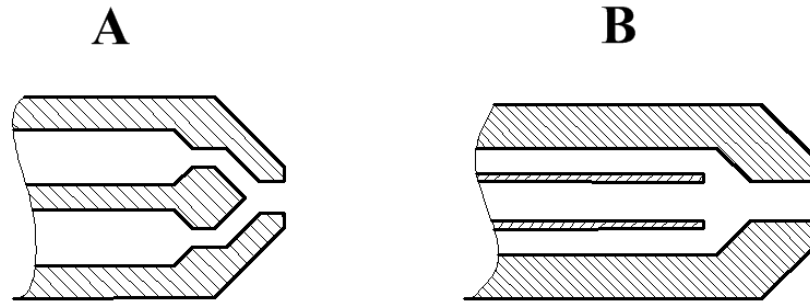


Obr. 13. Široko-štěrbinová hlava pro vytlačování desek. [2]

1 – stavěcí šroub, 2 – tvářecí lišta, 3- ohebný brzdňý můstek, 4 – příčný rozvodný kanál

2.6 Koextruzní hlavy

Pro kontinuální výrobu vytlačovaných materiálů složených z několika vrstev a spojených do jedné struktury se používá technologický postup zvaný koextruze. Tato technologie spočívá v souběžném vytlačování různých materiálů. Často používané polymery pro výrobu bariérových materiálů při koextruzi jsou polyolefiny, polyamid (minimalizuje difúzi vzduchu a vlhkosti, vysoká cena, tenká vrstva). Pro spojení dvou navzájem separovaných vrstev je zapotřebí nanesení lepidla. Vícevrstvé výrobky jsou často používány v potravinářském průmyslu, k výrobě trubek, vláken, opláštění drátů atd.



Obr. 14. Základní typy plochých koextruzních hlav.

A) jednokanálová, B) vícekanálová

Vícekanálová hlava - (MULTI-MANIFOLD) Materiály jsou distribuovány separátně. K jejich spojení dochází blízko výstupní štěrbině.

- výhody - velká stabilita toku (důvodem je krátká doba, po kterou materiály tečou spolu).
- Nevýhoda – malá modularita

Jednokanálová hlava - (SINGLE-MANIFOLD) Materiály jsou distribuovány současně.

- výhody – velká modularita
- Nevýhoda – malá stabilita toku

Problémy při koextruzi:

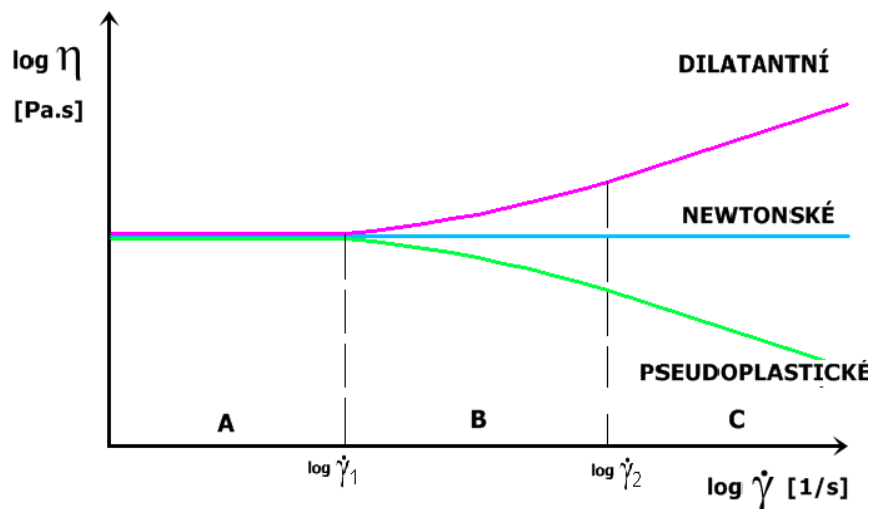
- Zapouzdřování – nestejnorodost vrstvy – může být způsobeno rozdílnou viskozitou materiálů, vlivem prvního a druhého rozdílu normálových napětí nebo špatnou geometrii hubice.
- Nestabilita na rozhraní materiálů – je důsledkem jevu ZIG-ZAG nebo WAVE, které se můžou vyskytovat současně.
- Materiálová nekompatibilita

3 REOLOGICKÉ CHOVÁNÍ TAVENIN PLASTŮ

Popisuje chování polymerních tavenin při toku. Mezi základní tokové charakteristiky taveniny patří viskozita a první rozdíl normálových napětí. Chování taveniny při toku může významně ovlivnit zpracovatelské vlastnosti. Důležitou roli hraje při vytlačování narůstání za hubicí a poruchy toku. [2]

3.1 Viskozita taveniny

Viskozita kapalin je definována jako odpor kapaliny proti tečení, patří mezi základní tokovou charakteristiku látek. Kapaliny s viskozitou nezávislou na smykové rychlosti, jako je voda nebo olej jsou označovány jako newtonské. Převážná většina kapalin je závislá na smykové rychlosti. Pseudoplastické materiály jako například polymerní taveniny se vyznačují poklesem viskozity v závislosti na rostoucí smykové rychlosti. Naopak materiály, pro které viskozitu stoupá v závislosti, na rostoucí smykové rychlosti se nazývají dilatantní. [2]



Obr. 15. Logaritmická závislost viskozity na smykové rychlosti.

Závislost viskozity na smykové rychlosti pro pseudoplastické a dilatantní materiály lze rozdělit na tři oblasti:

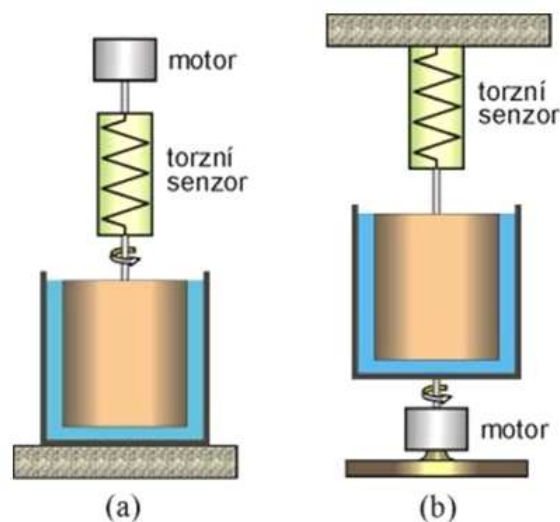
- Oblast A - (newtonská) pro smykovou rychlost $\log \dot{\gamma} < \log \dot{\gamma}_1$ je viskozita konstantní, nezávisí na $\dot{\gamma}$. Velikost viskozity je označována jako limitní hodnota pro $\dot{\gamma} \rightarrow 0$. (2)

- Oblast B - (*přechodová*) pro smykovou rychlost $\log \dot{\gamma}_1 < \log \dot{\gamma}_2$ viskozita závisí na smykové rychlosti, ale hodnota derivace $\frac{d \log \eta}{d \log \dot{\gamma}}$ se mění. (2)
- Oblast C - (*oblast platnosti mocninného zákona*) viskozita závisí na smykové rychlosti, ale hodnota derivace $\frac{d \log \eta}{d \log \dot{\gamma}}$ je konstantní. (2)

Měření viskozity a tokových křivek se provádí na rotačních a výtlačných viskozimetrech. Při měření se snímá odpor proti tečení, který charakterizuje viskozitu.

3.1.1 Rotační viskozimetr

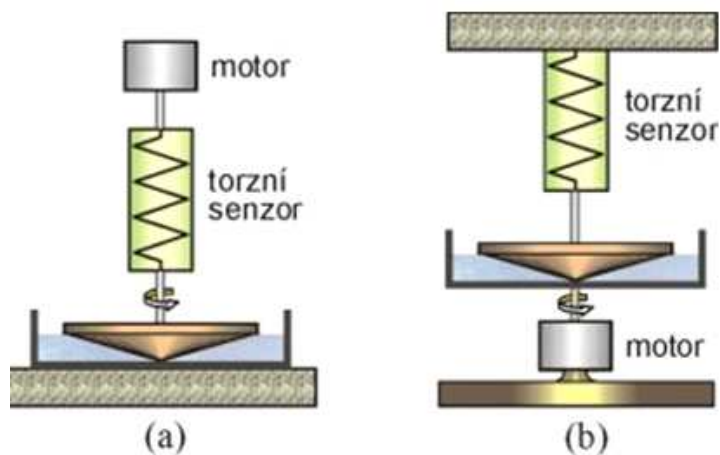
Při měření na rotačním viskozimetru typu válec-válec se tavenina nachází mezi vnějším a vnitřním válcem. Působením rotačního (torzního) pohybu vnějšího válce, tavenina vlivem smykového namáhání působí na vnitřní válec a namáhá jej na krut. Výsledné smykové napětí je úměrné naměřené hodnotě zkroucení vnitřního válce a smyková rychlost se určí z uhlové rychlosti. Na rotačním viskozimetru typu válec-válec se měří toková křivka pro nízko-viskózní materiály - $\eta < 100$ [Pa.s]. Množství vzorku se pohybuje okolo 10-20g. [2]



Obr. 16. Schéma rotačního viskozimetru typu válec-válec. [4]

a – s otáčivým vnitřním válcem, b – s otáčivým vnějším válcem

Rotační viskozimetr typu kužel-deska se používá k měření vysoce-viskózních materiálů. Princip měření je totožný jako u viskozimetru typu válec-válec. Spodní deska se otáčí a tavenina vlivem smykového napětí přenáší krouticí moment na kužel. Měří se krouticí (torzní) moment působící na kužel, viskozimetr může pracovat v rotačním nebo oscilačním režimu. Nelze použít pro vysoké smykové rychlosti z důvodu odstředivé síly, množství vzorku je menší než 1g. Používá se k měření smykové viskozity a prvního rozdílu normálových napětí.



Obr. 17. Schéma rotačního viskozimetru typu kužel-deska. [4]

a – s otáčivým kuželem, b – s otáčivou deskou

3.1.2 Kapilární viskozimetr

U kapilárního viskozimetru je měření založené na vytékání taveniny z kapiláry daného rozměru za působení tlaku. Měří se množství taveniny vytečené z kapiláry za jednotku času. Z vytlačeného množství materiálu a rozměru kapiláry se určí hodnoty smykové rychlosti. Smykové napětí je dáno rozměrem trysky a tlakem. Nyní lze pro každou smykovou rychlost určit viskozitu, vypočtené a naměřené hodnoty vynést do grafu.

(2)

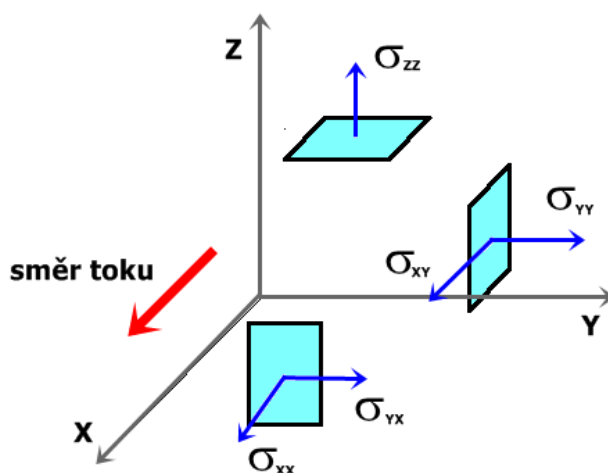
Výtlačné viskozimetry lze použít k měření reologických hodnot pro středně a vysoce viskózní materiály. Na tomto typu viskozimetru lze měřit tokové křivky, první rozdíl normálových napětí, elongační viskozitu a skluz na stěně.

3.1.3 Index toku taveniny

Pro výrobce a technology je využívána charakteristická hodnota polymerního materiálu, která je daná normou a souvisí s viskozitou taveniny, jedná se o index toku taveniny. Hodnota indexu toku taveniny je dána hmotností taveniny (v gramech), která proteče za 10min přesně definovanou tryskou, při daném zatížení pístu a dané teplotě. Jelikož hmotnost závaží působící na píst je dána, je tím i dán tlak a smykové napětí v komoře přístroje. Čím lépe tavenina působením tlaku teče, tím více ji vyteče a tím roste smyková rychlost a rychlost v trysce. Index toku taveniny popisuje pouze jeden bod na tokové křivce, jež je dán velikostí $\dot{\gamma}$ a podílem $\frac{\sigma}{\dot{\gamma}}$. Daný index je považovaný za dost hrubou informaci o tokových vlastnostech polymerního materiálu. Proto je nutná k porovnání tavenin při toku celá toková křivka a nikoliv jen jeden bod. [2]

3.2 První rozdíl normálových napětí

Smykové napětí, jež souvisí s viskozitou taveniny, působí při toku v rovině (jednorozměrné), na který je kolmý gradient rychlosti. U jednorozměrného toku taveniny se vyskytují i jiná napětí působící v normálových směrech. [2]



Obr. 18. Složky napětí pro jednosměrný tok. [2]

Protože v reologii považujeme taveninu za nestlačitelnou, není důležité zabývat se složkami σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} , ale fyzikální význam mají pouze jejich rozdíly:

první rozdíl normálových napětí:

$$N_1 = \sigma_{xx} - \sigma_{yy} \quad (1)$$

druhý rozdíl normálových napětí:

$$N_2 = \sigma_{yy} - \sigma_{zz} \quad (2)$$

U většiny reologických problémů hraje význam pouze první rozdíl normálových napětí. Pro první koeficient normálových napětí ψ_1 platí: [2]

$$\psi_1 = \frac{N_1}{\dot{\gamma}^2} \quad (3)$$

Z představ o vnitřní struktuře materiálu, lze vysvětlit vznik normálového napětí. Nejlepší popsání těchto napětí, lze pomocí molekulárního modelu, který však klade obrovské potíže při matematickém řešení. [2]

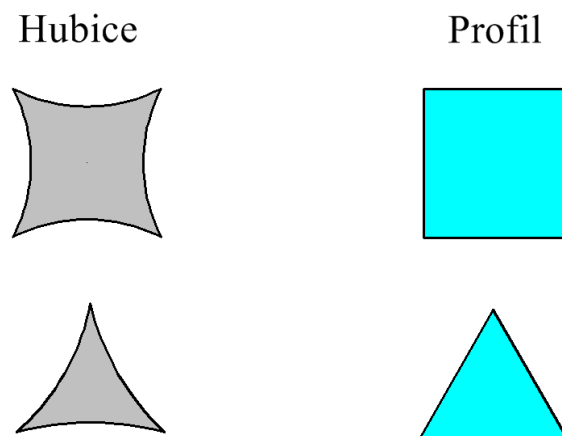
Měření velikosti prvního rozdílu normálových napětí lze na rotačních nebo kapilárních viskozimetrech. Při měření na rotačních viskozimetrech se využívá vzniku normálového napětí, které vyvodí sílu odtlačující obě rotující části od sebe. Výsledné stanovení prvního rozdílu normálových napětí je pomocí výpočtu a naměřené hodnoty odtlačující síly. U kapilárního viskozimetru je měření založeno na vzniku normálových napětí působících ve směru normál. Tlak působí ve směru normál na výstupu z kapiláry je nulové. Měří se síla působící na jednotku plochy, ve směru kolmém na osu Y. Pro taveniny bez normálových napětí je tlak na výstupu z kapiláry nulový a tím i naměřená síla má nulovou hodnotu. U Taveniny s normálovým napětím je naměřená nenulová síla, ovlivněna velikostí tlaku a hodnotou normálových napětí na výstupu z kapiláry. Z naměřené velikosti této síly lze pak určit rozdíl normálových napětí. [2]

Nenulové hodnoty prvního a druhého normálového napětí zapříčiňují nezvyklé chování polymerních tavenin při toku. Např. Weissenberg efekt – vlivem prvního rozdílu normálových napětí šplhá tavenina po míchadle.

3.3 Narůstání za hubicí

Vlivem normálových napětí má vytlačený výrobek často větší rozměry, než je velikost vytlačovací hubice. Příčinou tohoto jevu je orientace molekul ve výstupní sekci vytlačovací hlavy, a následné rozbalení po uvolnění z hubice. Toto rozbalení způsobí narůstání v příčném směru a podélné smrštění výrobku.

- S rostoucí smykovou rychlostí taveniny roste narůstání za hubicí, až do hodnoty kritické smykové rychlosti, nad niž narůstání klesá.
- Za konstantní smykové rychlosti klesá narůstání za hubicí s teplotou
- Narůstání za hubicí klesá s délkou hubice při konstantní smykové rychlosti
- S rostoucí dobou průchodu taveniny hubicí, klesá narůstání.



Obr. 19. Tvar hubice a výsledného profilu. [2]

Vytlačovací hlava na výrobu profilů často vytváří odlišnou smykovou rychlost taveniny na výstupu z hubice v rozdílných místech geometrie profilu. V menších průřezích je narůstání výraznější, než v oblastech s větším průřezem. Narůstání profilu je možné kompenzovat změnou průřezu hubice. Při návrhu vytlačovací hlavy je nutné uvažovat také vliv teplotního smrštění při ochlazování a důsledek protažení výrobku odtahovacím zařízením. [2]

4 PŘÍŠADY OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI PLASTŮ

Příšady jsou látky, které zásadně ovlivňují vlastnosti a zpracovatelnost plastů. Tyto příšady jsou rozptýleny v polymerní matrici, tak že mění molekulovou a chemickou strukturu polymeru. Podle účinku na změnu vlastností polymeru lze příšady rozdělit na:

- Příšady ovlivňující fyzikální vlastnosti plastů- změkčovadla, plniva, barviva, pigmenty, maziva, nadouvadla, separační činidla, antistatika, síťovací prostředky.
- Příšady ovlivňující degradaci materiálu – antioxidanty, stabilizátory, zhášecí činidla, světelné a tepelné stabilizátory.

Pro správnou účinnost je důležité poměrné zastoupení příšad a kvalitní rozptýlení a difúze těchto látek do polymerních směsí. Kvalita dispergace příšad je ovlivněna způsobem mísení, chemickou povahou a fyzikální vlastností příšad (prášek, granulát, suspenze, kapalina). [2]

4.1 Změkčovadla

Pomocí změkčovadel lze dosáhnout vyšší ohebnosti polymerů, které jsou při nižších teplotách ve sklovitém stavu. Tyto organické látky jsou málo těkavé, tuhé nebo kapalné. Smísením s polymery vytváří měkčenou směs vyznačující se sníženou viskozitou taveniny, elastického modulu a snížením skelného přechodu T_g . Podle snášlivosti změkčovadel s polymery lze tyto látky rozdělit na:

- Snášlivé změkčovadla – vysoký podíl rozpuštění změkčovadla v polymerní směsi
- Nesnášlivé změkčovadla – vyznačují se omezeným rozptýlením změkčovadla v polymeru. To vede k vytvoření dvou fází ve směsi: hmoty s vysokým podílem změkčovadla a zároveň hmoty s malým obsahem změkčovadla.

Jako změkčovadla se v technické praxi používají estery kyseliny ftalové, fosforečné, vícesytných mastných kyselin nebo polyesterové, epoxidové změkčovadla a mnoho dalších látek lišících se v použití pro různé druhy polymerů. [2]

4.2 Maziva

Pro snížení přilnavosti zpracovávané taveniny na součásti výrobního zařízení jsou do polymerních směsí přidávány maziva. Tyto látky vytvářejí na povrchu taveniny mezivrstvu, která snižuje tření při toku a potlačuje vznik velkého množství disipovaného tepla v systému. Maziva jsou používány pro různé způsoby zpracování polymerů. Výrazně zlepšují zpracovatelské vlastnosti a kvalitu výrobku (povrchovou kvalitu, odolnost proti korozi) především u vstřikování, vytlačování nebo lisování. Jako maziva jsou často použity kyseliny stearové nebo její soli (Li, Ca, Ba, Al, a Mg), minerální a rostlinné oleje, živočišné tuky, přírodní vosky, parafíny. Podle účinku lze maziva rozdělit:

- Maziva s vnějším účinkem – částečně rozpustné v polymeru. Omezeně vystupují na povrch směsi a vytváří tak mezivrstvu oddělující polymer a pracovní povrch.
- Maziva s vnitřním účinkem – relativně dobře rozpustné v polymeru, čím snižují viskozitu taveniny.

Důležitou vlastností maziva je částečná rozpustnost v polymeru a daná adheze k molekulám polymeru. Teplota tání maziva má být taková, aby vytvářela dostatečně pevný film. Při nízké teplotě tání maziva se nevytváří dostatečný film a u vysoké teploty tání se nevytváří požadovaná celistvost filmu. [2]

4.3 Separační činidla

Při zpracovávání plastů např. vstřikováním, lisováním, tepelným svařováním může dojít k nalepení polymeru na tvářecí nebo tvarovací součásti výrobního zařízení. Zabránění této přilnavosti materiálu na tvářecí součásti, lze přidáním separačního činidla do směsi. Tyto látky snižují mechanické přilnutí taveniny vlivem mezimolekulární síly, vznikajících při zvýšených teplotách. Konstrukční řešení formy musí obsahovat potřebné prvky zaručující jednoduché vyhození hotového výrobku z tvářecích ploch. Důležitým prvkem je zkosením formy nebo průduchy, dostatečná jakost a čistota povrchu tvářecích zařízení. [2]

Jako separační činidla se používají různé druhy vosků, mýdel nebo vynikající vlastnosti vykazují silikonové nátěry (např. polydimethylsiloxan). Polysiloxanová činidla se vyznačují dobrou tepelnou stabilitou i za teplot kolem 300°C. Tyto látky se používají ve

formě vosků, nátěrů, prášků, maziv nebo folii při výrobě např. plošných epoxidových laminátů. Nanášení se provádí namočením formy do separačních činidel nebo nastříkáním formy. [2]

4.4 Plniva

Pro úpravu mechanických nebo tokových vlastností, povrchových vzhledů nebo snížení ceny výrobku se používají plniva. Přidáním plniv do směsi se mění hustota, tvrdost, pevnost, zpracovatelnost a zlepšuje se elektrická vodivost, oděruvzdornost, tepluvzdornost, chemická odolnost atd. Plniva se používají především pro reaktoplasty jako jsou fenoplasty a aminoplasty nebo kaučuky. U termoplastů je použití plniv omezené. Podle původu lze plniva rozdělit na:

- Organická – celulóza, dřevěná nebo proteinová moučka atd.
- Anorganické – grafit, břidlice, křemičitý písek, azbest, mastek atd.

Přidáním plniva o jemné velikosti se téměř nemění základní vlastnosti polymerního materiálu. Hrubo zrnité částice plniva výrazně zhoršují mechanické vlastnosti. Obsah plniv v tzv. kompozitním materiálu výrazně zlepšuje pevnost, tepelnou roztažnost, tvarovou stálost atd.

Smrštění výrobku se přidáním plniv zmenšuje, ale je rozdílné ve směru kolmém a podélném k ose plnění. [2]

Skleněná plniva – využívají se ve formě vláken, vloček, tkanin, mikrokuliček a rohoží.

Vyznačují se vysokou propustností světla a dobrými mechanickými vlastnostmi, při plnění polyamidů, polyesterových a epoxidových laminátů.

Azbestová vlákna – podle druhu azbestu zlepšují pevnost materiálu. Pevnost v tahu je oproti skleněným výztužím u všech azbestových plniv nižší. Výhodou je mírně vyšší tuhost, lepší rozměrová stálost, menší smrštitelnost a dobrá odolnost vůči kyselinám.

Slída – dobré dielektrické a tepelné vlastnosti

Minerály – používají se ve formě prášku s funkcí plniva a výztuže. Materiály jako je živec, křemičitany, křemen se používají do směsí z polyolefinů, polykarbonátů, polyamidů, polyepoxidů, polyvinylchloridů, polyesterů atd.

Práškové polymery – speciální plniva na bázi syntetických nebo přírodních polymerů. Pro vodu a vodní páru mají dobré sorpční vlastnosti. Vykazují hydrofilní vlastnosti, z tohoto důvodu se používají k výrobě hygienických syntetických ústí na bázi škrobu a jeho derivátů.

Metallické prášky – jedná se o kovové materiály především z bronzu nebo hliníku k plnění acetátů a polyamidů. Zlepšují tepelnou a elektrickou vodivost a umožňují následné pokovování. Prášek mědi se používá jako stabilizátor a vyztužovadlo pro polyamid 66. Plniva na bázi olova a barya pohlcují rentgenové záření.

Organická plniva – dřevná moučka se uplatňují u výrobku spotřebního zboží nebo elektroizolačních prvků. Významné uplatnění má i celulóza, sója, proteiny a skořápky různých plodů. [2]

4.5 Pigmenty

Barvení polymerních výrobků pro zajištění estetického vzhledu je možné pomocí pigmentů nebo barviv. Pigmenty jsou nerozpustná prášková barviva dávající odstín nebo krycí schopnost dané hmotě nebo nátěru. Barviva jsou organické rozpustné látky ve hmotě. Organické barviva nebo pigmenty přilnuté na nosičích jako je např. plnivo se nazývají substráty. Podle původu lze pigmenty rozdělit na:

- Anorganické
- Organické
- Bronze (práškové kovy)

Anorganické pigmenty:

Oxid titaničitý – jediný bílý pigment s mající dobré barvicí účinky a krycí schopnost, chemickou odolnost, tepelnou stabilitu a nízkou cenu.

Oxid železa – ve formě přírodního původu nebo synteticky vyrobený. Přírodní oxid železa obsahuje nečistoty ale je levnější. Synteticky vyrobený oxid má lepší čistotu a barvicí účinky.

Olovené barvy a pigmenty – světelně stálé, s dobrou tepelnou stabilitou. Chromová žluť a molybdenová oranž poskytuje čisté a výrazné odstíny žluté a oranžové. Dlouhodobé použití může vytvořit karcinogeny.

Prášky kovů – nejčastěji měď, bronz a nejpoužívanější hliník. Měď a bronz často chemicky reagují s polymery a vytváří tak vyrudnutí barvy. [2]

Organické pigmenty

Saze – nejpoužívanější organický pigmenty. (např. kanálové, termické, acetylenové, lampové saze)

Azopigmenty – představují asi 2/3 světové produkce organických barviv. [2]

4.6 Nadouvadla

Chemická nadouvadla jsou organického nebo anorganického původu, které se za exotermického procesu rozkládají za působení tepla na plyny. Charakteristickou hodnotou je teplo, za kterého dochází vývinu plynu. Jako chemická nadouvadla se používají uhličitany, hydridy, peroxidy, nitrily a další látky. Nadouvadla musí vykazovat:

- Stabilitu při skladování
- Snadnou dispergaci v polymeru a dokonalé promísení
- Teplota vývinu plynu musí korespondovat se zpracovatelskou teplotou polymeru
- Tlak polymeru ve výrobním zařízení nesmí ovlivnit rychlost rozkladu plynu
- Plyn nesmí být toxický a korozivní
- Nesmí barvit a zapáchat

- Nesmí ovlivnit fyzikální a chemické vlastnosti
- Nadouvadlo by nemělo být výrazně exotermické

Hydrogenuhlíčan sodný – jedná se o anorganické nadouvadlo používající se pro gumárenskou technologii.

Azodikarbonamid – nejpoužívanější organické nadouvadlo. Při reakci se uvolňuje dusík. Je zdravotně nezávadné, samozhášivé, dobře disperguje.

Fyzikální nadouvadla využívají změnu skupenství vypařováním kapalin nebo stlačeného zkapalněného plynu.

Alifatické uhlovodíky – při zpracovatelské teplotě jsou lehce zkapalněné a jejich bod varu se pohybuje pod 110°C. Jedná se o zdravotně nezávadné látky ale vysoce hořlavé

Fluorované uhlovodíky – jsou nehořlavé, termicky stabilní, zdravotně nezávadné a chemicky neagresivní. Používají se při výrobě polyuretanových a PVC pěn.

Jiným způsobem nadouvání je mechanické napěňování vzduchem za vysokých otáček s příměsí pěnotvorných činidel. Tyto látky jsou povrchově aktivní, tím že vytvoří film okolo částic dispergované fáze. Nejčastěji se jedná o estery vyšších alkoholů atd. [2]

4.7 Antistatika

Působením na některé vysokomolekulární látky třením nebo deformací se můžeme vytvořit na povrchu materiálu silný elektrický náboj. Jelikož pro polymerní materiály je charakteristická dielektrická vlastnost, může akumulace náboj dosáhnout potenciálu až několik desítek kilovolt. Takto vysoká hodnota může vést k poškození lidského organismu, výbuchu nebo požáru ve výrobě. K vytvoření elektronů na chemických vazbách polymerních materiálu dochází, jeli konduktivita polymeru nižší než 10^{-8} [S.cm⁻¹]. Protože se velmi pomalu odstraňuje náboje na povrchu materiálu, je potřeba akumulaci náboje předejít. [2]

Jedním ze způsobů je neutralizace náboje ionizovaným vzduchem např. v textilním průmyslu nebo pro použití plastových trubek v plynárenství je zapotřebí obalit tyto trubky kovovou folií atd. Nejjednodušším způsobem pro eliminaci statického náboje je použití elektricky vodivých kovových částic, sazí nebo antistatik. Pro vodivá elektrická lepidla a nátěry se přidává do směsi prach hliníku, stříbra, mědi, zlata nebo niklu ve spojení s polyamidy, silikony, epoxidovými pryskyřicemi atd. Statický náboj vede ke zvýšenému špinění výrobku. [2]

Antistatika jsou látky na bázi syntetických vláken používající se při výrobě kobercovin nebo gramofonových desek. Působení antistatik s příměsí nečistot nebo vody se vytvoří na povrchu elektricky vodivá, kluzká plocha, která snižuje tření a potlačuje vznik náboje. Jiné působení antistatik je, rozpuštění náboje do atmosféry pomocí vytvořené vodivé dráhy absorpcí vody z vlhkého prostředí. Antistatika lze rozdělit na:

- Vnitřní – přidávají se do směsi před zpracováním. K správnému působení antistatik dochází po migraci těchto látek k povrchu.
- Vnější – aplikují se natíráním, nastříkáním nebo ponořením do vodných nebo alkoholových roztoků o koncentraci 0,1 až 2%. Následuje sušení. [2]

4.8 Stabilizátory oxidace

Pro zvláště citlivé polyolefiny, kaučuky a jiné polymery je limitujícím faktorem životnosti výrobku termooxidace a fotooxidace. Přidáním stabilizátorů oxidace do směsi se prodlužuje životnost výrobku. Antioxidanty lze tedy charakterizovat jako látky deaktivující tyto oxidace, s výjimkou fotooxidace. Použitím aktivních sazí ve směsi polymerů (např. PVC, polyolefinů), lze snížit účinek fotooxidace pohlcováním ultrafialového záření sazemi. [2]

Světelné stabilizátory: Ochrana polymeru před fotooxidací lze pomocí látek zvaných světelné stabilizátory. Tyto látky by měli vykazovat stabilitu na světle, dobrou mísitelnost s polymery, dostatečnou tepelnou a chemickou stálost, zdravotní nezávadnost, nesmí polymer zabarvovat a nesmí se vypírat. Jako světelné stabilizátory se používají deriváty benzofenolu, stericky stíněné aminy, estery aromatických kyselin a alkoholů atd. [2]

Retardéry hoření: Jedná se o látky snižující hořlavost polymerů. Lze je definovat jako chemické látky, které mění pyrolýzu polymeru nebo mění oxidační reakci hoření tak, že zpomalují nebo dokonce znemožňují hoření. Tyto chemické sloučeniny jsou na bázi dusíku, fosforu, chloru, boru, bromu nebo vzácně na křemíku, olova, bismutu, atd. Retardéry hoření pracují na principu:

- Snižování obsahu nebo zamezení přístupu kyslíku
- Odvodem tepla z hořící zóny
- Snižováním koncentrace uhlovodíkových úseků (přidáním plniv)
- a dalšími způsoby [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

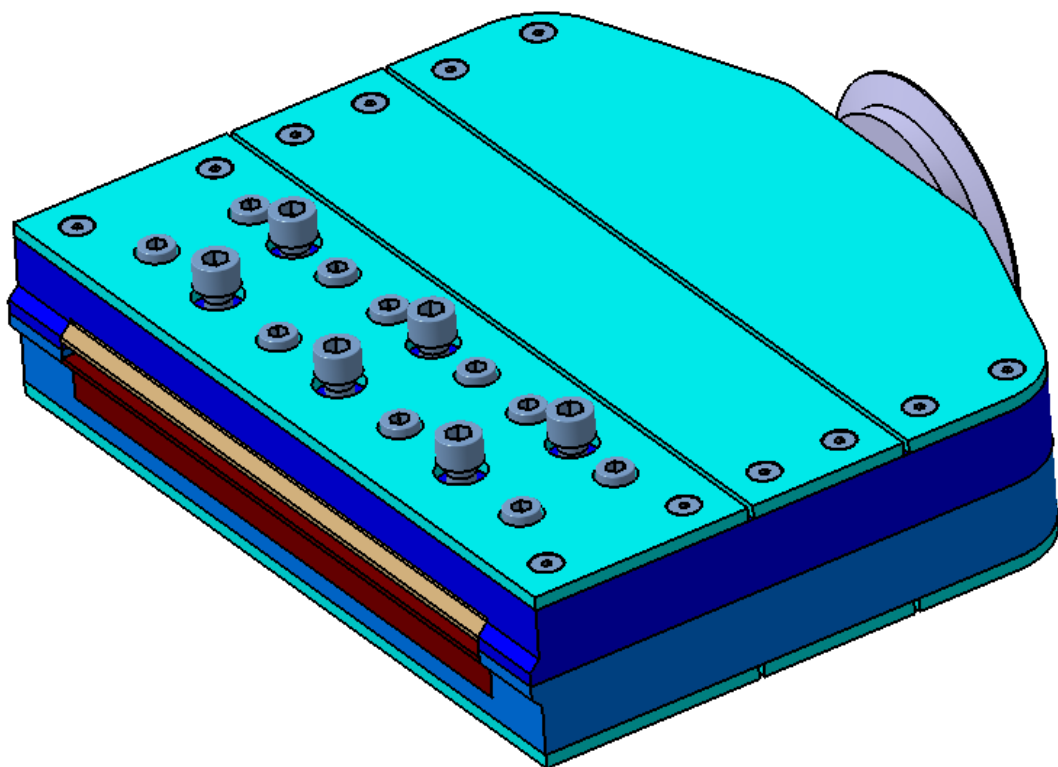
5 ÚVOD PRAKTICKÉ ČÁSTI

Zadaným úkolem na vypracování praktické části bylo vytvoření principiálně funkčního modelu široko-štěrbinové vytlačovací hlavy, který má sloužit jako výuková pomůcka pro názornou ukázkou konstrukčního řešení dané vytlačovací hlavy.

Prvotním krokem této části bylo vyhotovení konstrukčního návrhu v CAD softwaru CATIA V5R 18, kde byl vytvořen 3D model dané hlavy. Následovala volba technologie obrábění a vyhotovení CNC programů v softwaru NX 7.5. Z důvodu výukového použití je celá hlava vyrobena z polymerních materiálů. U převážné většiny dílů je pro dobré optické a mechanické vlastnosti zvolen čirý PMMA ve formě desky, v technické praxi také označovaný jako plexisklo.

Tento polymer je charakterizován vysokou číroostí a naprostou bezbarvosťou i v silnostěnných vrstvách. Po vyleštění vykazuje dokonalou průhlednost a odolává povětrnostním vlivům. [5]

Obrábění všech dílů bylo provedeno na školní CNC frézce typového označení HWT 442. Dokončování povrchu bylo realizováno ručním broušením a leštěním pomocí vrtačky.

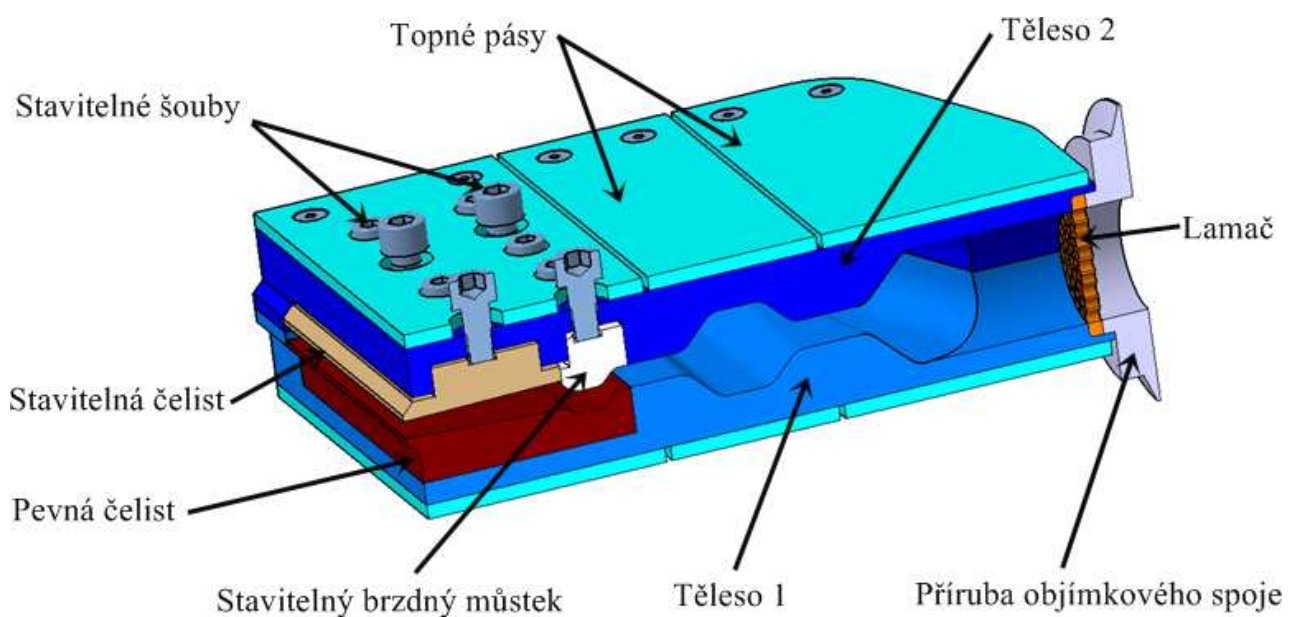


Obr. 20. Model Široko-štěrbinové hlavy.

6 KONSTRUKCE ŠIROKOŠTĚRBINOVÉ VYTLAČOVACÍ HLAVY

Pro dobré optické a mechanické vlastnosti byl na výrobu široko-štěrbinové vytlačovací hlavy zvolen polymerní materiál PMMA. Nevýhodou tohoto materiálu je jeho nízká tepelná vodivost, která může způsobit při špatném odvodu třísky z místa řezu natavení termoplastického materiálu a tím i znehodnotit výslednou kvalitu opracované plochy. K tomuto efektu nejčastěji dochází při frézování hlubokých a úzkých děr.

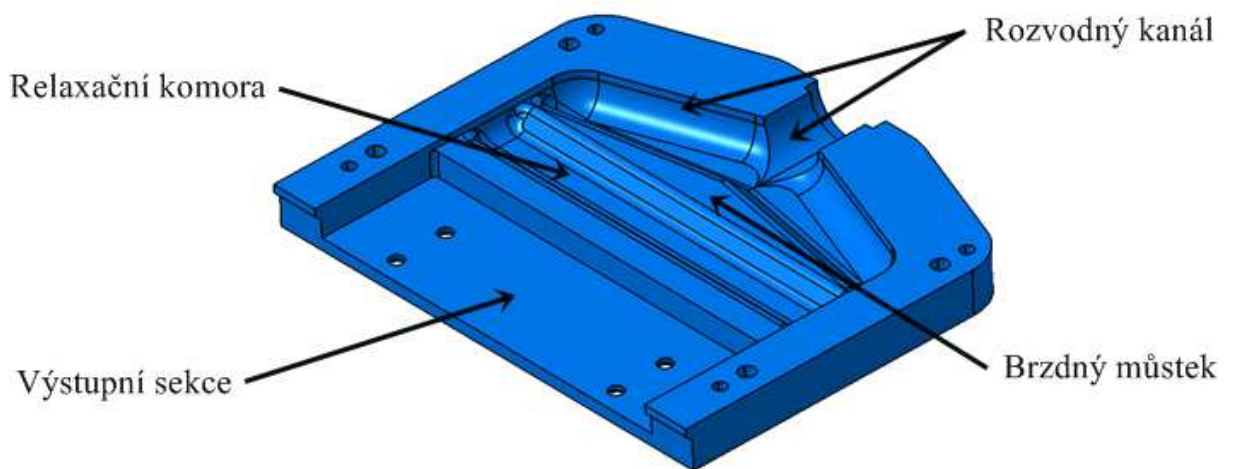
Konstrukční návrh hlavy byl realizován v software CATIA V5R 18. Sestava široko-štěrbinové vytlačovací hlavy je složena ze dvou základních součástí označovaných jako těleso 1 a 2. Uvnitř těchto těles jsou uloženy ostatní funkční části sestavy, sloužící k správné a regulační funkci vytlačovací hlavy. Pro regulaci objemového průtoku jsou po celé šířce štěrbin uloženy tři stavitelné brzdné můstky. K nastavení výsledné tloušťky extrudovaného výrobku z výstupní štěrbin slouží pevná a stavitelná čelist. Rozsah tloušťky vytlačené desky je možné nastavit v rozmezí 1 - 7mm a šířka výrobku má konstantní rozměr 240 mm. Připojení hlavy na vytlačovací stroj je řešeno pomocí objímkového spoje, za kterým následuje lamač. Při konstrukci je důležité eliminovat vznik mrtvých míst. Cílem tohoto návrhu bylo vytvoření principiálně funkční 3D model. Jelikož veškeré data jsou uchována v 3D modelu nebyla vytvořena výkresová dokumentace.



Obr. 21. Sestava široko-štěrbinové hlavy.

6.1 Těleso 1

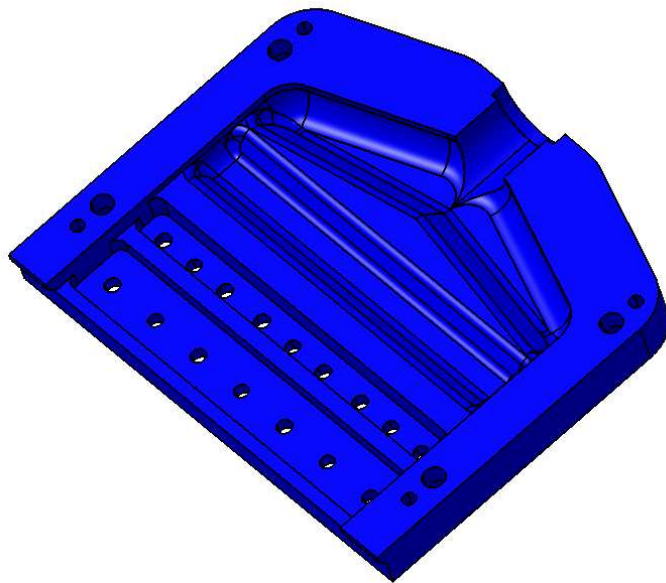
Základní součástí vytlačovací hlavy je těleso 1 a 2. Těleso 1 slouží k fixnímu uložení pevné čelisti pomocí čtyř šroubů. Na vnitřní straně součásti je vyfrézovaný hluboký rozvodný kanál, který vede taveninu z vytlačovacího stroje, přes objímkový spoj a lamač, do brzdného můstku. Cílem rozvodného kanálu je distribuce taveniny ze středu kanálu k okraji vytlačovací hlavy. Pro zajištění výstupní rychlosti z této sekce je nutná redukce průřezu rozvodného kanálu na jeho konci. Následnou sekcí hlavy je plýtký kanál brzdného můstku ve tvaru „ramínka na šaty“. Funkce brzdného můstku spočívá ve vyvážení rychlostního profilu podél hlavy. Jelikož je tavenina v brzdném můstku vysoce namáhána, je zapotřebí ji poskytnout nějaký čas k relaxaci napětí. K této záležitosti slouží relaxační komora, která zpomaluje tok v hlubokém kanálu, následujícím za brzdným můstkem. Poté tavenina vstupuje do stavitelného brzdného můstku a výstupní štěrbině.



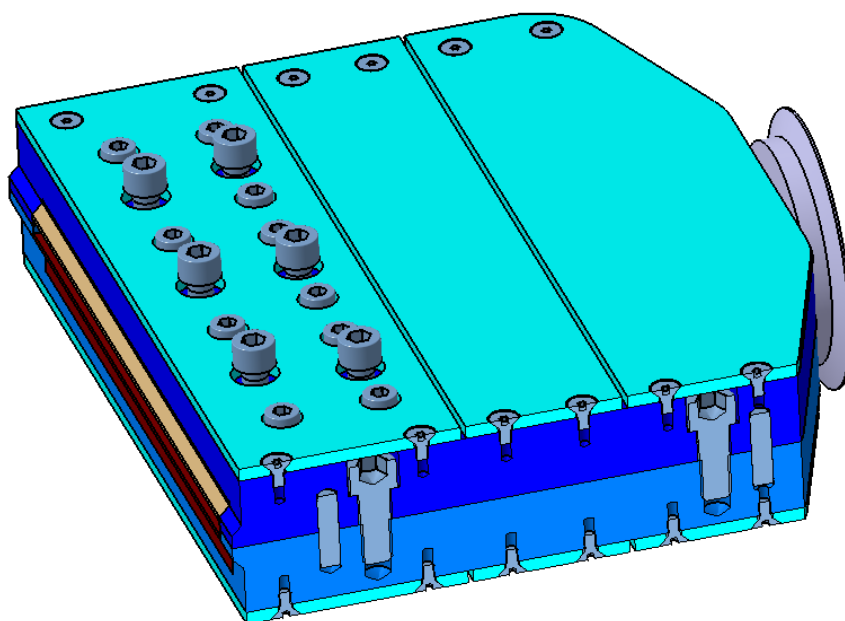
Obr. 22. Těleso 1.

6.2 Těleso 2

Těleso 2 plní obdobnou funkci jako výše zmiňované těleso 1 v oblasti rozvodného kanálu, brzdného můstku a relaxační komory. Po výstupu z relaxační komory tavenina vstupuje do stavitelného brzdného můstku, soužícímu k dodatečné úpravě rychlostního profilu při změně tloušťky výstupní štěrbin. Obě tělesa 1 a 2 jsou vůči sobě ustaveny pomocí čtyř kolíků a pevně k sobě sešroubovány čtyřmi šrouby.



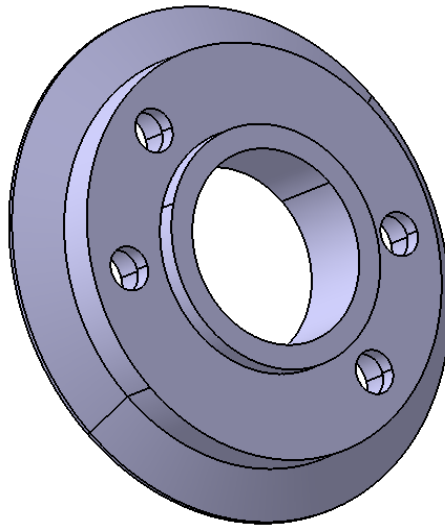
Obr. 23. Těleso 2.



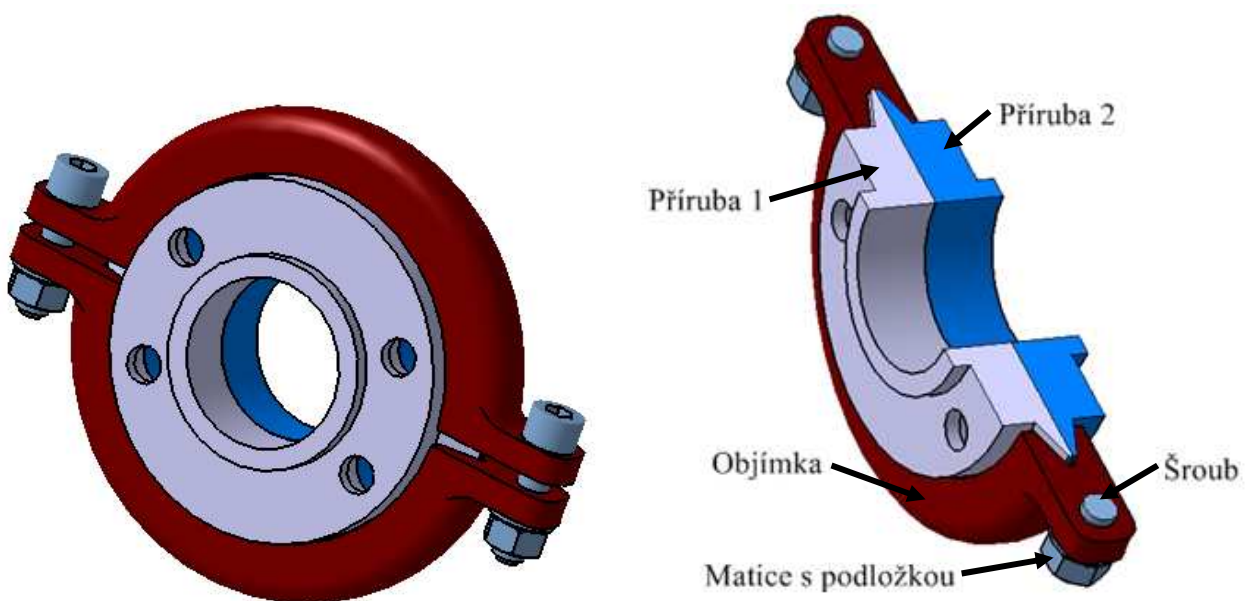
Obr. 24. Ustavení a spojení těles 1 a 2.

6.3 Objímkový spoj

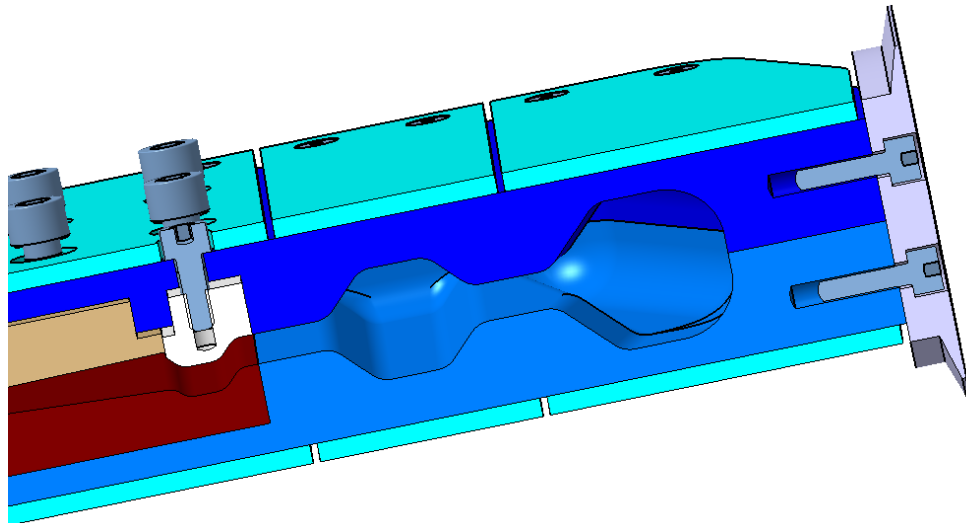
Pro upevnění hlavy na vytlačovací stroj byl zvolen objímkový spoj zaručující rychlou montáž a demontáž hlavy. Pevné upevnění příruby objímkového spoje je zajištěno pomocí čtyř šroubů zapuštěných v přírubě a zašroubovaných do těles 1 a 2. Při montáži je nutné zajistit čistotu styčných ploch objímkových přírub z důvodu dokonalé těsnosti spojení mezi válcem vytlačovacího stroje a vytlačovací hlavou.



Obr. 25. Příruba objímkového spoje.



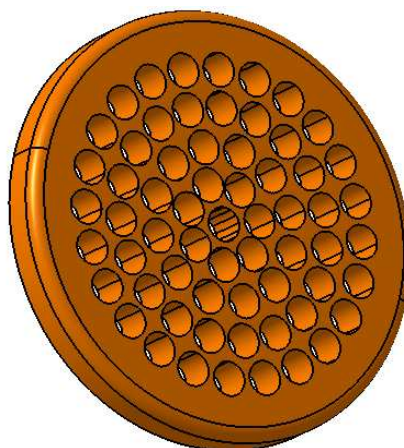
Obr. 26. Návrh objímkového spoje.



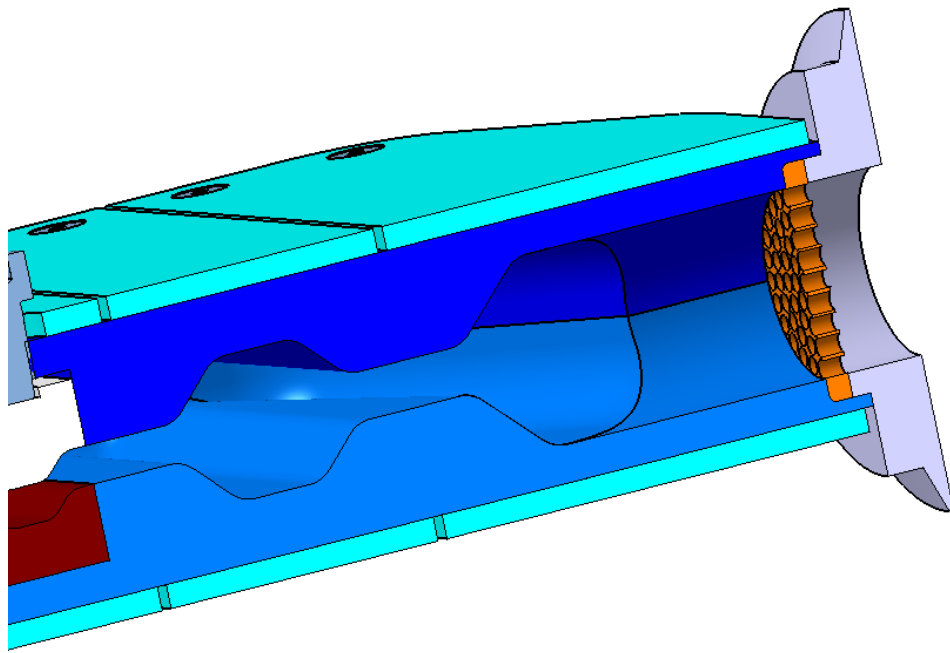
Obr. 27. Uchycení objímkové příruby do těles 1 a 2.

6.4 Lamač

Důležitou součástí vytlačovací hlavy při výrobě tenkostěnných výrobků je takzvaný lamač. Lamač je síto zamezující vstupu do vytlačovací hlavy případným neroztaveným nebo nehomogenním částicím taveniny. Vložení lamače před vytlačovací hlavu způsobuje nárůst tlaku ve válci a tím i vyšší zdržnou dobu taveniny. Při konstrukci je důležité, aby nedocházelo k vytvoření mrtvých míst způsobující vysoké zdržné doby a následnou degradaci materiálu. Při návrhu konstrukce hlavy byl lamač vložen mezi přírubu objímkového spoje a tělesa 1 a 2.



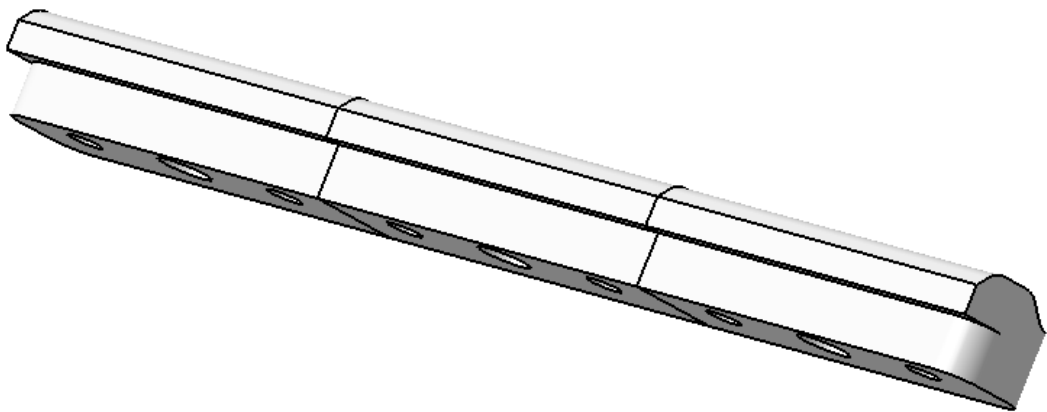
Obr. 28. Lamač.



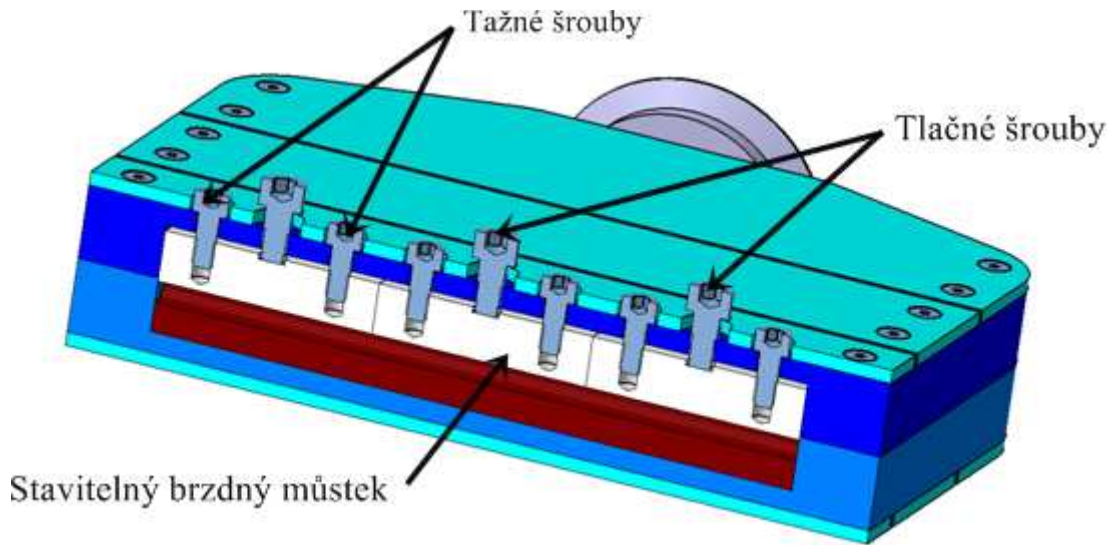
Obr. 29. Uložení lamače ve vytlačovací hlavě.

6.5 Stavitelný brzdný můstek

K dodatečnému vyrovnání rychlostního profilu ve výstupní štěrbině, při změně tloušťky extrudovaného materiálu slouží stavitelný brzdný můstek. Při konstrukci stavitelného brzdného můstku bylo použito tří podobných součástí, které po seřízení vytvoří rovnoměrné vytlačení materiálu po celé šířce výstupní štěrbině. K seřízení jednotlivých elementů brzdného můstku je použito šest tažných a tři tlačné šrouby. Které jsou rozmístěny tak, aby jednotlivé elementy bylo možné samostatně seřizovat.



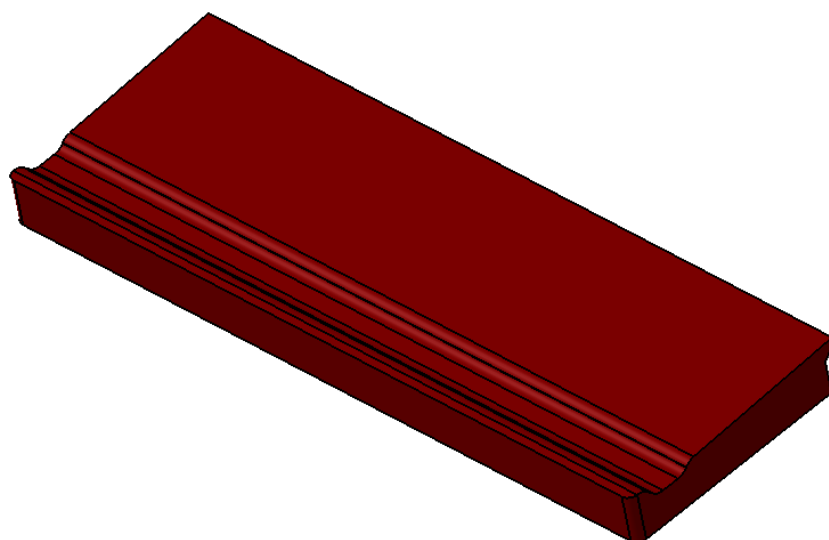
Obr. 30. Stavitelný brzdný můstek.



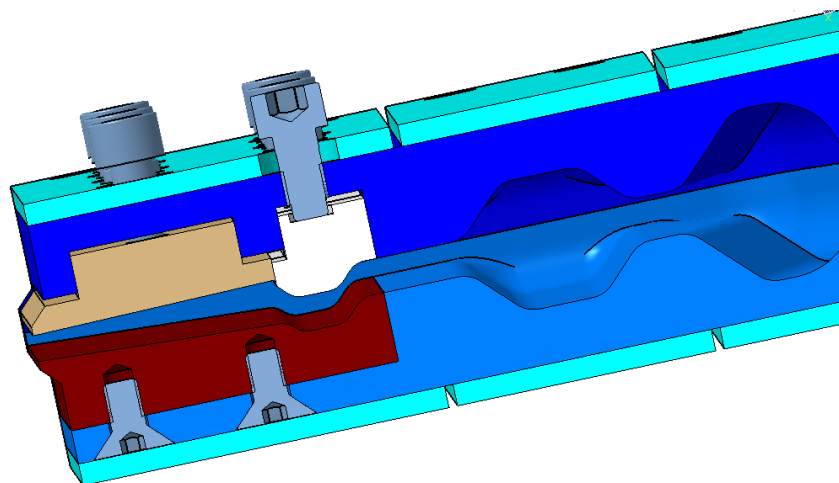
Obr. 31. Princip seřízení stavitelného brzdého můstku.

6.6 Pevná čelist

Poslední sekci vytlačovací hlavy, přes kterou prochází tavenina, se nazývá výstupní štěrbiná. Tato část hlavy je složená z pevné a stavitelné čelisti. Vzdálenost mezi oběma díly udává výslednou tloušťku extrudovaného materiálu. Pevná čelist je ukotvena pomocí čtyř šroubů do tělesa 1. Pevnou čelistí nelze nastavovat tloušťku štěrbině. Při seřizování vytlačovací hlavy je důležité zajistit, aby po celé délce výstupní štěrbině byla dosažena rovnoměrná distribuce taveniny.



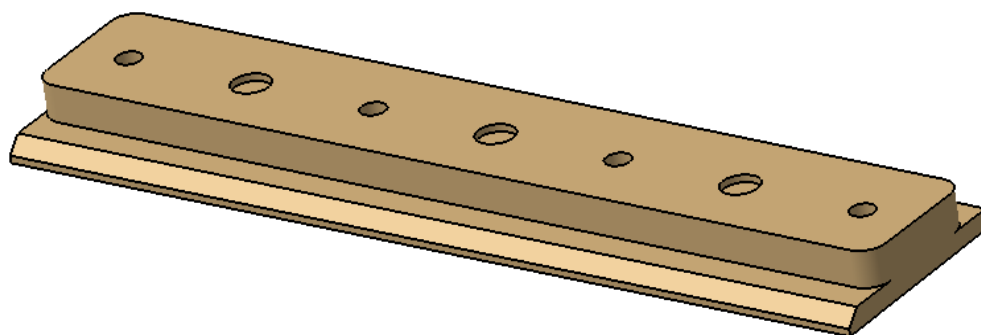
Obr. 32. Pevná čelist.



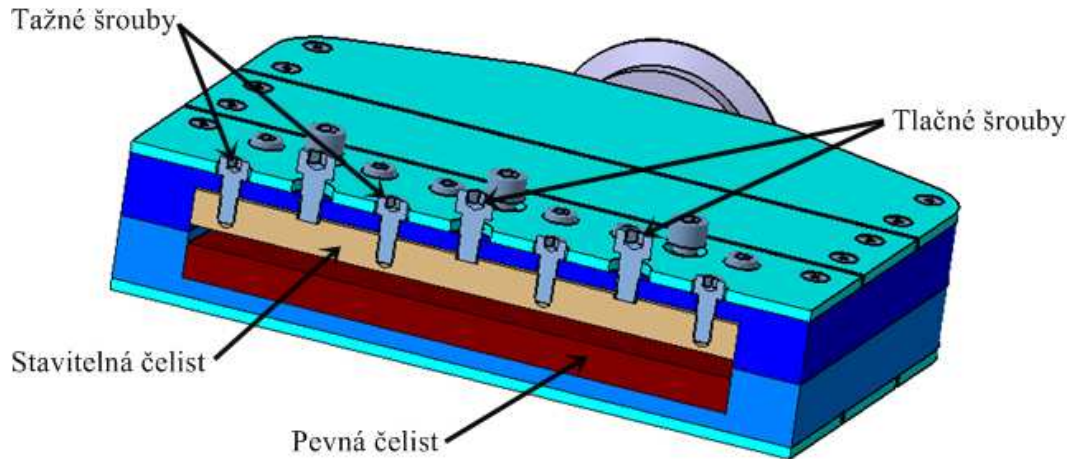
Obr. 33. Uložení a ukotvení pevné čelisti.

6.7 Stavitelná čelist

Druhou součástí výstupní štěrby je stavitelná čelist, která je posuvně uložena v tělese 2. Seřízením stavitelné čelisti pomocí stavčích šroubů lze regulovat žádanou velikost výstupní štěrby. K nastavení dané vzdálenosti je možné použít čtyř tažných a tří tlačných šroubu rovnoměrně rozmístěných po celé délce stavitelné čelisti. Při seřizování výstupní štěrby je kladen důraz, aby všechny šrouby byly výsledně namáhány tlakem nebo tahem. Z důvodu možné deformace průhybu stavitelné čelisti při tlakovém zatížení. Rozsah výstupní štěrby je možné nastavit v rozmezí 1 - 7mm. Šířka výrobku má konstantní rozměr 240 mm.



Obr. 34. Stavitelná čelist.

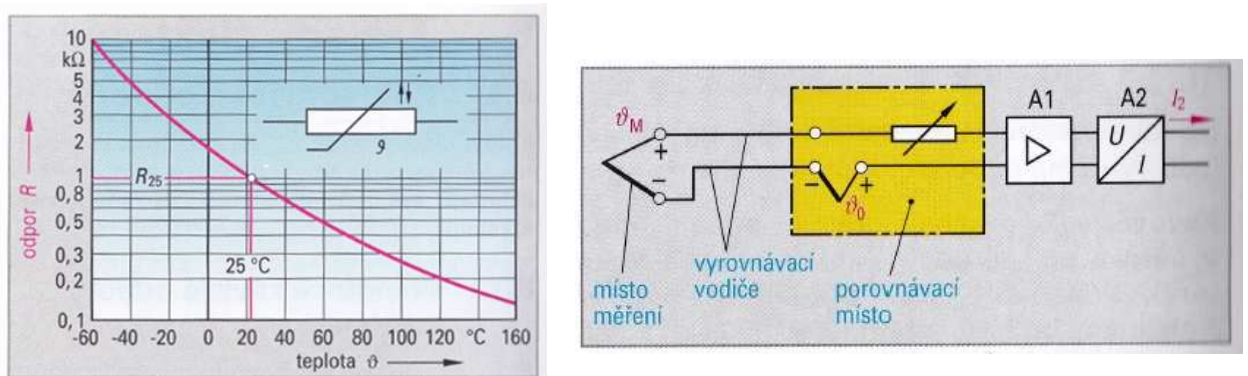


Obr. 35. Princip seřízení stavitelné čelisti.

6.8 Topné pásy

Nedílnou součástí vytlačovací hlavy jsou topné tělesa, která umožňují nastavení teplotního pole hlavy. V návrhu bylo použito šest topných pásů umístěných na vytlačovací hlavě tak, že umožňují regulaci teploty nezávisle na sobě ve třech zónách. V konstrukci hlavy nebylo zakomponované teplotní čidlo, které kontroluje skutečnou teplotu v dané části hlavy. Teplotní čidla mohou být v podobě termočlánků nebo odporové čidla. Pro malé rozměry termočlánků lze teplotu měřit bodově a tím i rozmístit více čidel po celé hlavě.

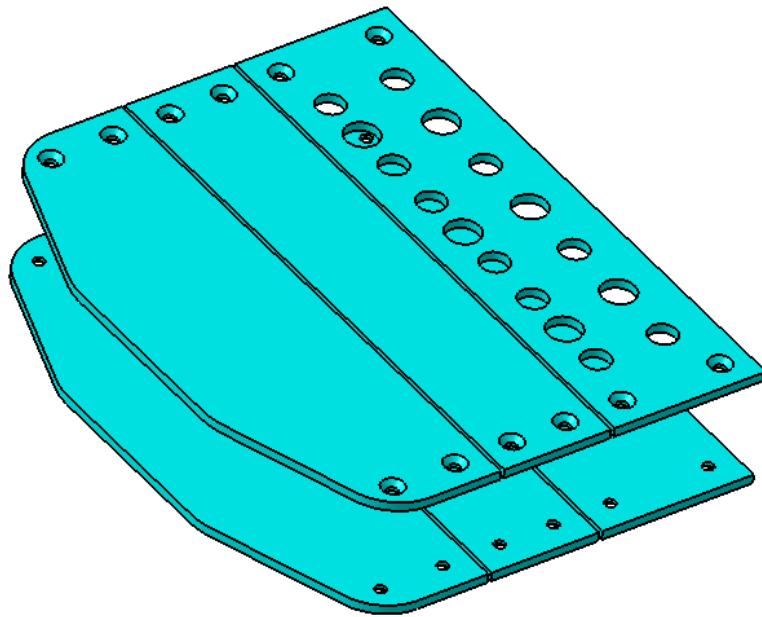
V místě spojení dvou různých kovů vzniká při zahřátí elektrické napětí (tzv. kontaktní napětí). Takové spojení dvou kovů pro měření teploty se nazývá termočlánek. Napětí v termočláncu stoupá s teplotou a závisí také na obou kontaktních kovech. Termočlánci jako měřicí čidla reagují pouze na teplotní diference v proudovém obvodu. [6]



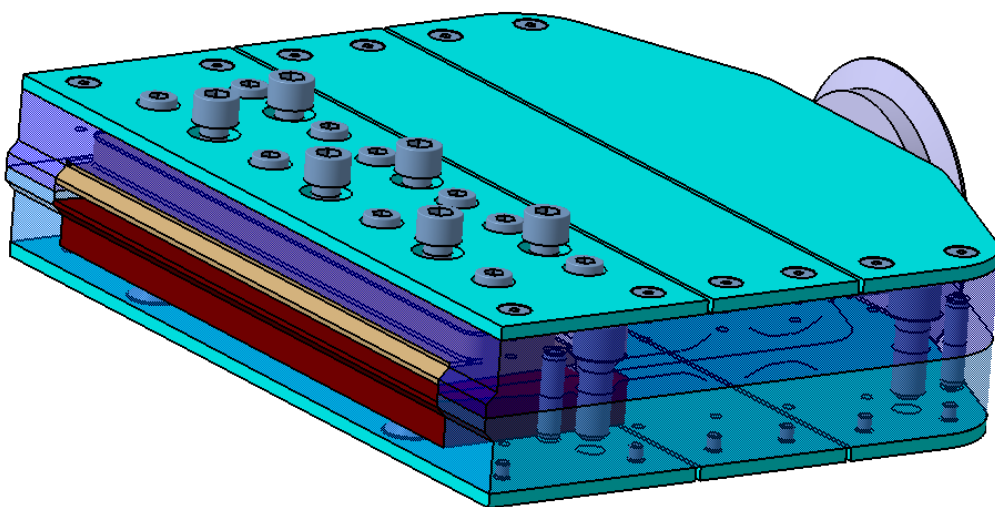
Obr. 36. Charakteristika termistoru a snímač teploty termočláncem. [6]

Rozměrnější odporová čidla využívají pro měření změnu odporu vodiče při gradientu teploty. Odporová čidla jsou určena pro přesnější měření. S rostoucí teplotou klesá odpor termistoru.

Při realizaci vytlačovací hlavy nebyla výroba a montáž topných pásů uskutečněna. Důvodem tohoto rozhodnutí bylo zhoršení optických a názorných vlastností výukové pomůcky, při namontování topných pásů na tělesa vytlačovací hlavy.



Obr. 37. Rozmístění topných pásů.

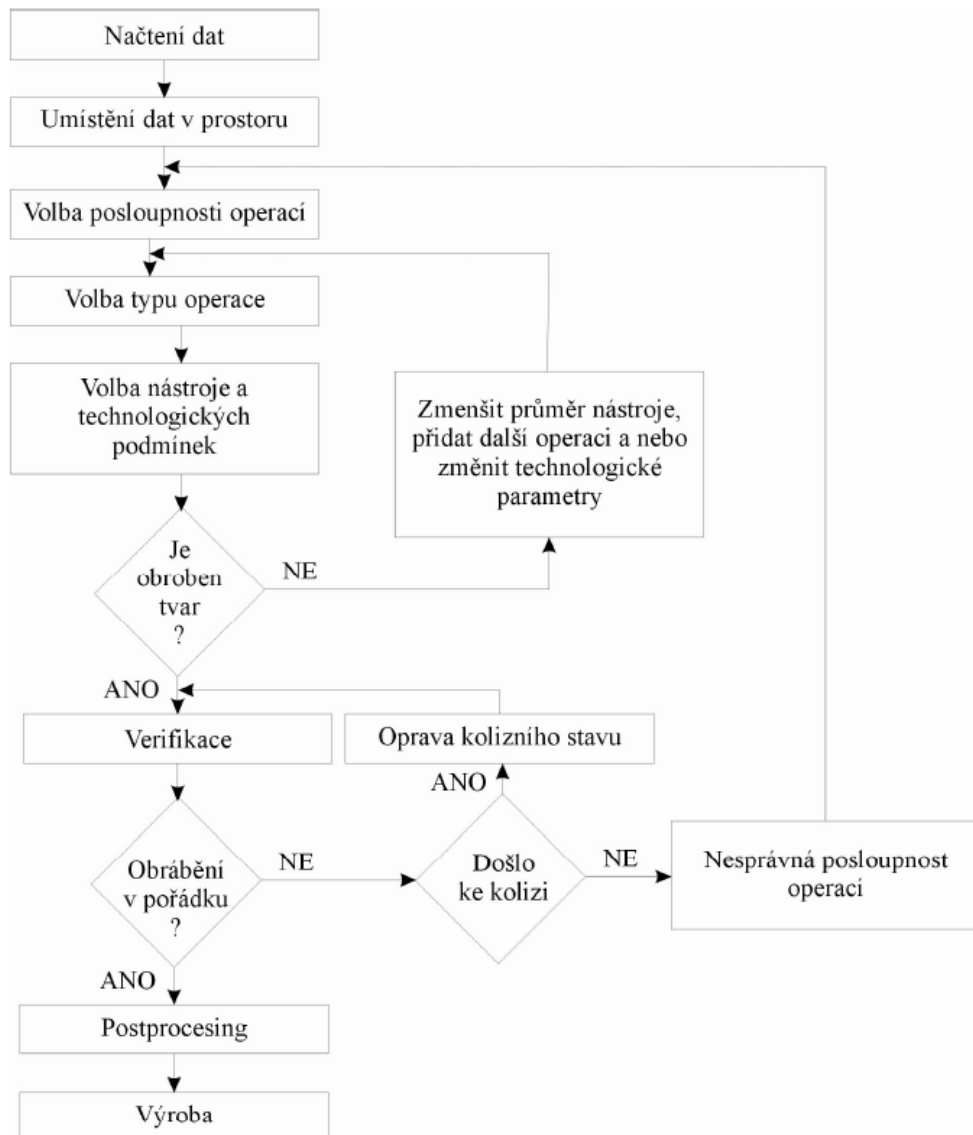


Obr. 38. Uchycení topných pásů na vytlačovací hlavě.

7 CNC PROGRAMOVÁNÍ

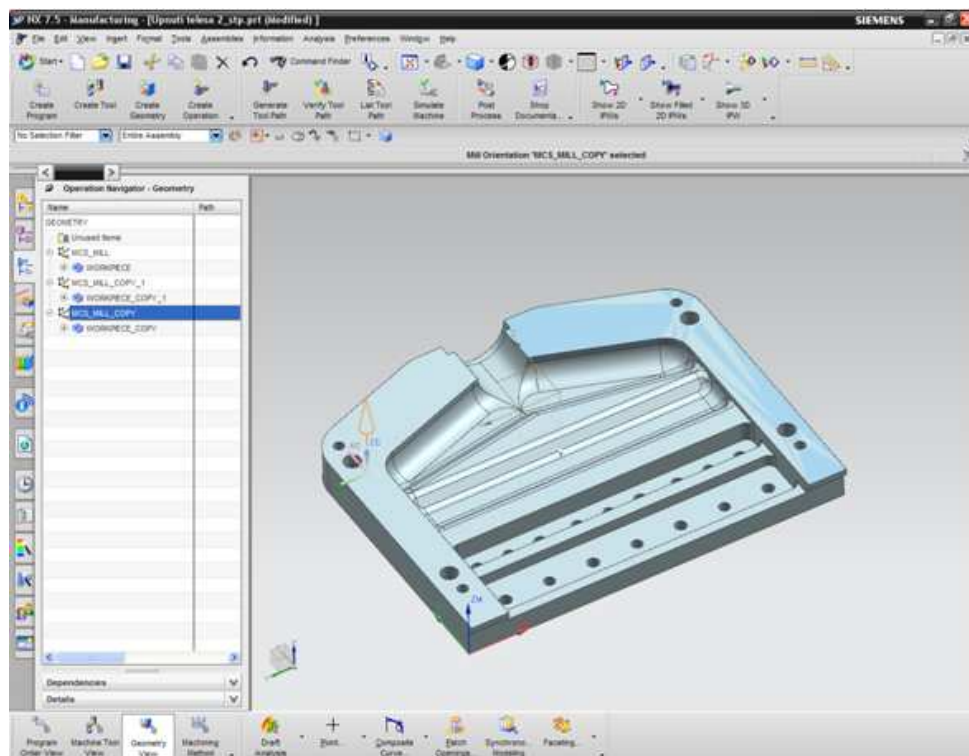
Protože většina součástí vytačovací hlavy byla navrhnutá v podobě složitých tvarů v 3D prostoru, které by se velmi těžko obráběly na klasických stojích. Bylo zapotřebí obrobit součásti na CNC frézce. K výrobě na číslicově řízeném stroji je nezbytné vygenerovat CNC kód dané součásti pomocí CAM softwaru.

Na tvorbu CNC programu byl zvolen software NX 7.5, který umožňuje verifikaci a postprocessing kódu. Pro komunikaci mezi CAD a CAM softwarem je zapotřebí převést 3D model výrobku z CAD systému do formátu, který podporují oba softwary. V tomto případě se jedná o formát souboru „.stp“.



Obr. 39. Práce v CAM softwaru. [7]

Prvotním krokem při programování bylo tedy načtení dat ze souboru „.stp“ do systému NX 7.5. Tím byla vytvořena předloha k obrábění v podobě 3D ploch. Následovalo nastavení souřadného systému stroje vůči upnutí obrobku a zadání velikosti přídavek na obrábění. Na obr. 40 je znázorněno načtení dat z .stp souboru, nastavení souřadného systému a pracovní prostředí v softwaru NX 7.5 pro vybranou součást.



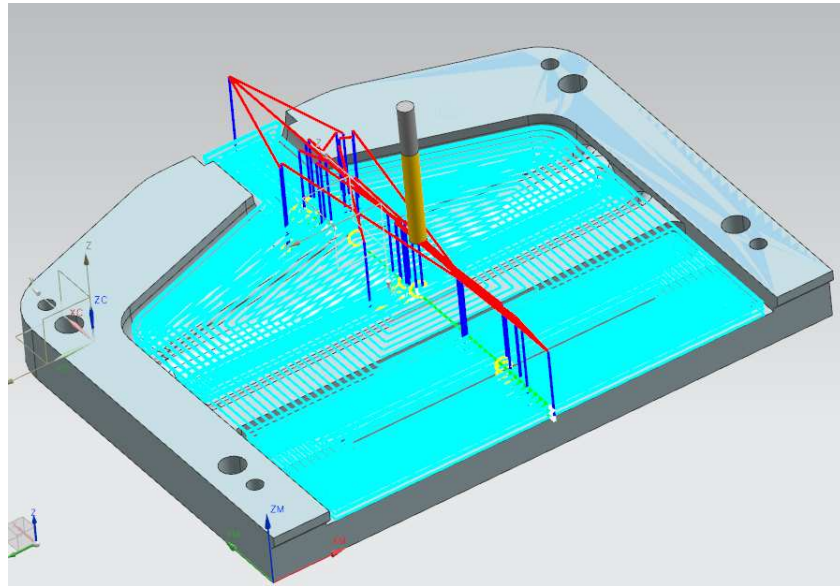
Obr. 40. Pracovní prostředí v softwaru NX 7.5.

Následovala rozvaha nad výrobním postupem jednotlivých součástí. Obvyklá posloupnost operací byla v pořadí hrubování, před dokončovací operace, dokončovací operace, navrtání a následné vrtání a řezání závitů bylo provedeno ručně, za pomoci sloupové vrtačky a závitníků. Mezi jednotlivými operacemi bylo často zapotřebí obrobek upnout jiným způsobem nebo otočit, tak aby všechny plochy bylo možné obrobit.

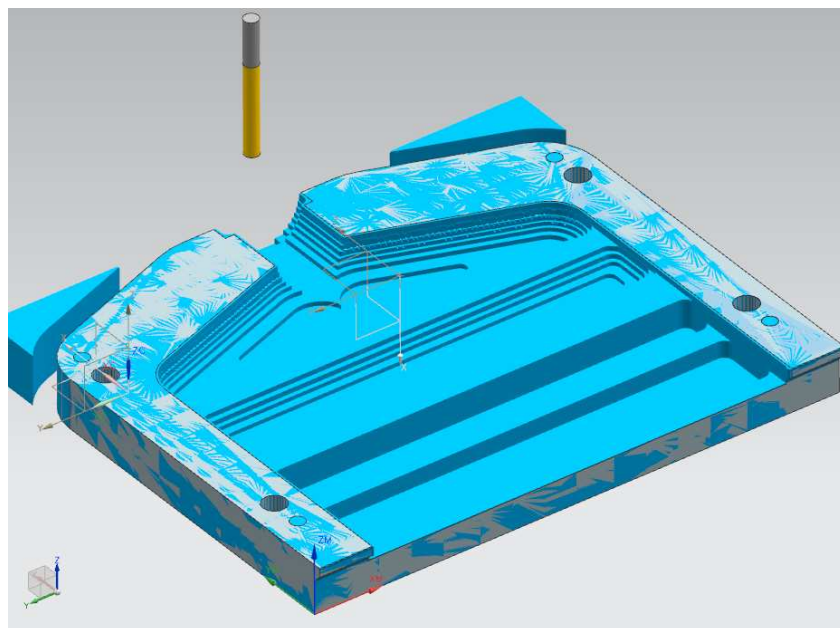
Při hrubovacích operacích byla použita hloubka třísky 3 až 2 mm. U dokončovacích prací se hloubka třísky pohybovala v rozmezí 0,6 až 0,4 mm, volba závisela na použitém nástroji. Pro průměr řezného nástroje 8mm, byly otáčky nastaveny na hodnotu 10000 ot/min. Strojní posuv frézy byl zvolen na 1500 mm/min a přísluvu 500 mm/min.

Verifikace

Pro kontrolu naprogramovaných drah nástroje slouží verifikace. Tato poslední operace odhalí případné chyby programátora a zabrání chybnému obrábění na stroji. Jestliže dojde ke koliznímu stavu ve verifikaci, je zapotřebí se vrátit do programovacího modulu a zde chybu bez následků opravit. Poslední změnu v programu má možnost provést programátor.



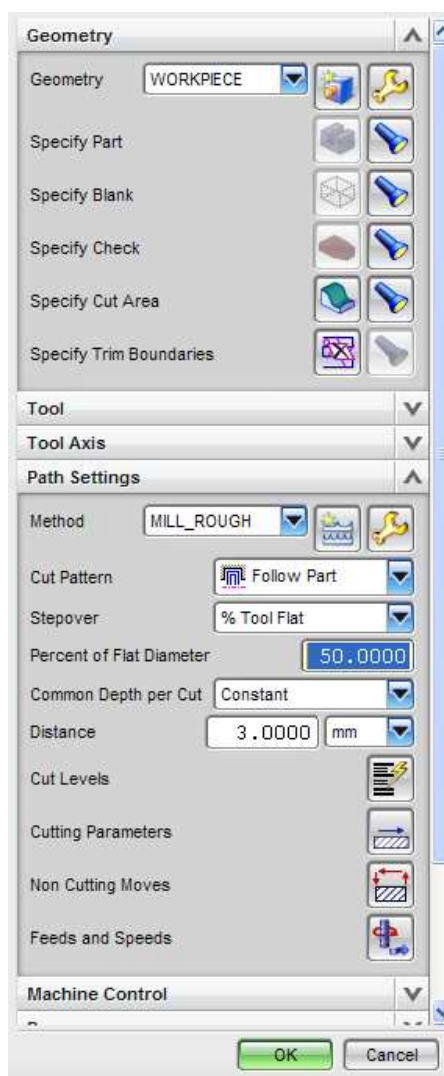
Obr. 41. Verifikace drah nástroje.



Obr. 42. Verifikace dat v 3D zobrazení.

Postprocessing

Po kontrole vygenerovaných drah nástroje ve verifikaci, je zapotřebí převést data ze softwaru NX 7.5 do tvaru, který je schopný rozpoznat CNC stroj. Tento převod se nazývá postprocessing. Po vygenerování CNC kódu se data nahrají do počítače propojeného s CNC strojem a následně je program spuštěn. Dodatečné úpravy programu na stroji obsluhou jsou zakázány, z důvodu nepřehlednosti programu, který může obsahovat několik stovek pozic.



Obr. 43. Základní nastavení obráběcí operace v NX 7.5.

8 VÝROBA ŠIROKOŠTĚRBINOVÉ VYTLAČOVACÍ HLAVY

Při návrhu hlavy byl na výrobu jednotlivých součástí zvolen polymerní materiál. U převážné většiny dílů se jedná o čirý PMMA, který vykazuje u tlustostěnných výrobků po vyleštění dokonalou průhlednost. Tento polymer se vyznačuje poměrně dobrými mechanickými vlastnostmi a odolává povětrnostním vlivům okolního prostředí.

Nevýhodou tohoto materiálu je poměrně odlišná technologie obrábění v porovnání s běžnou výrobou. Jelikož má výrobek sloužit jako výukový model, který má poskytnout dokonalou průhlednost a názornost. Nevystačíme si při výrobě s běžnými technologiemi konvenčního obrábění, jako je frézování a broušení. Výsledkem by byl nedokonale obroběný povrch, který by vykazoval špatné optické vlastnosti. Proto bylo zapotřebí povrch výrobku po frézování a ručním broušením dokonale vyleštit.

Zbylé součásti jako je stavitelná čelist, příruba objímkového spoje a lamač jsou vyrobeny, z neprůhledného polyuretanu, na který byla na závěr výroby nanесena povrchová úprava.



Obr. 44. Široko-štěrbinová hlava

8.1 CNC frézování

Základem obrábění veškerých součástí bylo CNC frézování, pro které plně vyhovoval školní stroj HWT 442. Technické parametry stroje jsou uvedeny v následující tabulce.



Obr. 45. CNC frézka HWT 442.

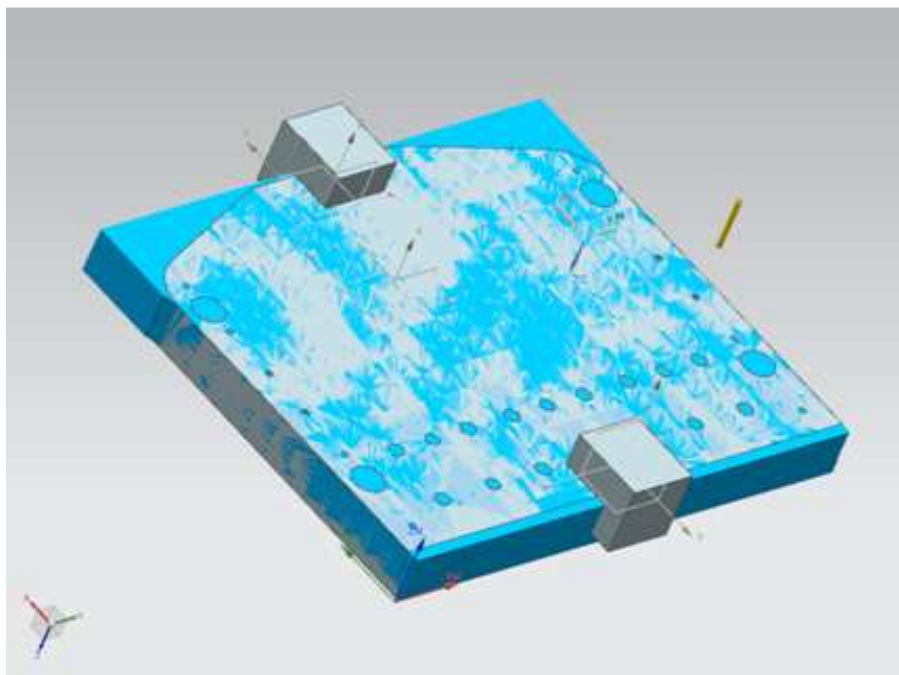
Parametr stroje	Hodnota
Obráběcí prostor (X×Y×Z)	400 mm × 400 mm × 200 mm
Velikost upínací plochy (X×Y)	500 mm × 500 mm, 8 mm T-drážky
Programovatelná rychlost posuvu	max. 3 m/min
Programovatelný krok	0,00625 mm
Otáčky vřetene	2000-25000 ot./min
Max. průměr nástroje	10 mm
Motor vřetene	1000 W - univerzální
Řídící jednotka	PC
Napájení	230 V/50 Hz
Příkon	2300 VA
Vnější rozměry stroje (š×h×v)	1200 mm × 1000 mm × 1400 mm
Hmotnost	410 kg
Materiál obrobku	plasty, dřevo, barevné kovy, grafit
Max. hmotnost obrobku	20 kg

Tab. 1. Parametry CNC frézky HWT 442. [7]

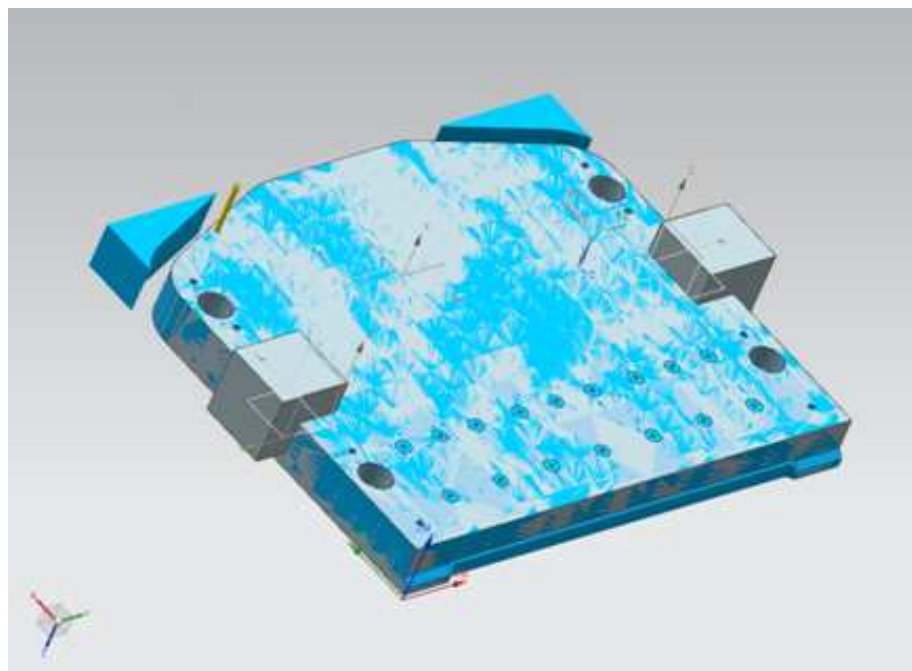
8.1.1 Upínání obrobku

Základem pro veškeré technologie obrábění je pevné a stabilní upnutí obrobku na upínací plochu stroje. Při výrobě součástí byl pro upínání obrobku použit přípravek z PUR desky, do kterého bylo navrtáno několik děr pro ustavovací kolíky. Tyto kolíky sloužily k rychlému upnutí desek odlišných rozměrů do totožného nulového bodu přípravku s obrobkem. Výše uvedený způsob upínání desek zrychlil výrobu tím, že nebylo třeba seřizovat opakovaně nulový bod pro každou desku zvlášť.

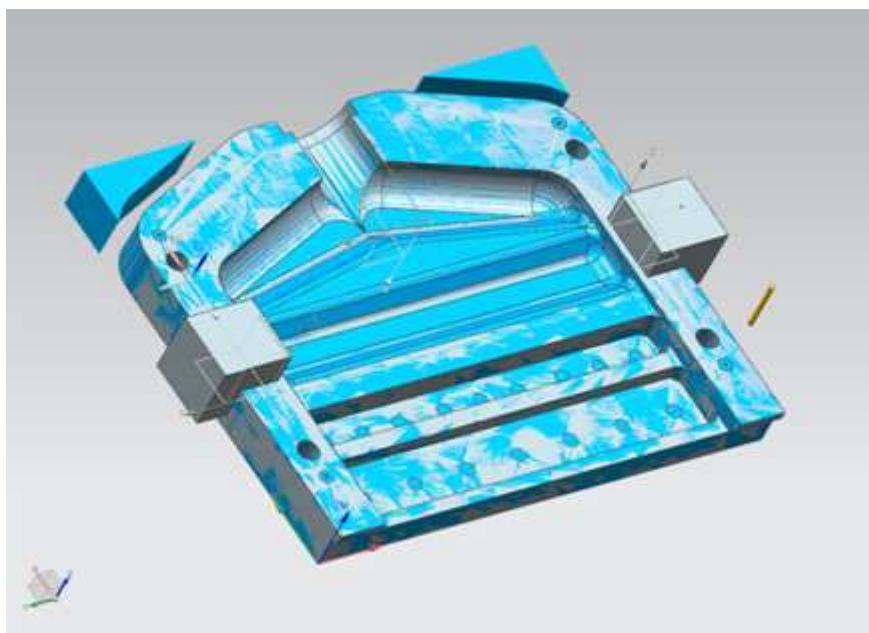
Pevné ukotvení obrobku do nulového bodu, bylo realizováno pomocí upínek. U všech desek samotné obrábění proběhlo na více upnutích, z důvodu opracování všech ploch. V několika případech bylo potřeba zamezit pohybu obrobku při změně pozice upínek.



Obr. 46. První upnutí a obrobení vybrané součásti.



Obr. 47. Druhé upnutí a obrobení vybrané součásti.



Obr. 48. Třetí upnutí a obrobení vybrané součásti.

8.1.2 Frézování

K frézování dílů byl použit výše zmíněný CNC stroj HWT 442. Protože stroj nedokáže automatickou výměnu nástroje, je potřeba při práci na tomto stroji, před každou operací vyměnit a seřídit nulový bod nástroje. Následovalo odjetí nástroje do bezpečné vzdálenosti od obrobku a spuštění CNC programu pro danou operaci. Při frézování hlubokých a úzkých otvorů bylo zapotřebí pomocí stlačeného vzduchu vyfoukávat odřezané třísky z otvoru ven. Tím se zabezpečilo kvalitnější obrobení plochy a nedocházelo tak k natavování materiálu na stěně a zhoršení kvality obrobené plochy. K frézování byly zvoleny nástroje z tvrdokovu. Pro průměr řezného nástroje 8mm, byly nastavené otáčky stroje na hodnotu 10000 ot/min. Hodnota posuvu frézy byla zvolena na 1500 mm/min a přísluvu 500 mm/min. Během frézování byl stroj pod stálou kontrolou obsluhy. Na obr. 49 jsou zobrazeny některé z použitých nástrojů při frézování.



Obr. 49. Frézovací nástroje.



Obr. 50. Upnutí součásti a pracovní prostor stroje.



Obr. 51. Druhé upnutí a obrobení vybrané součásti.



Obr. 52. Hrubovací operace při třetím upnutí obrobku.



Obr. 53. Vzhled součásti po dokončovací frézovací operaci.

8.2 Vrtání a řezání závitů

Jelikož válcové otvory se na CNC stroji jen navrtaly, bylo zapotřebí tyto díry vyvrtat a srazit hrany na sloupové vrtačce. Pro kvalitnější opracování plochy se do řezného procesu přidala emulze ve formě mýdlové vody. Tato řezná kapalina působí chladícím a mazacím účinkem.

Řezání závitů se realizováno pomocí vratidla a ručních postupových závitníku. Při řezání se pro dosažení kvalitnějšího povrchu závitník mazal mýdlovou vodou.

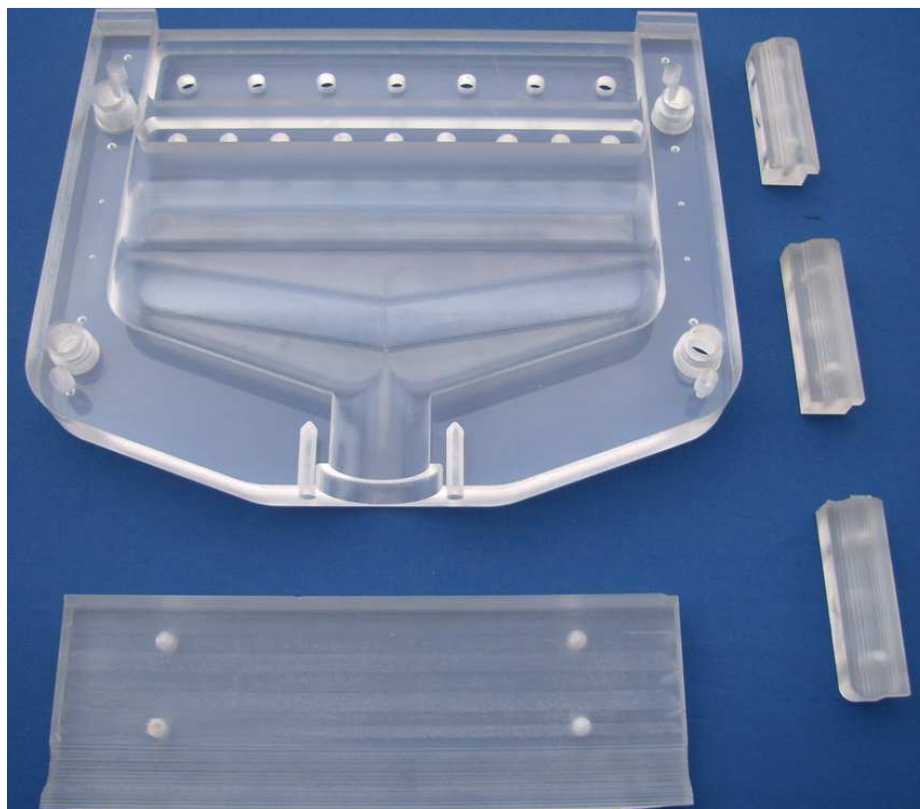
8.3 Broušení a leštění

Po dokončovací operaci frézováním, vykazoval povrch špatné optické vlastnosti. Proto se všechny součásti vyrobené z PMMA museli ručně brousit. Pro broušení bylo použito několik druhů brusných papírů o různé zrnitosti. Hrubé broušení proběhlo za pomoci brusného papíru o zrnitosti 600 a 800. Před dokončovací operace broušením byla realizována brusivem o zrnitosti 1200 a 2000.

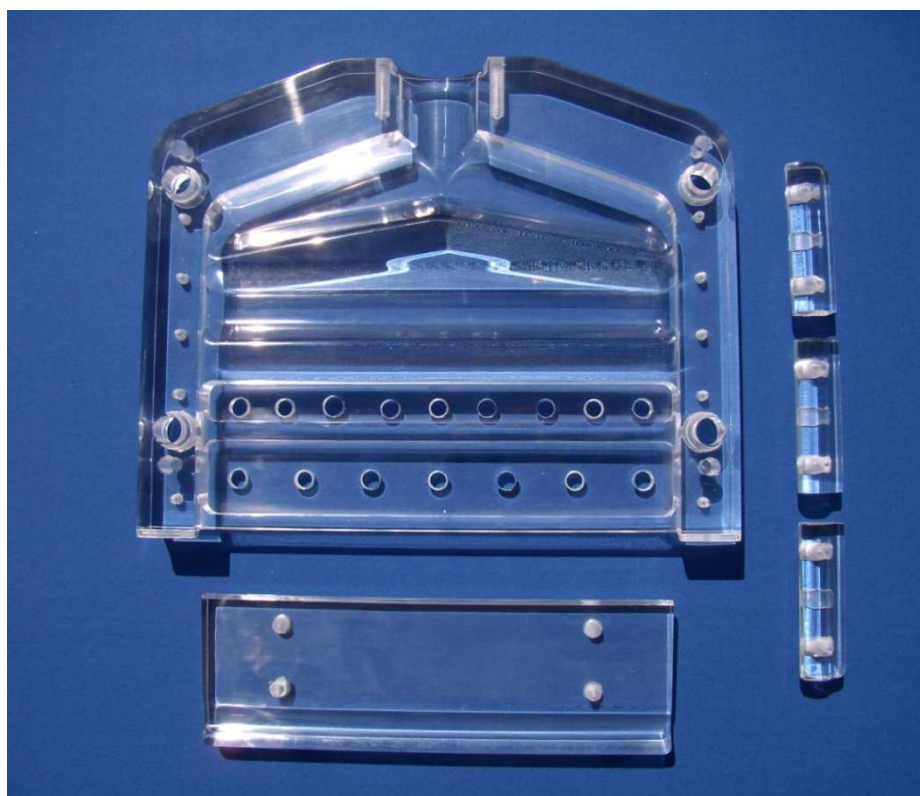
Pod pojmem zrnitost si lze představit počet ok síta na jeden palec, kterým brusné zrno při prosévání propadne. Tedy čím větší zrnitost, tím hustší síto a tím jemnější brusivo. [8]

Veškeré ruční broušení probíhalo za podpory vodného prostředí mezi plochou obrobku a brusivem. Přidáváním vody do brusného procesu se eliminuje poškrábání a poškození broušené plochy, vlivem špatného odvodu třísky a přehřívání materiálu.

Po dokonalém vybroušení povrchu následovala dokončovací operace leštěním. Realizace této operace proběhla za pomoci ruční a sloupové vrtačky s použitím filcových a hadrových kotoučů, na které byla nanášena brusná pasta. Na obr. 54 a 55 lze porovnat díly před a po vyleštění.



Obr. 54. Součásti vyroben z PMMA před broušením a leštěním.



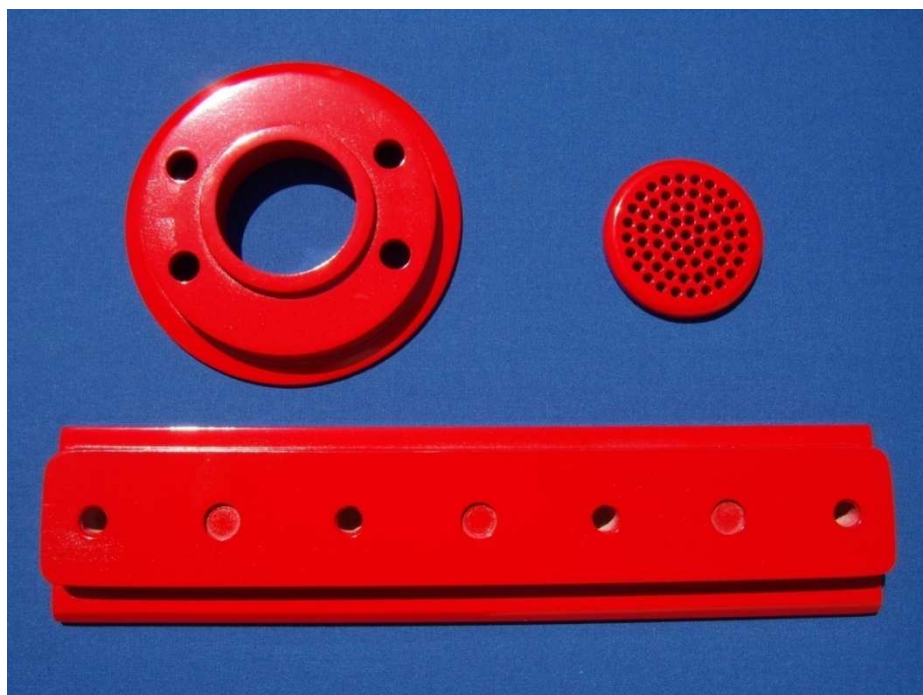
Obr. 55. Součásti vyrobené z PMMA po vyleštění.



Obr. 56. Prostředky pro dokončovací operaci.

8.4 Povrchová úprava dílů z PUR

Pro dokončení povrchu dílů vyrobených z neprůhledného PUR, byl povrch součástí dokonale vybroušen a následně na něj nanesen plnič pórů. Po zaschnutí plniče došlo k lehkému přebroušení součásti a nástřiku povrchové červené barvy. Tato úprava se použila u stavitelné čelisti, lamače a příruby objímkového spoje.



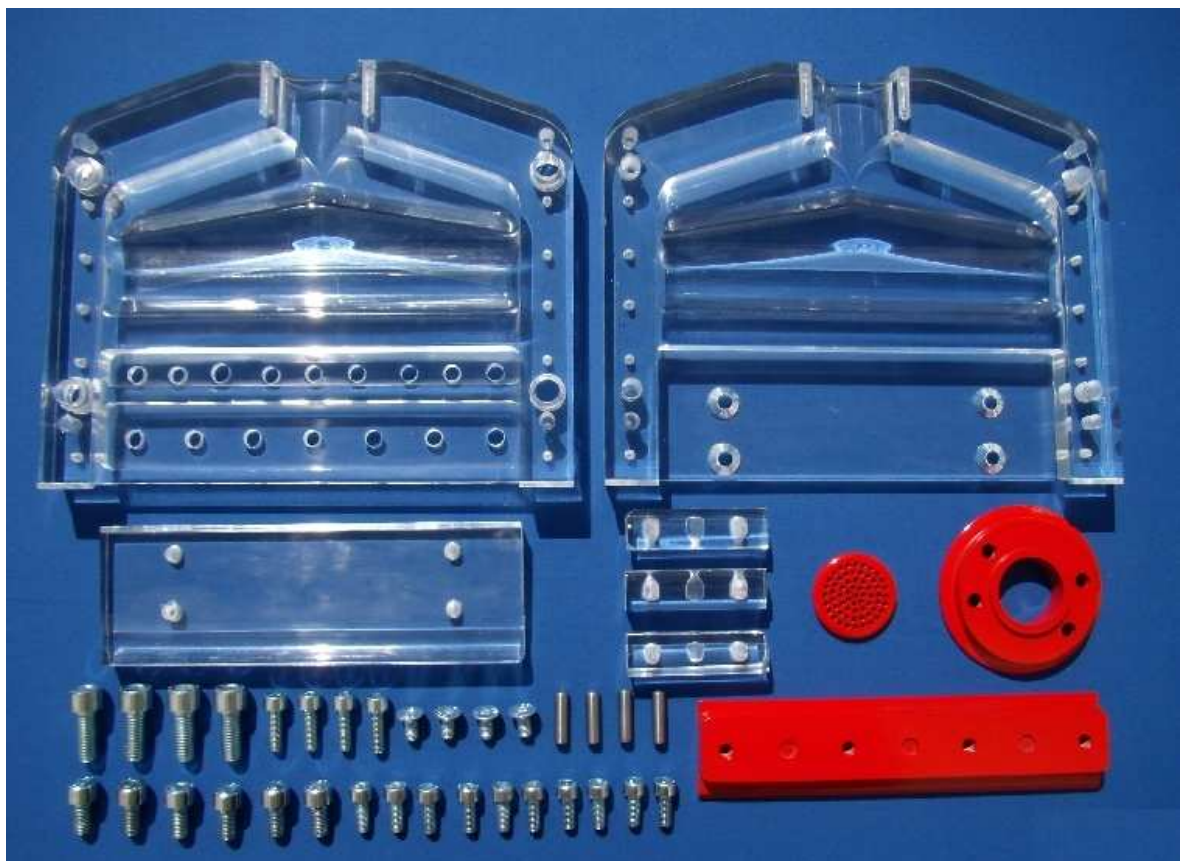
Obr. 57. Dokončený povrch součástí z PUR.

8.5 Montáž hlavy

Po dokončení výroby všech součástí došlo k omytí dílů a následnému složení sestavy široko-štěrbinové vytlačovací hlavy.

Postup montáže:

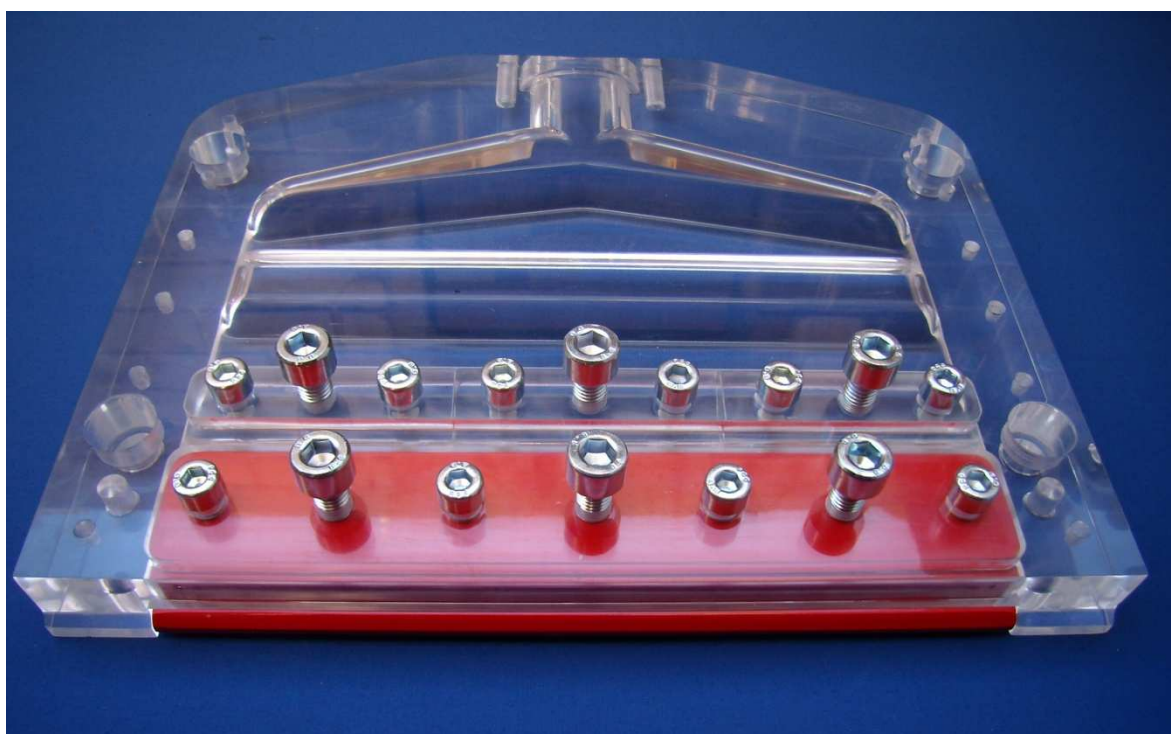
- Montáž pevná čelist do tělesa 1. (obr. 59)
- Montáž stavitelné čelisti a brzdného můstku do tělesa 2. (obr. 60)
- Sešroubování tělesa 1 a 2. (obr. 62 a 63)
- Vložení lamače a připevnění příruby objímkového spoje. (obr. 64 a 65)



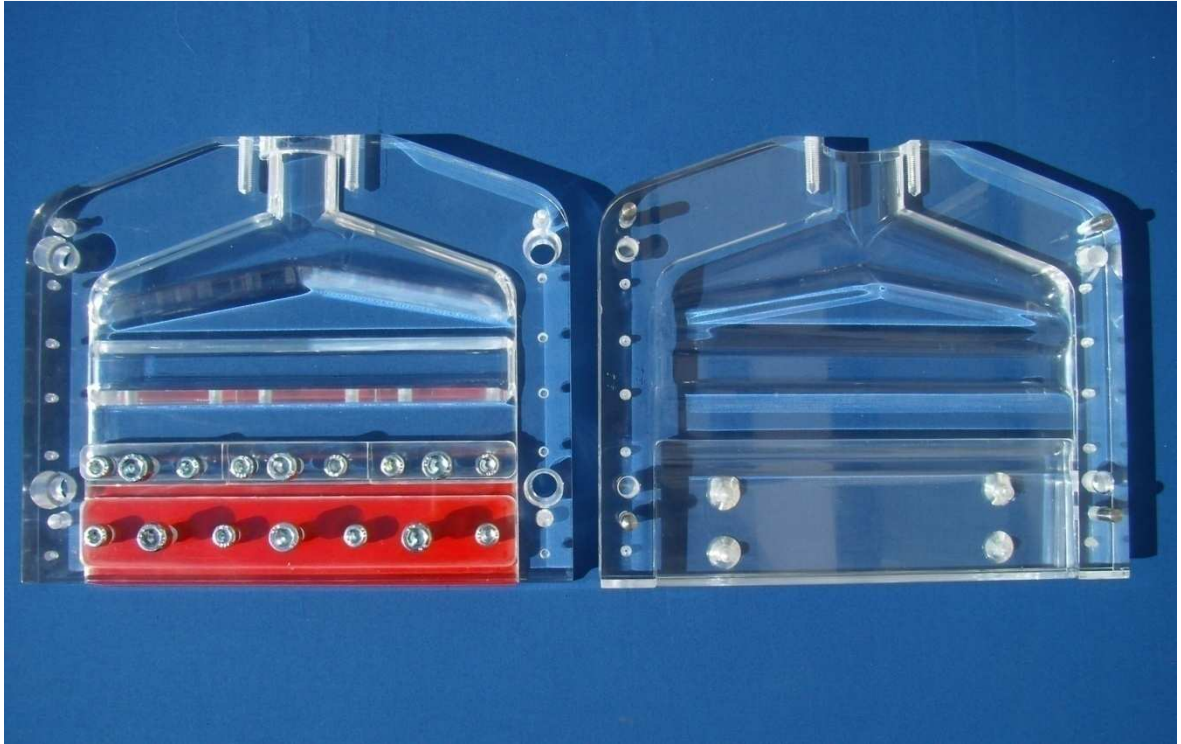
Obr. 58. Přehled všech dílů před montáží hlavy.



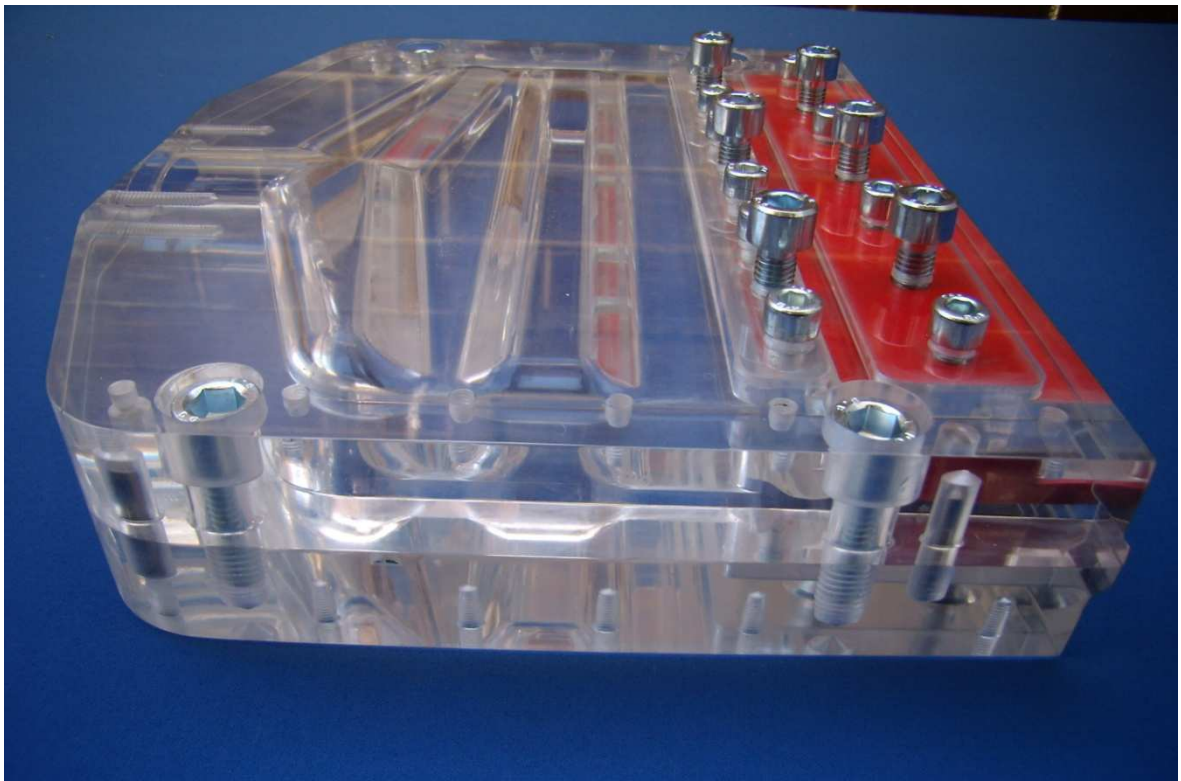
Obr. 59. Upevnění pevné čelisti do tělesa 1.



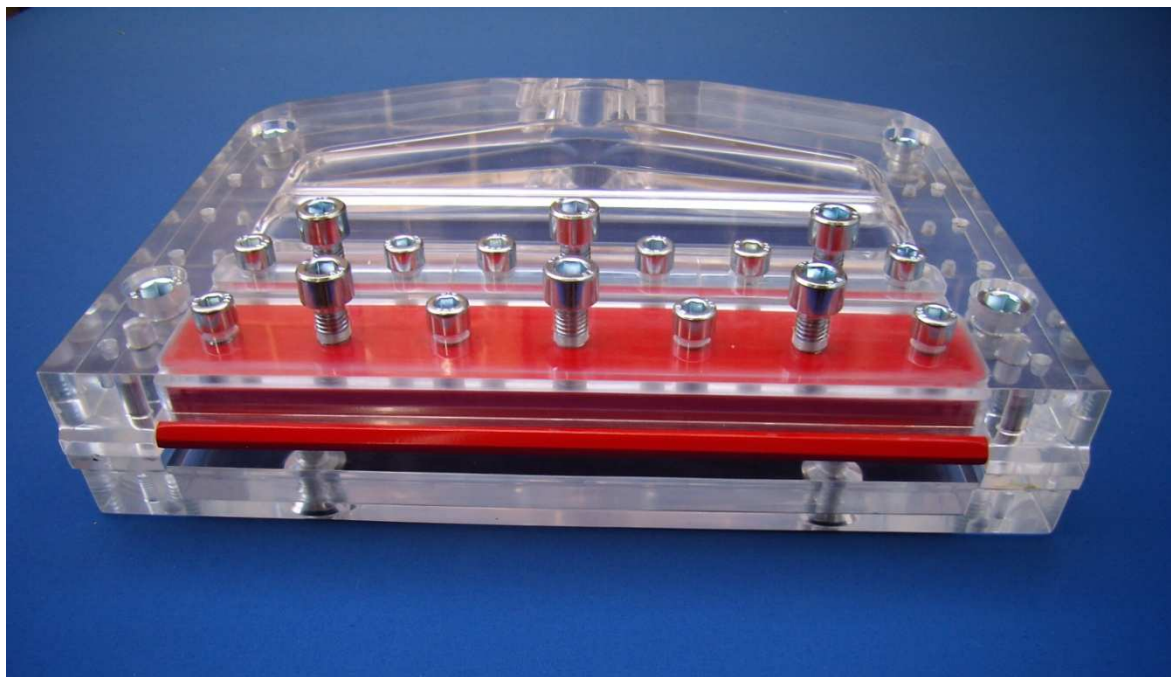
Obr. 60. Montáž stavitelné čelisti a brzdného můstku na tělesa 2.



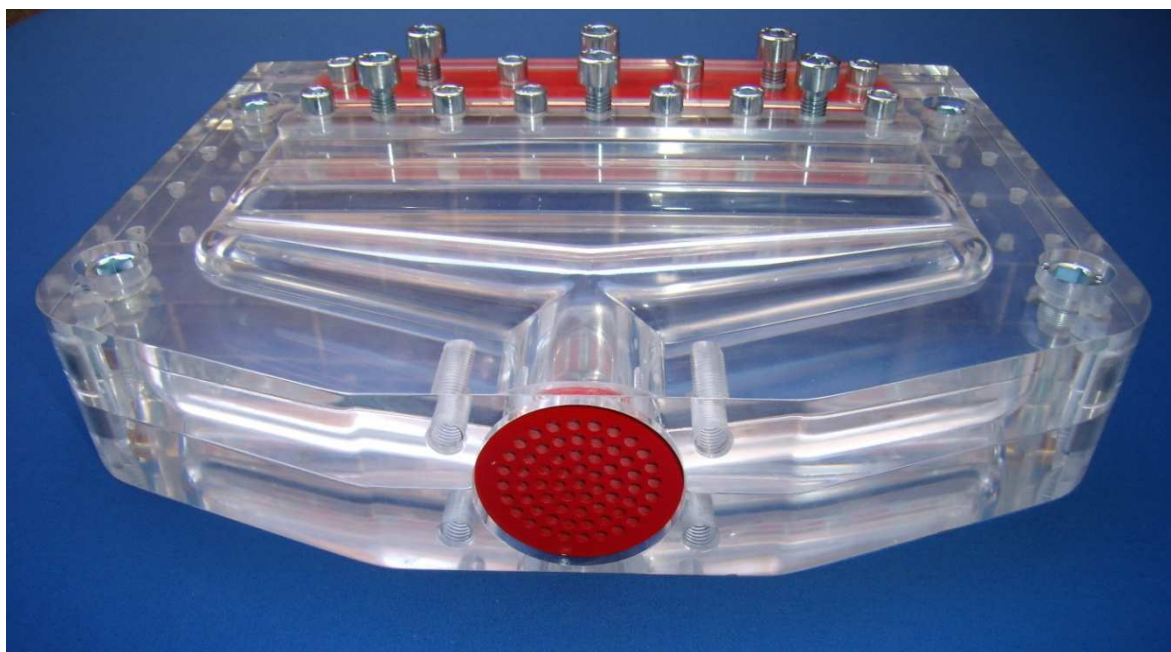
Obr. 61. Těleso 1 a 2 před sešroubováním.



Obr. 62. Sešroubování tělesa 1 a 2 pohled z boku.



Obr. 63. Sešroubování tělesa 1 a 2 pohled zepředu.



Obr. 64. Vložení lamače do hlavy.



Obr. 65. Připevnění příruby objímkového spoje.



Obr. 66. Výukový model široko-štěrbinové hlavy.

ZÁVĚR

Hlavním úkolem diplomové práce bylo, navrhnout a realizovat model výukové verze široko-štěrbínové vytlačovací hlavy. Jelikož má model sloužit ve výuce odborných předmětů pro názornou ukázkou hlavy, jsou na danou pomůcku kladeny vysoké optické požadavky.

Z tohoto důvodu je většina dílů vyrobena z čirého PMMA, která zaručuje po dokonalém vyleštění vysokou průhlednost a dobře odolává okolnímu prostředí. Zbylé díly jsou vyrobeny z neprůhledného PUR a povrchově upraveny nástřikem červené barvy. U návrhu 3D sestavy v CAD softwaru byla hlava vybavena šesti topnými pásy, které nebyly vyrobeny. Důvodem tohoto rozhodnutí je zhoršení optických vlastností a porušení dokonalé průhlednosti široko-štěrbínové hlavy po namontování topných pásů. Pokud by došlo k rozhodnutí, že topné pásy budou vyrobeny, jsou pro upevnění daných topných pásů po obvodu těles 1 a 2 vyvrtány díry se závity.

Při výrobě se došlo k závěru, že pro obrábění PMMA je potřeba dodržet speciální podmínky. Důležité je dosažení vhodné řezné rychlosti. Při vyšších rychlostech dochází k natavování termoplastu na obrobené ploše a za nízkých rychlostí k vylamování materiálu především na hranách obrobku. U vrtacích operací se osvědčilo přidání mýdlové vody do řezného procesu. Tím došlo ke kvalitnějšímu obrobení plochy díry. Před dokončovací operací broušením je třeba realizovat za podpory vodného prostředí, jinak může dojít k nežádoucímu poškození povrchu. Pro zvýšení efektivity dokončovací operace leštěním je důležité použít brusnou pastu.

Skutečnost, že kompletní hlava byla vyrobena autorem práce ve školní dílně, vykazuje ušetření nemalých finančních prostředků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAŇAS, Miroslav; TOMIS, František; HELŠTÝN, Josef. Výrobní stroje a zařízení : gumárenské a plastikářské stroje. Brno : VUT, 1990. 199 s. ISBN 802140213X.
- [2] ŠTĚPEK, Jiří; ZELINGER, Jiří; KUTA, Antonín. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. 637 s
- [3] MICHAELI, Walter. Extrusion dies for plastics and rubber. Munich : Carl Hanser Verlag, 2003. 360 s. ISBN 3-446-22561-7.
- [4] Měření viskozity [online]. [cit. 2011-03-15]. Dostupný z WWW:
< http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_viskozity.html>
- [5] *Polymethylmethakrylát* [online]. [cit. 2011-04-20]. Dostupný z WWW:
< <http://cs.wikipedia.org/wiki/Polymethylmethakryl%C3%A1t>>
- [6] TKOTZ, Ing. Klaus; a Kolektiv. *Příručka pro elektrotechnika*. První. U Slavie 4, 100 00 Praha 10 : Europa-Sobotáles cz. s.r.o, 2002. 564 s. ISBN 80-86706-00-1
- [7] ČENÝ, J.: Funkční model vstříkovací formy, Diplomová práce, FT UTB Zlín, 2009
- [8] *Zrnitost* [online]. [cit. 2011-04-20]. Dostupný z WWW:
< <http://www.sibera-kotouce.cz/co-je-zrnitost-a13>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC	Computer numeric control – počítačem číslicově řízený
CAD	Computer aided design – počítačem podporovaný návrh
3D	Trojrozměrný
PMMA	Polymethylmethakrylát
PUR	Polyuretan
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
$\dot{\gamma}$	Smyková rychlost
η	Viskozita
σ	Normálové napětí
σ_{xx} ,	Normálové napětí ve směru X
σ_{yy} ,	Normálové napětí ve směru Y
σ_{zz} ,	Normálové napětí ve směru Z
ψ_1	První koeficient normálových napětí
N_1	První rozdíl normálových napětí
N_2	Druhý rozdíl normálových napětí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Pístový vytlačovací stroj. [1]	13
Obr. 2. Diskový vytlačovací stroj. [1]	14
Obr. 3. Jednochodý šnek. [1]	15
Obr. 4. Lamač. [1]	16
Obr. 5. Rozdělení vytlačovacích hlav. [1]	17
Obr. 6. Konstrukce vytlačovacích trnů. [1]	17
Obr. 7. Přímá hlava pro vytlačování trubek. [2]	18
Obr. 8. Hlava se spirálovým rozdělovačem. [2]	19
Obr. 9. Příčná hlava s axiálním vtokem na vyfukování folii. [1]	20
Obr. 10. Příčná hlava s radiálním vtokem na vyfukování folii. [1]	21
Obr. 11. Tok taveniny široko-štěrbinovou hlavou. [3]	22
Obr. 12. Typická tlaková distribuce široko-štěrbinové hlavy. [3]	22
Obr. 13. Široko-štěrbinová hlava pro vytlačování desek. [2]	23
Obr. 14. Základní typy plochých koextruzních hlav.	24
Obr. 15. Logaritmická závislost viskozity na smykové rychlosti.	25
Obr. 16. Schéma rotačního viskozimetru typu válec-válec. [4]	26
Obr. 17. Schéma rotačního viskozimetru typu kužel-deska. [4]	27
Obr. 18. Složky napětí pro jednosměrný tok. [2]	28
Obr. 19. Tvar hubice a výsledného profilu. [2]	30
Obr. 20. Model široko-štěrbinové hlavy.	40
Obr. 21. Sestava široko-štěrbinové hlavy.	41
Obr. 22. Těleso 1.	42
Obr. 23. Těleso 2.	43
Obr. 24. Ustavení a spojení těles 1 a 2.	43
Obr. 25. Příruba objímkového spoje.	44
Obr. 27. Uchycení objímkové příruby do těles 1 a 2.	45
Obr. 28. Lamač.	45
Obr. 29. Uložení lamače ve vytlačovací hlavě.	46
Obr. 30. Stavitelný brzdňý můstek.	46
Obr. 31. Princip seřízení stavitelného brzdňého můstku.	47
Obr. 32. Pevná čelist.	47
Obr. 33. Uložení a ukotvení pevné čelisti.	48

Obr. 34. Stavitelná čelist.....	48
Obr. 35. Princip seřízení stavitelné čelisti.	49
Obr. 36. Charakteristika termistoru a snímač teploty termočlánkem. [6].....	49
Obr. 37. Rozmístění topných pásů.....	50
Obr. 38. Uchycení topných pásů na vytlačovací hlavě.....	50
Obr. 39. Práce v CAM softwaru. [7].....	51
Obr. 40. Pracovní prostředí v softwaru NX 7.5.....	52
Obr. 41. Verifikace drah nástroje.....	53
Obr. 42. Verifikace dat v 3D zobrazení.	53
Obr. 43. Základní nastavení obráběcí operace v NX 7.5.....	54
Obr. 44. Široko-štěrbinová hlava.....	55
Obr. 45. CNC frézka HWT 442.....	56
Obr. 46. První upnutí a obrobení vybrané součásti.....	57
Obr. 47. Druhé upnutí a obrobení vybrané součásti.	58
Obr. 48. Třetí upnutí a obrobení vybrané součásti.	58
Obr. 49. Frézovací nástroje.....	59
Obr. 50. Upnutí součásti a pracovní prostor stroje.	60
Obr. 51. Druhé upnutí a obrobení vybrané součásti.	60
Obr. 52. Hrubovací operace při třetím upnutí obrobku.	61
Obr. 53. Vzhled součásti po dokončovací frézovací operaci.....	61
Obr. 54. Součásti vyroben z PMMA před broušením a leštěním.	63
Obr. 55. Součásti vyrobené z PMMA po vyleštění.	63
Obr. 56. Prostředky pro dokončovací operaci.	64
Obr. 57. Dokončený povrch součástí z PUR.	64
Obr. 58. Přehled všech dílů před montáží hlavy.....	65
Obr. 59. Upevnění pevné čelisti do tělesa 1.	66
Obr. 60. Montáž stavitelné čelisti a brzdného můstku na tělesa 2.....	66
Obr. 61. Těleso 1 a 2 před sešroubováním.	67
Obr. 62. Sešroubování tělesa 1 a 2 pohled z boku.....	67
Obr. 63. Sešroubování tělesa 1 a 2 pohled zepředu.....	68
Obr. 64. Vložení lamače do hlavy.	68
Obr. 65. Připevnění příruby objímkového spoje.....	69
Obr. 66. Výukový model široko-štěrbinové hlavy.	69

Seznam tabulek

<i>Tab. 1. Parametry CNC frézky HWT 442. [7]</i>	<i>56</i>
--	-----------

SEZNAM PŘÍLOH

P I – Výkres sestavy široko-štěrbinové vytlačovací hlavy.

P II – Kusovník sestavy.

P III – CD s kompletní datovou dokumentací pro výrobu široko-štěrbinovou vytlačovací hlavy.