

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Aplikace technologie GIT pro vybraný díl

Application of GIT technology for a molded part

Jan Formáček

KSP - TP - 763

Vedoucí diplomové práce: Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: Dipl. Ing. Roland Schöberl – *WITTE Nejdek spol. s r.o.*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	70
Počet tabulek	06
Počet příloh	02
Počet obrázků	49
Počet vzorců	0

Datum: 26.5.2006

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Jan Formáček

Téma práce: Aplikace technologie GIT pro vybraný díl

Application of GIT technology for a molded part

Číslo DP: KSP - TP - 763

Vedoucí DP: Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld – *TU v Liberci*

Konzultant: Dipl. Ing. Roland Schöberl – *WITTE Nejdek, spol. s r.o.*

Abstrakt:

V diplomové práci je řešena problematika výroby automobilové dvevní kliky pomocí technologie GIT. Hlavními požadavky při výrobě je doba cyklu a její následné zkracování, dále pak kvalita reprezentovaná rozměrovými parametry a kvalitou povrchu. Tyto parametry jsou experimentálně prověřeny v této práci. Na závěr jsou uvedeny návrhy na možná zlepšení technologického procesu GIT s proplachem.

Abstract:

This thesis resolve problems related to production of car handle, using GIT technology. Main requirements in production are time of one cycle and reduction of this time, followed by quality identified by dimension parameters and surface quality. The quality parameters are experimentally tested in this thesis. As result of this thesis potential improvement suggestions of GIT technology process with purge are specified.

Místopřísežné prohlášení:

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

V Liberci, 26. května 2006

.....

Jan Formáček
Kollárova 1267/15
36301 Ostrov

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval lidem, kteří mě podporovali při zpracování této diplomové práce.

Zejména mému konzultantovi Dipl. Ing. Rolandu Schöberlovi, vedoucímu mé diplomové práce Doc. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi, Ing. Petru Lackovi, Ing. Janu Děbnárovi a ostatním pracovníkům z WITTE Nejdek za poskytnutou pomoc, rady a materiály. Bez jejich dohledu a vedení by tato práce nevznikla.

Nakonec bych také chtěl poděkovat svým rodičům za podporu a trpělivost v průběhu mého studia.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon
č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých
autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom
povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne
požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné
výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na
základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, 26.5. 2006

.....

Jan Formáček

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

V Liberci, 26.5. 2006

.....

Jan Formáček

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
1. Úvod.....	9
2. Profil firmy	10
3. Teoretická část.....	11
3.1. GIT – Úvod do technologie.....	11
3.2. Výhody a důvody použití GIT.....	11
3.3. Nevýhody použití GIT	12
3.4. Typy výrobků GIT.....	13
3.5. GIT – Vstřikování plastů s podporou plynu	13
3.6. Tvorba dutiny	16
3.7. Technologické způsoby vstřikování GIT.....	18
3.7.1. Krátký vstřik (short – shot)	18
3.7.2. Plný vstřik (full - shot)	21
3.7.3. Plný vstřik s přetokem do pomocné (vedlejší) dutiny.....	22
3.7.4. Plný vstřik s přetokem taveniny zpět do stroje	24
3.7.5. Vstřikování do dutin s pohyblivými jádry	25
3.7.6. Vstřikování s následným proplachem	26
3.8. Používané plasty pro GIT	27
3.9. Chlazení dílu	28
3.9.1. Temperace formy a chlazení dílu GIT	28
3.9.2. GIC – Vnitřní chlazení plynem	30
3.10. Formy pro technologii GIT	32
3.10.1. Návrh a konstrukce dílů GIT	32
3.10.2. Konstrukční zásady při návrhu dílů GIT.....	33
3.10.3. Návrh tvaru kanálu	34
3.10.4. Návrh velikostí kanálu	37
3.10.5. Konstrukce forem pro GIT.....	38
3.10.6. Funkce injektorů.....	40
3.10.7. Typy injektorů.....	42
3.10.8. Ovládání injektorů.....	43
3.11. Stroje.....	44
4. Experimentální část	45
4.1. Úvod.....	45
4.2. Charakteristika vybraného dílu.....	46
4.3. Materiál pro výrobu kliky	47
4.4. Vstřikovací stroj	48



4.5.	Vstřikovací forma	49
4.6.	Periferní zařízení	52
4.7.	Popis průběhu experimentu	53
4.8.	Popis vstřikovacího cyklu	56
4.9.	Získaná data a výsledky z experimentů	57
4.9.1.	Výsledky z měření č.1	57
4.9.2.	Výsledky z měření č.2	58
4.10.	Vady a jejich příčiny	62
4.11.	Hodnocení stability procesu	63
4.12.	Návrhy a možná zlepšení	64
5.	Diskuze výsledků diplomové práce	66
6.	Závěr	68
	Seznam použité literatury	69

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení:	Rozměr:	Význam:
GIT	-	technologie vstřikování s podporou plynu
WIT	-	technologie vstřikování s podporou vody
GIC	-	vnitřní chlazení plynem
EMS	-	system environmentálního managementu
p	[Pa]	tlak
Δp	[Pa]	tlakový rozdíl
S	[m ²]	plocha
w	[m.s ⁻¹]	rychlost proudění
N ₂	-	dusík
PA6 – GF30	-	polyamid 6 plněný 30% skelných vláken
KM	-	Krauss Maffei

1. Úvod

Během několika posledních let se v oblasti vstřikování plastových dílů objevila celá řada nových technologií, které umožňují vyrábět širokou škálu výrobků s vlastnostmi, kterých nejsme za pomoci klasického vstřikování schopni docílit. Tyto technologie otevírají cestu nekonvenčním tvarovým řešením dílů, použití nových materiálů, umožňují integraci různých typů plastů do jednoho dílu a v mnoha případech jsou jedinou schůdnou alternativou, jak docílit požadovaných vlastností výrobku. GIT technologie, kterou se zabývá tato diplomová práce, zažívá v posledních letech rozvoj a inovace jako žádná jiná vstřikovací technologie. Proto patří vedle vícekomponentního vstřikování a hybridního zastříkávání k nejdůležitějším speciálním technologiím.

Cílem této diplomové práce je vytvořit přehled možností, jak docílit s GIT technologií efektivnější a ekonomičtější výroby s ohledem na kvalitu a rozměrové parametry. Jde především o princip společnosti Linde Gas a.s., která vynalezla a patentovala způsob účinnějšího chlazení již hotových dílů. Jde o proplachování dusíkem po dotlaku u technologie GIT. Tato metoda výrazně zkracuje dobu cyklu, čímž zvyšuje produkci.

V první části diplomové práce je teoreticky popsána GIT technologie, periferní zařízení, způsob tvorby dutiny, konstrukční doporučení pro návrh geometrie GIT dílů, konstrukce GIT forem atd.

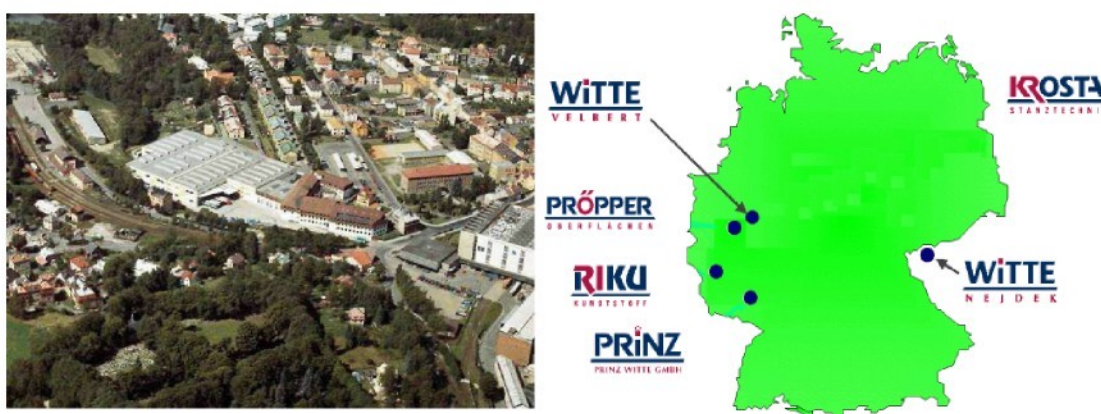
V druhé části je experimentálně prověřena GIT technologie s následným proplachem dusíku. Přitom je hodnocena stabilita procesu a vlivy jednotlivých technologických parametrů na geometrii výrobku, na mechanické vlastnosti a na vzhledové vady.

V třetí, závěrečné části diplomové práce, je provedeno srovnání získaných výsledků z jednotlivých kapitol experimentu a jejich diskuse.

2. Profil firmy

Firma WITTE Nejdek (viz. obr. 2.1), spol. s r.o. patří mezi přední dodavatele v oblasti zamykacích systémů a klik pro automobilový průmysl. Vybíjí a montuje výrobky pro většinu evropských automobilek (VW, Volvo, Škoda, Mercedes, Ford, BMW, Daimler Chrysler atd.).

Vedle vývoje a montáže zámků a garnitur má také vlastní vstřikovnu plastů specializovanou na obstřík kovových zálisků. Vyrábí však i celoplastové výrobky. Mezi své produkty může počítat také vlastní montážní a kontrolní přípravky či formy.



Obr. 2.1: Poloha a situování společnosti WITTE Nejdek [14] [15]

Budoucnost společnosti se rodí na vlastních vývojových pracovištích. Nedílnou součástí vývoje výrobku jsou také vývojová pracoviště konstrukce a technické přípravy výroby, která umožňují realizaci vývojových projektů. Aby mohli uspokojit své zákazníky, musí samozřejmě splňovat vysoké požadavky na kvalitu (ISO TS 16949, ISO 9001).

Důležitou součástí činnosti je také vybudovaný systém ochrany životního prostředí (EMS), jehož účinnost se podařilo stvrdit získáním "ekologického" certifikátu (ISO 14001).

Plánovaný počet zaměstnanců k 31.12.2005 je přibližně 1600, plánovaný obrát firmy pro rok 2005 činí 180 mil. EUR [14].

3. Teoretická část

3.1. GIT – Úvod do technologie

GIT technologie je již více jak 20 let stará. První patent byl ohlášen v Německu roku 1971. Tehdy však ještě nebyly známy všechny možnosti této speciální metody. Trvalo více než 10 let, než si GIT získal všeobecné uplatnění. V 80. letech publikovala firma Gain a Peerless několik článků o procesu a jeho možnostech využití. Od té doby zkoumá, objasňuje a hledá možnosti využití tohoto procesu mnoho vysokých škol, dodavatelů materiálů, výrobců strojů, softwarových společností a zpracovatelů. Cílem těchto prací bylo:

- lepší porozumění průběhu GIT procesu
- vývoj vhodného zařízení pro přívod plynu
- posuzování vhodnějších konstrukčních variant pro GIT výrobky
- určení důležitých veličin ovlivňujících proces poznatky o vlivu materiálů na proces vzniku dutiny

V první euforii bylo mnoho GIT dílů zkoušeno vyrábět nevhodnou technikou. Zatím získala většina uživatelů tolik zkušeností, že mohou rozeznat základní rysy výrobku, potřebné již pro projektovou fázi výroby. Mezitím vzniklo též více výpočetních programů, s jejichž pomocí se daří celý proces simulovat na počítačích [4].

3.2. Výhody a důvody použití GIT

Výhodou GIT je snížení uzavíracích sil, snížení smrštění, zkrácení délky cyklu (zkrácení doby chlazení vlivem zmenšení tloušťky stěny při zachování chladicí plochy nástroje), snížení hmotnosti výrobku, nízká deformace ploch výrobků, vysoký stupeň tuhosti u dílů s žebry a zachování požadovaných mechanických vlastností a minimalizace deformací výstřiku, vzniku staženin a snížení spotřeby plastu včetně zlepšení poměru hmotnost – tuhost při zachování vysoké kvality povrchu. Dochází k redukci hmotnosti

až o 50 % a ke zkrácení doby cyklu také až o 50 %. Je možné počítat s poklesem výrobních nákladů o 30 až 50 % [3].

Nejdůležitější důvody pro použití GIT jsou:

- vytvoření rovnoměrné tloušťky stěny bez propadlin;
- snížení chladicího času pro tlustostěnné výrobky;
- menší smrštění (plyn = dotlak) ;
- snížení plnicího tlaku a uzavírací síly – levnější stroj;
- zhotovení geometrie s vysokou torzní tuhostí;
- málo se deformující výstřik v kombinaci s velmi tlustostěnnými a velmi tenkostěnnými místy bez znatelného narušení jakosti povrchu.

V neposlední řadě zde uváděné důvody rozebírající oblast použití GIT, které jsou pro standardní vstřikování nemyslitelné:

- tlustostěnné rukojeti, přesto bez propadlin nebo dutin na nepříznivých místech;
- výstřiky na motorová vozidla jako spoilery nebo ozdobné lišty;
- mříž chladiče osobního automobilu která dodává cíleným profilem přídavný přítlak na přední nápravu;
- velkoplošné součástky jako kryt kopírky, kryt televizoru, u osobního automobilu obložení sloupku, atd. které jsou plněny přes jeden jediný vtok;
- výrobky s vysokými mechanickými nároky jako pedály, které jsou namáhány při sešlápnutí jak ohybem tak i krutem [4].

3.3. Nevýhody použití GIT

Nevýhodou technologie GIT je vyšší cena nástroje a stroje, problematické chlazení v místech kanálů, řízení procesu, chladí pouze stěna formy (plyn nechladí), omezená realizovatelnost vícenásobných forem, většinou nutná licence pro zavedení technologie atd.

Pro GIT jsou nevhodné ploché výrobky bez přednostního směru pro plynový kanál. To jsou např.:

- kelímky;

- zásuvné lišty;
- většina obalových výrobků [4].

3.4. Typy výrobků GIT

Výrobky GIT jsou typické svou lehkostí, tuhostí a tvarovou stálostí, kterou jim zajišťuje dutina tvořící buď samostatný díl nebo jeho určitou část

(viz. obr. 3.1). Mohou tak vzniknout typově dva druhy výlisků s tzv. vázaným nebo s volným kanálem (dutinou). Díly s volným kanálem tvoří dutiny s minimálním napojením jiných tvarových částí a

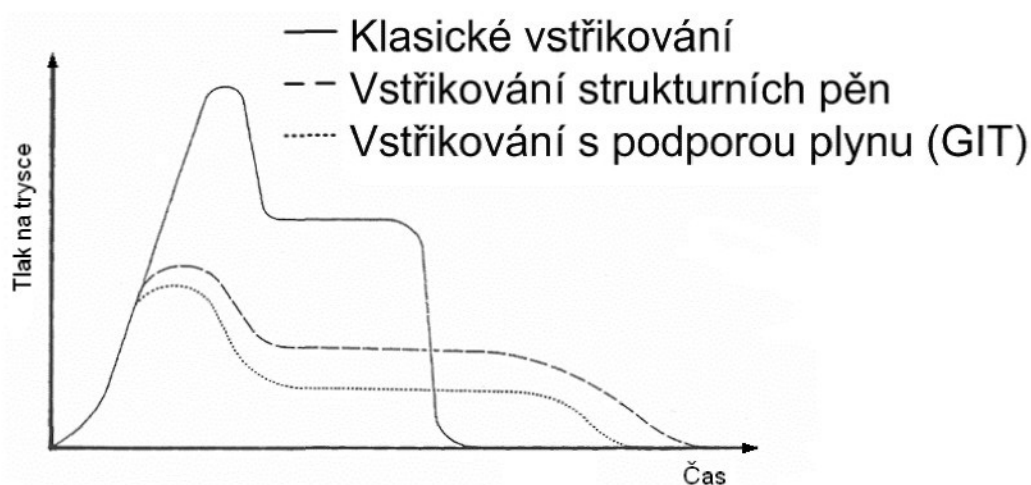


Obr. 3.1: Typy GIT výrobků [1] [13]

většina dílů GIT má právě tento charakter [1].

3.5. GIT – Vstřikování plastů s podporou plynu

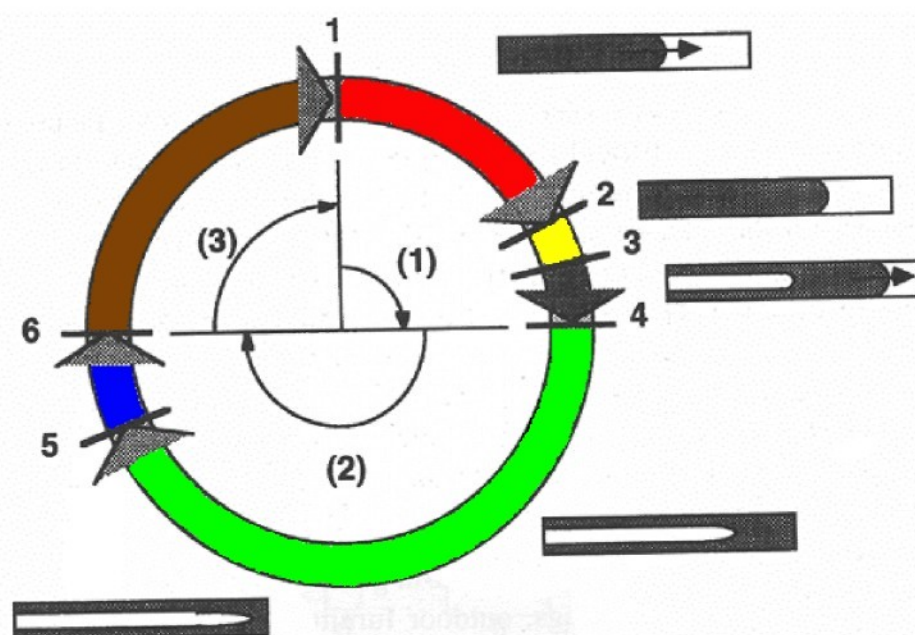
Speciální technologie vstřikování s plynem (GIT), u které se jedná o ekvivalent vstřikování termoplastů, vyvinutý v osmdesátých letech s možností vyrábět díly s uzavřenými dutinami, které jsou vytvořeny „ničím“, kdy se do



Obr. 3.2: Srovnání vstřikovacích tlaků [2]

určitých míst výstřiku za účelem vytvoření dutiny přivádí plyn, většinou dusík, čímž se vytvoří výlisek o zdánlivě velkém průřezu, přičemž odpadne nutnost chladit velké množství roztavené plastické hmoty (viz. obr. 3.2). Jako plynu je použito vysoce čistého dusíku (čistota min. 99,8 %) s možností jeho stlačování v rozsahu 10 až 30 MPa.

Vlastní proces vstřikování je obdobný jako u klasické technologie vstřikování, tedy zavření formy, vstřik, dotlak, chlazení, otevření formy a vyhození výrobku (viz. obr. 3.3). Tlak plynu zde však přebírá funkci dotlaku, je však nutné pomocí konstrukce tvaru (geometrická opatření) kontrolovat směr pohybu plynu. Žebra a rozdílné tloušťky stěn potom slouží k vedení plynu.



Cyklus:

Oblast (1) Vlastní plnicí fáze

1: Začátek cyklu

1-2: Vlastní fáze vstřiku

2: Konec vstřiku

2-3: Prodleva před vstřikem plynu

3: Začátek vstřiku plynu

3-4: Přívod plynu do taveniny hmoty

4: Dutina naplněna

Oblast (2) Fáze po naplnění

4-5: Fáze dotlaku

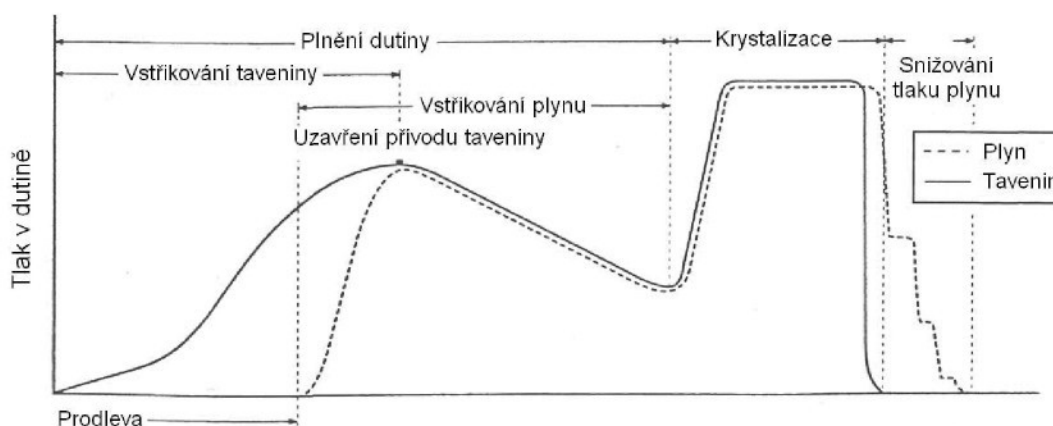
5: Dotlak končí, materiál ztuhnul

6: Otevření formy

Oblast (3) Fáze otevření formy

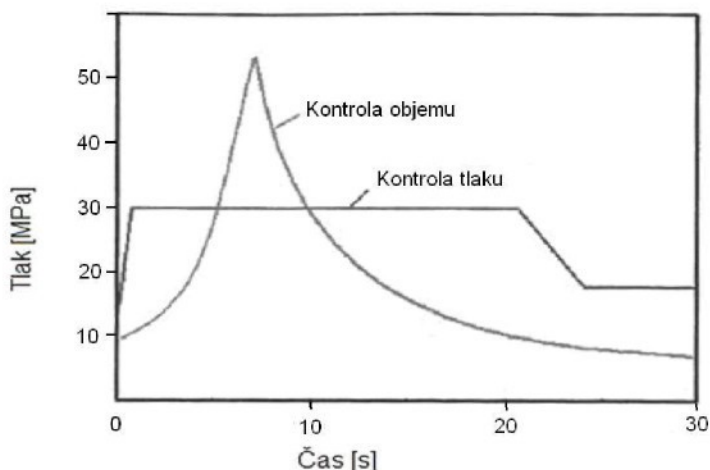
Obr. 3.3: Vlastní proces GIT [2]

Při vstřikování s podporou plynu je nejdříve vstříknut plast (nejlépe s pomocí horkých vtoků pro ideální homogenitu a teplotu taveniny) a teprve potom plyn, protože při současném vstřikování by se plyn dostal na povrch výstřiku. S ohledem na velký rozdíl mezi viskozitou taveniny a plynu, vytváří se zde zcela jiný typ proudění, než je klasické proudění taveniny plastu. Plyn musí být přiveden do určeného místa výstřiku v přesně stanovený okamžik, kdy plast ještě nestačil ztuhnout vlivem dotyku se stěnou formy (důsledek chlazení) a nebo do míst, kde není tavenina plastu v nečinnosti. To klade vysoké nároky na konstrukci formy. Z počátku se přivádí plyn o nižším tlaku, aby nedošlo ke vzniku povrchových vad (vytvoření dutiny). Po úplném naplnění tvarové dutiny formy se tlak plynu zvýší, aby se dosáhlo přesného dotvarování dílu (viz. obr. 3.4).



Obr. 3.4: Průběhy vstřikovacích tlaků [2]

Kontrolu tlaku plynu provádí tlaková jednotka, která je součástí vstřikovacího stroje, a může být řízena jednak z hlediska kontroly objemu nebo tlaku (viz. obr. 3.5). V zásadě však platí, že pro tekutější hmoty je



Obr. 3.5: Kontrola objemu nebo tlaku [2]

potřeba nižší tlak a naopak.

Možnosti přívodu plynu za účelem vytvoření dutiny jsou v podstatě dvě, *tryskou* nebo *injektorem* s průměrem jehly 3 až 5 mm. U injektoru je nebezpečí ucpání jehly zbytky tavenin termoplastů při zpětném odsávání plynu. Důležitým parametrem u technologie GIT je doba prodlevy mezi vstříkáním taveniny a přívodem plynu, protože s rostoucí dobou prodlevy roste i tloušťka stěny výrobku vlivem chlazení. Stejně závěry platí i pro teplotu taveniny a teplotu formy, které také ovlivňují hmotnost výrobku a tloušťku stěny [3].

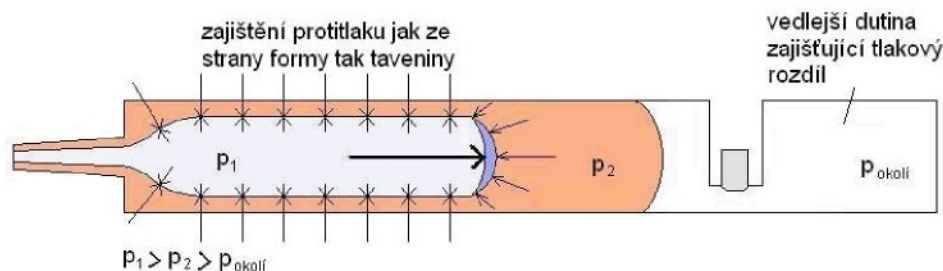
3.6. Tvorba dutiny

Vznik dutiny probíhá prakticky ve dvou fázích. První je fáze primární, při níž dochází ke vzniku a šíření dutiny. Druhá je fáze sekundární, která se projevuje růstem dutiny během dotlaku, kdy dochází ke zvětšení dutiny o velikost odpovídající smrštěnému objemu taveniny.

Počátečním impulsem pro vznik dutiny je otevření injektoru a vstříknutí pomocného média do taveniny. Podmínka, kterou musíme v této fázi splnit je jediná, a to aby tlak plynu byl při otevření injektoru vyšší, než je tlak v tavenině. V opačném případě plast přetlačí plyn a nateče do injektoru, který se tak s největší pravděpodobností ucpe. Proto je třeba plyn před vstříknutím dostatečně natlakovat. Po otevření injektoru začne plyn proudit do taveniny o definovaném průtoku či tlaku a začne tlačit taveninu do volných míst ve formě, čímž dojde ke tvorbě dutiny. Aby se mohla plynová bublina taveninou šířit, je třeba, aby existoval tlakový rozdíl, spád (viz. obr. 3.6), který bublinu nutí k pohybu.

Bublina se vždy šíří z míst o vyšším tlaku do míst s tlakem nižším, které tvoří převážně konce dutin nebo dutiny pomocné, pomocí nich můžeme směr šíření bubliny i řídit. To je praktické zejména u rozvětvených kanálů. Místa nízkých tlaků tvoří rovněž oblasti s nejteplejší taveninou a může tak dojít k cestování bubliny v kanálu například v místech napojení stěny nebo k jejímu zaběhnutí mimo tenký kanál do tlustší stěny (případ dílů s vázanými kanály).

Rychlost šíření bubliny je dána velikostí tlakového spádu, který roste s tlakovým rozdílem mezi místem odkud se bublina šíří a místem kam se šíří. Proto, aby plyn během své cesty pouze neproletěl kanálem, ale vytvořil dutinu tvaru, je nutný protitlak taveniny, který usměrňuje chování plynu (viz. obr. 3.6). Ten je ve směru kolmém na dutinu zajištěn stěnou kanálu formy a



Obr. 3.6: Faktory působící při tvorbě dutiny [1]

ve směru dutiny dostatečným polštářem taveniny. Velikost protitlaku ve směru kanálu je dána viskositou taveniny a objemem taveniny před čelem plynové bubliny.

Pro získání kvalitní dutiny je rovněž důležité aby byl protitlak rovnoměrný, nebo aby se dokonce neztratil. Rovnoměrný protitlak zajistíme nejlépe v kruhových kanálech s minimálními změnami průřezů (viz. obr. 3.19) a dostatečným polštářem taveniny před plynovou bublinou (viz. obr. 3.7).



Sendvičové vstřikování



Vstřikování za podpory plynu (GIT)

Obr. 3.7: Porovnání tvaru dutin [4]

První podmínka je splněna u všech dílů s trubkovou geometrií. V druhém případě musíme nadávkovat dostatek plastu.

Ztrátu protitlaku může způsobit i malé množství taveniny před plynovou bublinou nebo ztráta podpory stěny formy, například při prudkém ohybu proudu taveniny (viz. obr. 3.22). V těchto případech není plyn ničím držen a bublina může vyběhnout skrz taveninu do dutiny formy nebo se vychýlí ze svého směru do míst bez protitlaku. Protitlak taveniny je základním předpokladem pro možnost vzniku a tvorbu dutiny a ze strany nástroje je nejvíce ovlivněn vedením kanálu, resp. jeho geometrií.

Druhou fází tvorby dutiny představuje sekundární průnik. Ten nastupuje při fázi dotlaku, kdy už je dutina plně vytvarovaná a plast vlivem tlaku plynu a chlazení začíná tuhnout a smršťovat se na stěně formy. Dochází tak k zvětšování dutiny na úkor smrštěné hmoty, jejíž místo zaujme plyn. U GIT se vnitřní stěna dutiny tolik neochlazuje a plyn tak snadněji proniká do ne zcela ztuhlých míst ve výlisku. Snadný průnik plynu má jak své výhody, tak i nevýhody. Výhodou je vysoká kompenzace objemu i v místech nahromadění materiálu. Nevýhodou je právě snadné prostupování plynu do objemnějších částí výlisku a vznik nechtěných dutin zeslabujících tvar [1].

3.7. Technologické způsoby vstřikování GIT

3.7.1. Krátký vstřík (short – shot)

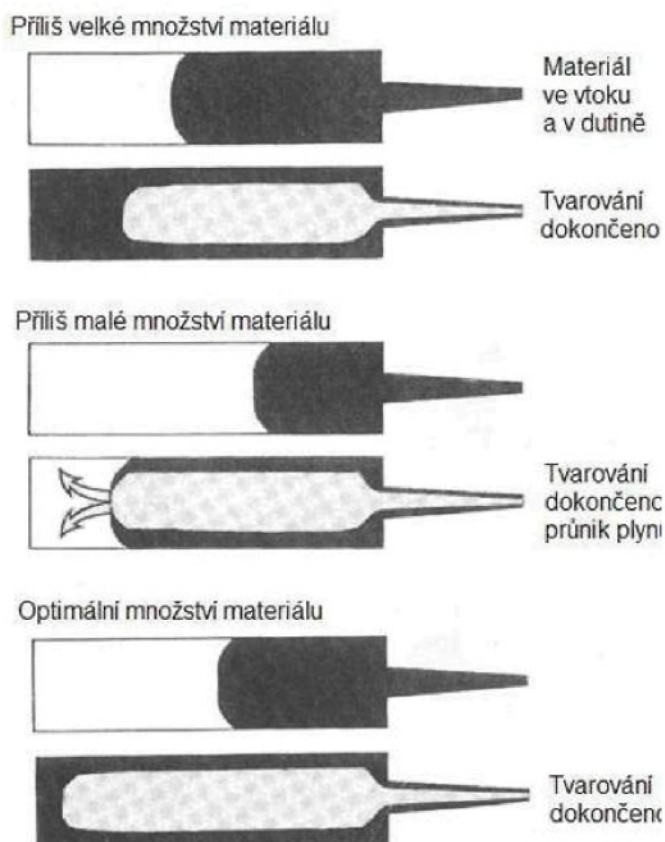
U krátkého vstříku (viz. obr. 3.8), výlisek vzniká vytlačení taveniny z částečně naplněné formy do zbytku dutiny pomocí plynu. Zjednodušeně si celý proces můžeme představit tak, že v první fázi vstříkneme do dutiny formy určité množství plastu. To obvykle tvoří kolem 50 - 95 % celkového objemu výrobku. Forma tedy není během plnění taveninou zcela zaplněna! Po vstříknutí potřebné dávky taveniny se uzavře vstřikovací tryska nebo ústí vtoku a do plastu je přes injektor vstříknut plyn, který svým tlakem vytlačí taveninu do zbytku volné dutiny formy. Správná volba množství vstříknuté dávky plastu závisí na velikosti výstřiku, resp. na délce kanálu. Vstříkneme-li příliš malé množství taveniny, může se stát, že jí nebude dost pro následné vytvarování a plyn vyběhne do volné dutiny formy. V opačném případě, kdy je vstříknutá dávka plastu moc velká, nezůstane dost místa pro plyn ani pro vznik dutiny. Výrobek je pak zbytečně těžký, nehledě k plýtvání plastem.

Dávka taveniny by proto měla být optimální, aby se mohla vytvořit rovnoměrná dutina v celé délce kanálu.

Pro vstřik plynu je důležité, jak jeho množství a tlak, tak okamžik jeho vstřiku do taveniny. Vstříkneme-li plyn do taveniny příliš brzy, dojde k podobnému efektu jako v případě malého množství plastu, kdy před čelem plynu není dostatečné množství materiálu a dojde nejspíš k vyběhnutí plynu do volné dutiny (viz. obr. 3.9). Tento případ by neměl prakticky vůbec nastat, protože ke vstřiku plynu by mělo dojít až po naplnění dutiny dávkou plastu, ne dříve. I okamžik vstřiku plynu je však řízen softwarem a tuto chybu nelze vyloučit. Vstříkneme-li plyn příliš pozdě, může být už tavenina prodlevou v kanálu natolik ztuhlá, že ji nebude možno vytvarovat.

Proces krátkého vstřiku klade vysoké nároky na vazbu, stroj, nástroj, řídicí periferie a patří k dosti složitým, co

se týká optimalizace procesních parametrů a jejich sladění. Velkou nevýhodou krátkého vstřiku je nutnost dávkovat vždy stejné množství taveniny. Tento požadavek je zejména v případě vícenásobných forem téměř nesplnitelný vzhledem k rozdílným odporům při toku taveniny v rozváděcích kanálech formy, které způsobí nerovnoměrné naplnění jednotlivých dutin formy. Vytvarováním různých objemů plastu vznikají díly s nesterpnou hmotností, dutinou a s rozdílnou tloušťkou stěny. U takto proměnlivé geometrie tvaru, kus od kusu, není možné zajistit rovnoměrné podmínky



Obr. 3.9: Možné průběhy plnění dutiny [2]

chlazení a ani stejnorodé mechanické vlastnosti výlisku. V případě vstříku přes horké vtoky lze nerovnoměrné plnění do jisté míry vyvážit úpravou teploty horkých trysek. Na zajištění stejné dávky taveniny pro každou dutinu to však nestačí a krátký vstřík je proto pro vícenásobné formy prakticky nepoužitelný. Další podstatnou nevýhodou při aplikaci krátkého vstříku je vada povrchu, která vzniká při stagnaci plastu na stěně formy, při prodlevě mezi koncem vstříku plastu a počátkem vstříku plynu. Vzniklá, tzv. stopa ze zpoždění, která se nedá odstranit. U pohledových dílů je tak krátký vstřík téměř nepoužitelný.

K hlavním přednostem krátkého vstříku patří vysoké využití plastu a možnost změny hmotnosti dílu pouhou změnou vstříknuté dávky plastu. Následným vytvarováním menšího či většího objemu taveniny lze do jisté míry rovněž řídit tloušťka stěny. Tato dávka by měla být opět v každém cyklu stejná.

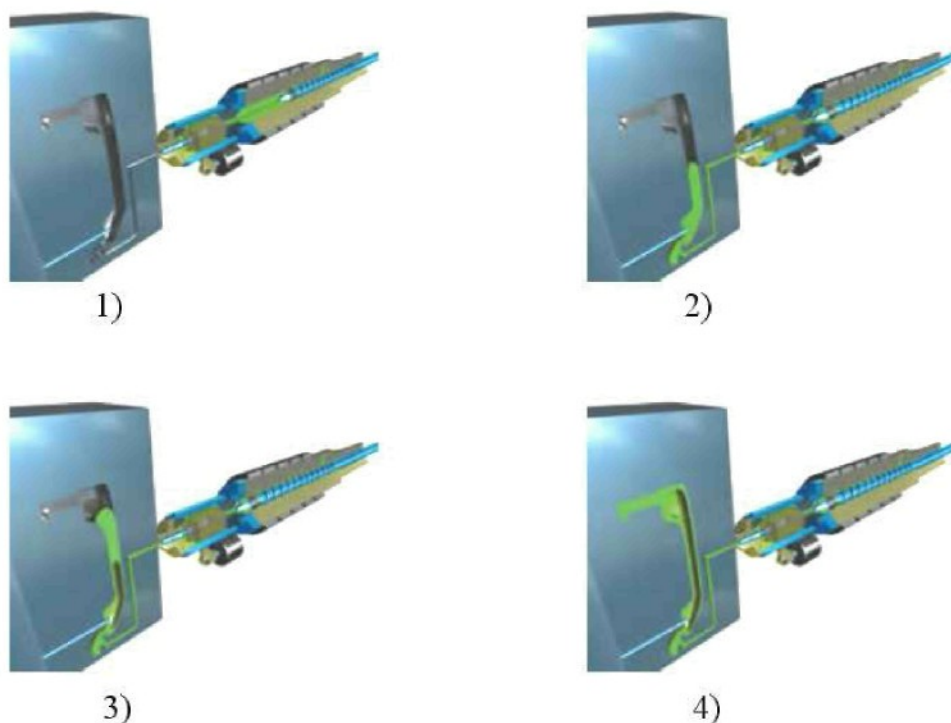
Rozhodující vliv na rovnoměrnost dávkování plastu v každém cyklu má vstřikovací stroj. Ten by měl být schopen dávkovat taveninu s maximální chybou mezi 0,3 - 0,5 %. Přesnost dávkování je vždy udávána výrobcem stroje. Většina dnes používaných strojů požadovaných přesností běžně dosahuje.

Výhody krátkého vstříku:

- minimální odpad;
- možnost kontroly velikosti dutiny a váhy dílu;
- díl tvarově stabilní, bez propadlin.

Nevýhody:

- viditelné stopy ze zpoždění;
- nutnost stejné dávky plastu v každém cyklu;
- téměř nepoužitelné pro vícenásobné formy;
- zvláštní řídicí modul pro každé hnízdo;
- větší nebezpečí vyběhnutí plynu [1].

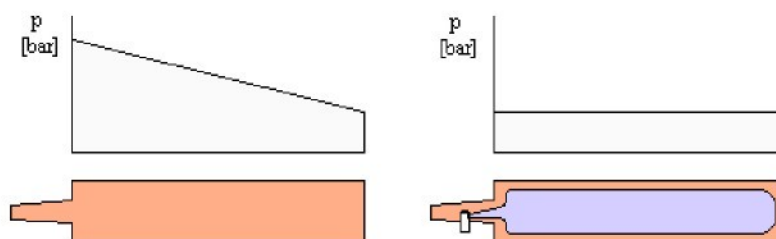


Obr. 3.8: Krátký vstřík (short – shot) [2]

3.7.2. Plný vstřík (full - shot)

Pro pochopení funkce plného vstříku je důležité zdůraznit, že jde o metodu, jejíž jediným úkolem je eliminace propadlin. Nepoužívá se tedy ani pro vylehčení dílu ani pro cílenou tvorbu dutiny. Tvar a povrch vylisku je totiž vytvořen ještě před vstříkem plynu do taveniny!

Plný vstřík začíná úplným naplněním formy taveninou jako u běžného vstřikování. Poté se uzavře vstřikovací tryska a do taveniny je přes injektor po čase vstříknut plyn. Od tohoto okamžiku se působí na taveninu pouze prostřednictvím pomocného média, které postupně vyplňuje volné místo v tavenině vzniklé snižováním objemu plastu během tuhnutí a následného smrštění. Vzniká tak dutina, v níž působí plyn rovnoměrným tlakem místo dotlaku (viz. obr.



Obr. 3.10: Působení tlaku při klasickém vstřikování a při GIT technologii [2]

3.10). Plyn má u plného vstřiku pouze dvě funkce. Chladí díl a kompenzuje objem po smrštění plastu, čímž zabraňuje vzniku propadlin. Jelikož tvorba dutiny závisí na chování materiálu při tuhnutí, tak bude více než jinde záležet na tom, použijeme-li plast amorfnní nebo semikrystalický. V případě použití semikrystalických plastů vznikne díky jejich většímu smrštění objemnější dutina. U amorfnních tomu bude právě naopak. Důvodem pro použití plného vstřiku však není získání menší či větší dutiny, jak už bylo zdůrazněno, ale hlavně získání výrobku bez propadlin a deformací. Pro výrobu objemnějších dílů jako, jsou dveřní kliky, se v důsledku omezené možnosti redukce materiálu a tím i hmotnosti výstřiku, tento způsob nepoužívá.

Největší výhodou plného vstřiku je kvalitní povrch, který vzniká způsobem klasického vstřikování a není tedy závislý na následné tvorbě dutiny.

Výhodou této metody jsou :

- kvalita povrchu nezávisí na tvorbě dutiny;
- díl tvarově stabilní, bez propadlin;
- vhodnost pro výrobu i ve vícenásobné formě;
- kvalitní povrch výstřiku bez stop ze zpoždění.

Nevýhody:

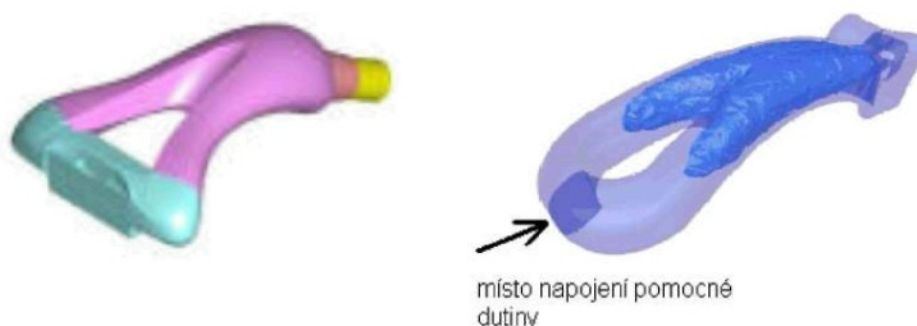
- vysoká doba chlazení;
- omezení dutiny na velikost smrštěného objemu;
- nízký poměr váha – objem [1].

3.7.3. Plný vstřik s přetokem do pomocné (vedlejší) dutiny

Tento způsob vstřikování je analogií metody full - shot. Dutina však nevzniká pouhým smrštěním objemu taveniny, ale vytlačení plastu z jádra tvaru do pomocné dutiny (viz. obr. 3.12). Tyto dutiny jsou otevírané pomocí pneumaticky či hydraulicky řízených šoupátek a u rozvětvených dílů, s více jak jednou dutinou, jsou často využívány pro řízení toku taveniny. Pomocná dutina je tvar, který tvoří spojení s dutinou tvaru a musí splňovat řadu kritérií.

Mezi nejdůležitější patří její dostatečná velikost, jednoduchost a těsnost přechodu v místě napojení na vlastní dutinu výlisku.

K zajištění variability objemu pomocné dutiny se mohou použít dutiny jejichž objem se dá nastavit pouhým posunutím jedné stěny v podobě šoupátka. Umístění pomocné dutiny volíme nejčastěji ke konci dutiny nebo do míst střetu dvou proudů a to zejména u uzavřených kanálů, kde požadujeme dutinu i v místě spojení proudů taveniny (viz obr. 3.11).



Obr. 3.11: Umístění vedlejší dutiny v případě uzavřeného kanálu [1]

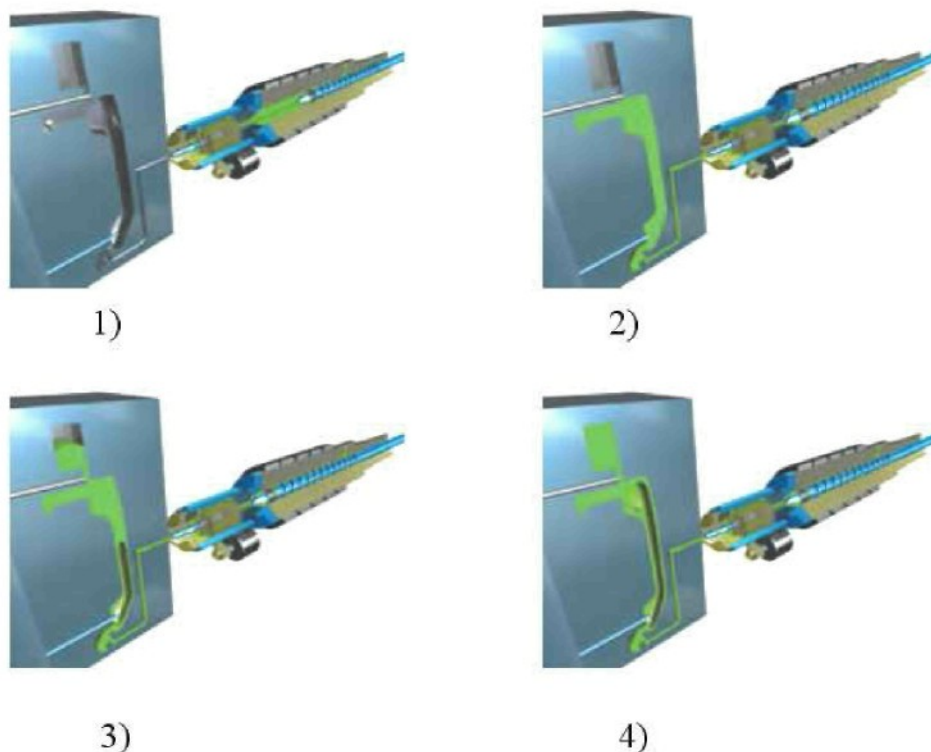
V obou případech však na nepohledovou část dílu, kde nám nevadí viditelná stopa, která vznikne po odříznutí pomocné dutiny od dílu po jeho vyhození z formy. Tento způsob vstřiku je často využíván v případě, kdy chceme značně snížit váhu dílu a zároveň požadujeme vysokou kvalitu povrchu.

Výhody vstřikování s přetokem do pomocné dutiny:

- kvalita povrchu nezávisí na tvorbě dutiny;
- možnost řídit tvorbu dutiny;
- povrch bez stop ze zpoždění;
- možnost velkých dutin;
- díl tvarově stabilní, bez propadlin;
- nízká doba chlazení.

Nevýhody:

- velký odpad;
- vyšší náklady na výrobu formy;
- složitější forma;
- možné problémy s těsněním na přechodu do pomocné dutiny [1].



Obr. 3.12: Plný vstřík s přetokem do pomocné dutiny [2]

3.7.4. Plný vstřík s přetokem taveniny zpět do stroje

Plný vstřík s přetokem taveniny zpět do stroje je další aplikací vycházející z plného vstříku. Po naplnění dutiny taveninou následuje opět vstřík plynu, jehož tlak přetlačí přebytečný plast z horkého jádra zpět před čelo šneku vstřikovacího stroje. U tohoto způsobu vstřikování musí být vtok a rozváděcí kanály včetně trysky dostatečně dimenzovány, aby v nich tavenina nezatuhla dříve než se přebytečný plast stačí přetlačit zpět do stroje. Dále je nutné proces dobře odzkoušet a sladit, aby se do stroje nedostal spolu s plastem i plyn. Plast, který přetlačíme zpět do tavící komory, má oproti plastu v komoře většinou nižší teplotu, což může ovlivnit další vstřík a tato skutečnost musí být brána v potaz. V případě vstřikování s horkými vtoky se vstřík s přetokem zpět do šneku stroje nedá použít. Tato metoda se používá u jednoduchých dílů tyčových tvarů s objemnými kanály i u dílů pohledových.

Výhody:

- maximální možné využití plastu;

- vhodný pro objemné díly;
- kvalitní povrch výstřiku bez stop ze zpoždění;
- díl tvarově stabilní, bez propadlin.

Nevýhody:

- nepoužitelné při vstřiku přes horké vtoky;
- nebezpečí vniknutí plynu do stroje;
- omezené použití;
- nutno zajistit definovaný zpětný chod šneku stroje [1].

3.7.5. Vstřikování do dutin s pohyblivými jádry

Tento způsob vstřikování se může použít pro tvary, které mají kombinaci tenkých a objemných stěn nebo částí, kdy objemnější místa je třeba vylehčit a tenká nikoli (viz. obr. 3.13). Přivedení média a tvorba dutiny tak neprobíhá v celém výrobku, ale lokálně tam, kde je třeba. Vhodný je způsob plnění jako plný vstřik. Po zaplnění dutiny přivedeme pomocné médium pouze do silnější části výlisku, která se však tvaruje jako při krátkém vstřiku a není tak zapotřebí vedlejší dutiny.

Růst objemu dutiny zajišťuje pohyblivé jádro, které se pohybuje mezi dvěma krajními polohami. Ve výchozí poloze, při naplnění formy plastem, zajistí potřebný objem taveniny a v krajní poloze, po vytvarování hmoty plynem, vymezí její konečný objem a tvar. Pohyb jader zajišťují buď tahače nebo tlak tvarované taveniny. V případě použití tahačů je potřeba zajistit krajní polohy pomocí snímačů. Často se také používá vymezení polohy dvěma záložkami. Vratný pohyb můžeme realizovat pomocí pružiny. Celý proces je dobře patrný opět z obrázků. Tento způsob vstřiku je použitelný pouze pro vázané objemné kanály s geometrií závislou na posuvu stěny jádra. V případě obecného tvaru objemné části výlisku je třeba použít opět vstřik s pomocnou dutinou.

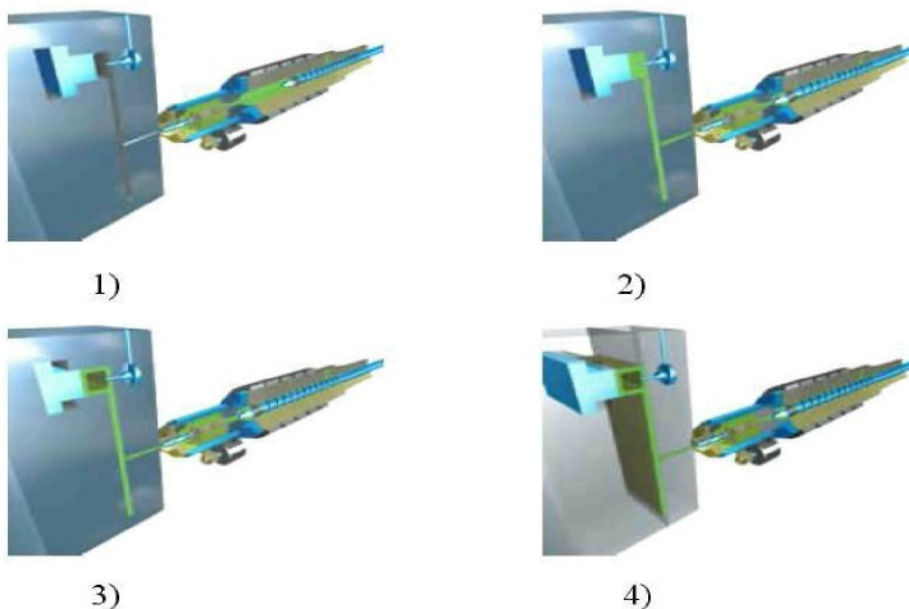
Výhody:

- použití u výrobků s kombinací tenkých a objemných stěn;
- možnost určitých změn tvaru změnou krajních poloh jader;

- vhodnost pro výrobu i ve vícenásobné formě;
- díl tvarově stabilní, bez propadlin.

Nevýhody:

- složitější forma;
- zvládnutí integrace a bezporuchového chodu jader ve formě;
- pouze pro dutiny s konstantní geometrií [1].

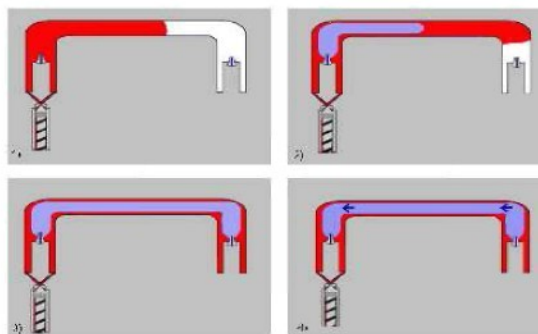


Obr. 3.13: Vstřikování do dutin s pohyblivými jádry [2]

3.7.6. Vstřikování s následným proplachem

Základním předpokladem pro použití tohoto způsobu vstřikování, je použití dvou injektorů, přes které se v konečné fázi realizuje proplach plynem během chlazení (viz. obr. 3.14). Vzhledem k ceně injektorů je druhý injektor tvořen většinou jednoduchým proplachovým ventilem ovládaným servomotorem. Nejedná se zde tedy o další způsob vstřikování, ale pouze o doplněk k výše zmíněným možnostem. Během fáze vstřikování a následné tvorby dutiny výrobku je druhý injektor zavřený a otevře se až po úplném vytvarování dutiny. Fáze proplachu by měla plynule navazovat na konečnou fázi dotlaku. Výhodou proplachu je intenzivní chlazení dílu, které vede ke snížení doby chlazení a tím i k vyšší produktivitě výroby. Proplach se používá

zejména u nepravidelných a objemných kanálů, které se bez proplachu většinou deformují. Po dokončení chlazení cirkulujícím plynem se díl vyhodí z formy nebo je odebrán manipulátorem. V případě, že objem plastu uchladí samotná forma v rozumném časovém intervalu, není důvod průplach použít [1].



Obr. 3.14: Vstřikování s následným proplachem (ukázka pro krátký vstřik) [2]

3.8. Používané plasty pro GIT

Technologie GIT se dá použít pro většinu plastů, např. pro PE, PP, PS, ABS, PA, SAN, PPO, PC, PBT, PC/PBT, TPU, TPE, ale i pro plněné termoplasty [3].

Volba toho nejlepšího a nejvhodnějšího materiálu pro příslušný výrobek se dá shrnout do hledisek jako:

- mechanické hodnoty tuhosti a pevnosti;
- chemická odolnost;
- odolnost proti hoření nebo;
- na dosažené jakosti povrchu (uvnitř i vně).

Viskozita nebo lépe poměr roztlačnost/smyková viskozita zpracovávaného plastu mají vliv na tvorbu zbytku tloušťky stěny. U plastů plněných skelnými vlákny je poměr roztlačnost/smyková viskozita velký, to vede k příliš malé tloušťce vrstvy taveniny mezi stěnou dutiny a plynovou bublinou a tedy proto vznikají malé tloušťky stěny. Polymerní směsi s větším obsahem kaučuku a plněny skelnými vlákny přispívají k nadprůměrnému snižování tloušťky stěny. Celkem vzato můžeme říct, že skleněná vlákna mají vedle tvaru výlisku maximální vliv na zbytek tloušťky stěny. S rostoucím

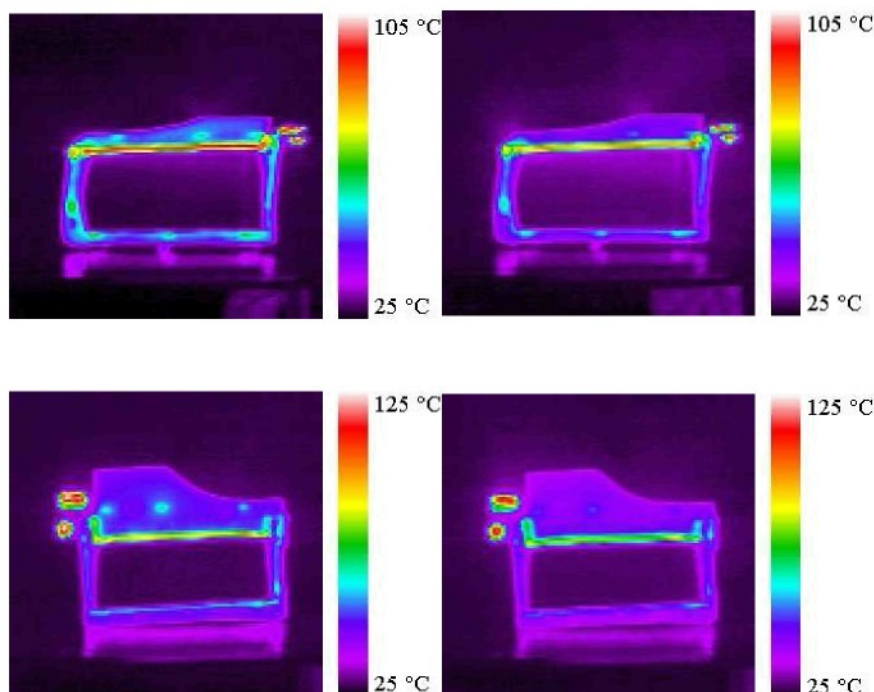
obsahem skelných vláken se poměr roztažnost/smyková viskozita zvětšuje a tím klesá tloušťka stěny. Jiná než vláknitá plniva jako např. lamelární nerosty nebo skleněné kuličky mají malý účinek [6].

3.9. Chlazení dílu

3.9.1. Temperace formy a chlazení dílu GIT

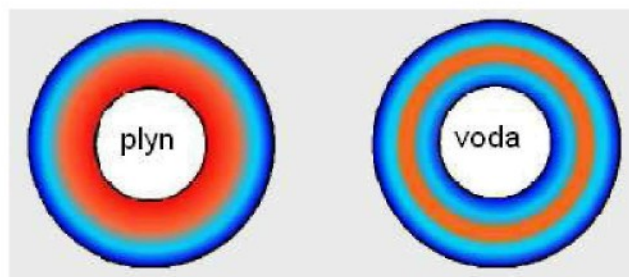
Temperační systém GIT forem je řešen stejně jako u forem pro klasický vstřik a tvoří jej soustava kanálů a dutin umožňující odvod tepla z taveniny stěnou formy do temperačního média. Pro zajištění rovnoměrného chlazení je temperační systém tvořen několika samostatnými temperačními okruhy, kterými protéká temperační kapalina o různé teplotě, čímž je umožněno intensivnější nebo naopak mírnější chlazení ve formě.

Chlazení GIT dílů nezajišťuje pouze stěna formy, ale i vlastní dutina výlisku, která umožňuje chladit díl zevnitř pomocí plynu v dutině tvaru. U normálního GIT procesu však nastává problém, neboť plyn odebírané teplo akumuluje jak je patrné z obr. 3.15 a 3.16. Mírné chlazení tvaru plynem může



Obr. 3.15: Termovizní znázornění akumulace tepla v plynovém kanálu během procesu GIT [2]

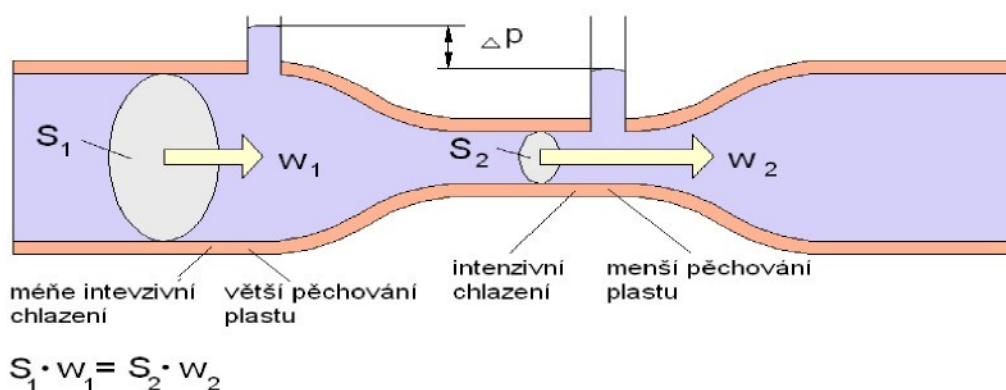
nastat už při tvorbě dutiny, ale intenzivní chlazení zajišťuje teprve průplach dutiny plynem. Proto firma Linde Gas vyvinula a patentovala nový nízko nákladový, přesto velmi efektivní způsob zkrácení



Obr. 3.16: Akumulace tepla plynem [2]

doby chlazení proplachu dusíkem. Chlazení umožňuje samotná dutina dílu, která tvoří jakoby samostatný temperační okruh, jehož chladicí účinnost ovlivňují tři základní parametry a to tvar a rozměry kanálu, velikost průtoku a teplota plynu.

Na rovnoměrnost chlazení má největší vliv tvar kanálu, resp. Místa prudkých přechodů jeho průřezu. V nerovnoměrných kanálech dochází během proplachu k rozdílné rychlosti proudění v závislosti na změně průřezu kanálu (viz. Obr. 3.17). Úzké kanály se tak chladí intenzivněji a při menším tlaku než kanály široké. Teplota plynu při proplachu je 30 °C a v konečné fázi musí zajišťovat rychlý odvod tepla z dutiny dílu.



Obr. 3.17: Vliv změny průřezu kanálu na rovnoměrnost chlazení [1]

Rovnoměrnost chlazení u GIT záleží nejen na geometrii kanálu ale i na tom, budeme-li tvarovat kanál ve nebo proti směru plnění dutiny formy taveninou, resp. na umístění injektoru vůči vtoku. U krátkého vstříku nemáme možnost volby, protože taveninu i plyn musíme vstříknout do tvaru z jednoho konce dutiny a vtok i injektor jsou tak blízko sebe. V případě plného vstříku

však můžeme umístit injektor na opačnou stranu než je vtok a plynová bublina tak bude postupovat od konce dutiny směrem ke vtoku.

Tvarování dutiny a průplach z opačného konce tvaru může příznivě ovlivnit teplotní pole uvnitř dílu a zlepšit rovnoměrnost chlazení stěny dutiny i jejího okolí. S podobným principem se setkáme i u klasického vstřikování, kde je rovněž žádoucí chladit díl od konce dutiny směrem ke vtoku. Zde je však hlavním důvodem snaha zajistit, aby vtok ztuhnul jako poslední a nebylo tak zabráněno působení dotlaku. V případě použití horkých vtoků, které jsou neustále vytápěné a nemusí tak umožnit ztuhnutí vtoku, se musí často zvážit potřeba chladit i kolem nich [1].

3.9.2. GIC – Vnitřní chlazení plynem

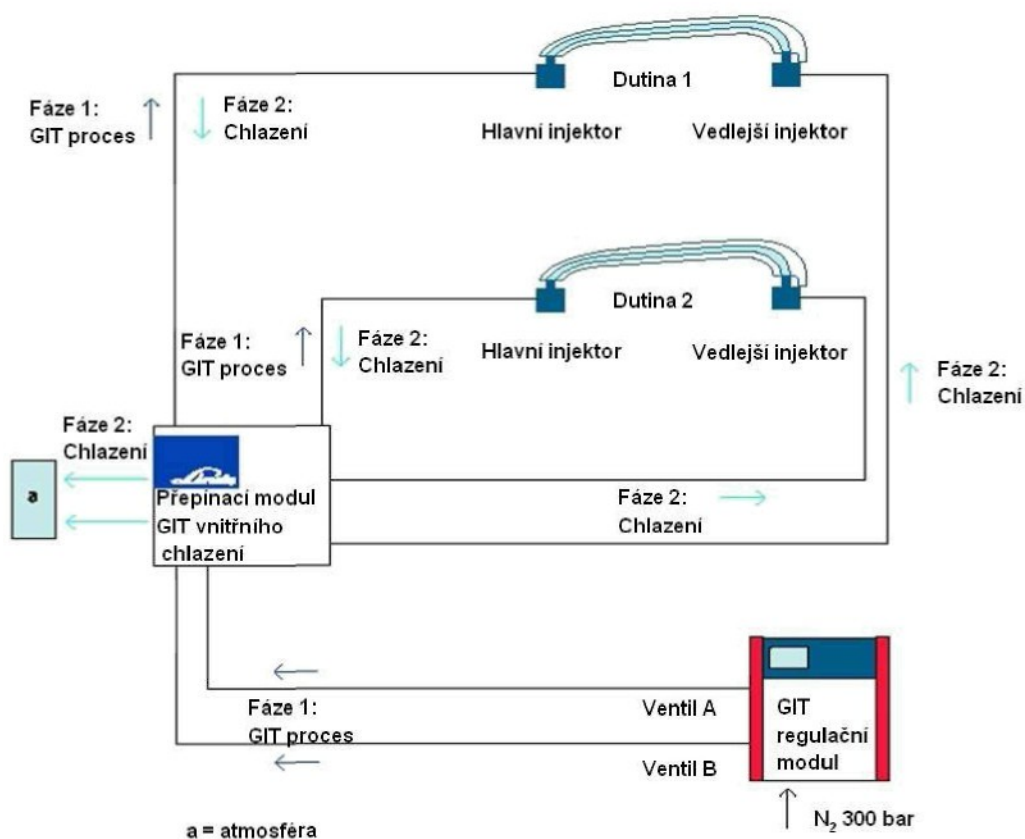
Vnitřní chlazení (viz. obr. 3.18) je rozšíření technologie vstřikování za podpory plynu a snižuje čas cyklu až o 30%. To zajišťuje rychlejší produkci, vyšší přesnost a méně údržby. Již dostupný vysoce stlačený dusík použitý v normálním GIT procesu proudí obráceně skrz výrobek a chladí ho zevnitř. Pro chlazení se používá dusík o teplotě okolí. Proces je hlavně vhodný pro formované součásti s trubkovým tvarem plynového kanálu.

Popis Průběhu:

- Po normálním cyklu za podpory plynu je přerušen přítok dusíku do primárního injektoru. Tlakový a tokový regulační systém otevře primární injektor do atmosféry;
- Nyní je tok plynu otočen. Další dusík je vstříknut přes sekundární injektor umístěný na druhé straně primárního plynového injektoru. Ten nyní slouží jako výpusť plynu;
- Vysokotlaký dusík proudí skrz výrobek přičemž chladí vnitřní stranu plynového kanálu a odvádí teplo. Doba chlazení stejně jako doba cyklu je významně snížena;
- Protože dusík prochází pouze minimem délky trubky a zařízení, občasné problémy se zbytky plastu (ucpaná trubka, hadice a zařízení) jsou minimalizovány.

Výhody:

- zkrácení doby cyklu (až o 30%);
- vyšší míra přesnosti;
- snadné zavedení/použití;
- nízké investiční náklady;
- menší zanesení potrubí zbytkem plastu;
- menší údržba.



Obr. 3.18: Chlazení s vnitřním proplachem plynu

Oblasti použití:

Výrobky pro které je vnitřní chlazení plynem doporučené jsou:

- rukojeti vyráběné pomocí GIT;
- další GIT výrobky s trubkovými tvary plynových kanálů;
- GIT výrobky které jsou problematické ohledně podmínek přesnosti rozměrů [7].

3.10. Formy pro technologii GIT

3.10.1. Návrh a konstrukce dílů GIT

Obecně platí, že správná konstrukce dílu je nejdůležitější etapou realizace plastového výlisku a samotná, byť koncepčně dobře vyřešená forma a optimální technologie již nedostatky špatné konstrukce dílu nevyřeší.

Zdárná koncepce při navrhování výrobku může vzniknout jen ze spolupráce mezi designérem a konstruktérem jak dílu, tak formy. Výsledný návrh je tak určitým kompromisem, který nabízí většinou nejlepší možné řešení. Velmi důležité je rovněž ekonomické hledisko, které je často nejsilnějším kritériem při volbě jednotlivých koncepčních alternativ.

Základní koncept konstrukce dílu by měl vycházet vždy z budoucí funkce výrobku, podmínek při kterých bude užíván, možností výrobní technologie a dále z estetických a ekonomických požadavků. Další hledisko, které nesmíme opomenout se týká samotné vyrobitelnosti dílu. Zde platí, že čím je geometrie tvaru jednodušší, tím lépe. U jednoduchých dílů nejsou problémy s tvorbou dutiny ani s odstraněním plynu. Díl se dá navíc snadno zaformovat, dobře se chladí a bez problémů se dá vyhodit z formy. Pravidlo jednoduché geometrie bychom měli dodržet i u nefunkčních částí dílu, což platí i pro případ klasického vstřiku. Dodržením těchto zásad nejsnáze eliminujeme vznik zmetků, zvyšujeme produktivitu a minimalizujeme náklady.

Při konstrukci dílu je rovněž dobré rozlišovat o jaký typ výrobku se jedná, a to hlavně z pohledu funkce. U dílů GIT můžeme použít rozdělení výrobků dle jejich funkce do čtyř základních skupin a to na:

- pohledové;
- namáhané;
- namáhané pohledové;
- se speciální funkcí.

Název každé skupiny vypovídá o budoucí funkci výrobku a přímo tak i o nejdůležitějším parametru, který musíme jeho výrobou docílit. U pohledových dílů je kladen největší důraz na kvalitní povrch. U dílů namáhaných jsou to jeho dobré mechanické vlastnosti, které získáme

zejména správnou geometrií, jež nám zajistí dostatečnou tuhost a únosnost tvaru. Namáhané pohledové díly musí splňovat obě výše zmíněná kritéria a z pohledu konstrukce patří k těm nejsložitějším. Díly se speciální funkcí se od prvních třech na první pohled nemusí nijak lišit. I v tomto případě může hrát otázka vzhledu i pevnosti důležitou roli. Jejich konstrukcí však musíme většinou zajistit ještě další specifickou funkci. Tou může být například tlumivost, vodivost, transparentnost, těsnost, maximální dutina. K této skutečnosti pak musíme přihlídnout při návrhu daného výrobku.

Abychom zajistili optimální řešení tvaru a tím i minimální komplikace při výrobě jak nástroje, tak vlastního dílu, je třeba postupovat při jeho návrhu podle jistých pravidel. Z klasického vstřikování známe celou řadu doporučení týkajících se správného dimenzování jednotlivých částí vylisku, kde některé z nich můžeme s úspěchem aplikovat i při návrhu dílů pro technologii GIT.

Rozhodující roli při konstrukci GIT dílu hraje správné dimenzování a geometrie kanálů, spolu s určením vhodného umístění injektorů. Zde však musíme zohlednit ještě jeden faktor, který zásadně ovlivňuje koncepci dílu, a tím je vhodné rozmístění jednotlivých kanálů, které musí zaručit správný tok taveniny a plynu do námi požadovaných míst vylisku. GIT díly mohou být dosti komplikované a jejich návrh se často neobejde bez možnosti využití simulačních programů [1].

3.10.2. Konstrukční zásady při návrhu dílů GIT

Díl musíme konstruovat tak, aby byly zohledněny vlivy, které provází proces výroby nejen během tvorby dutiny, ale i při vstřikování plastu a chlazení.

Pro fázi vstřikování plastu je důležité, aby geometrie umožňovala snadné plnění dutiny formy taveninou, což je aktuální problém u GIT dílů při výrobě plochých dílů s žebry. Problémům s plněním taveniny se můžeme vyhnout, budeme-li dodržovat :

- minimální doporučené tloušťky stěn dle užitého plastu;
- pozvolné přechody;
- minimum překážek;

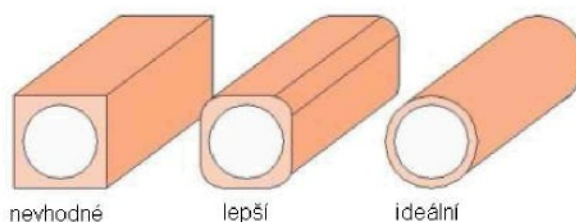
- jednoduchá geometrie;
- geometrie bez ostrých hran.

U GIT dílů musíme rovněž zohlednit parametry kanálů, které musí být voleny tak, aby zajistily snadnou tvorbu dutiny. Mezi základní parametry kanálu patří:

- tvar kanálu;
- geometrie kanálu;
- velikost kanálu [1].

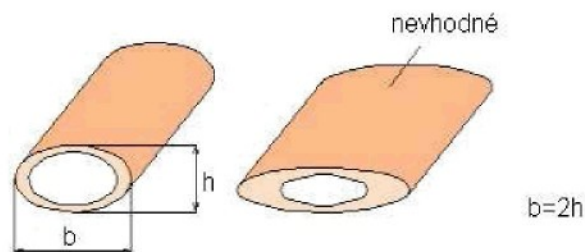
3.10.3. Návrh tvaru kanálu

Ideální kanál by měl mít, jak už bylo doporučeno, kruhový tvar. V něm je totiž po celém obvodu rovnoměrný tlak a při průchodu plynu jsou tak vytvořeny optimální podmínky pro vznik dutiny se stejnou tloušťkou stěny. Mnohem širší škálu výrobků však tvoří díly s nekruhovým průřezem nejčastěji ve tvaru čtverce, obdélníku, elipsy a jim podobné. V případě kanálů s ostrými rohy musíme vždy počítat s nahromaděním materiálu v rozích po hranách profilu kanálu. Vhodnější je proto určité zaoblení rohů kanálu, které tak lépe kopírují kruhový tvar bubliny (viz. obr. 3.19).



Obr. 3.19: Řešení tvaru kanálů [1]

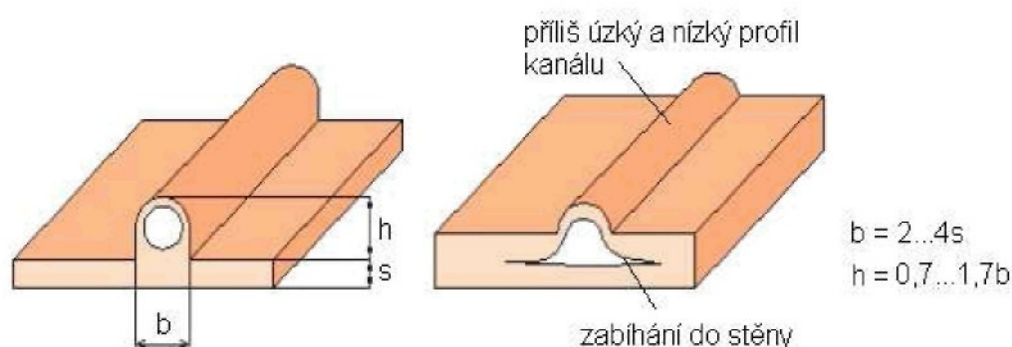
Aby i u nekruhových průřezů nevznikal problém s tvorbou dutiny je dobré dodržovat jednoduché pravidlo poměru 2 : 1. Jde o mezní, optimální poměr šířky kanálu k výšce kanálu (viz. obr. 3.20), který ještě zaručuje bezproblémovou



Obr. 3.20: Řešení tvaru kanálů [1]

tvorbu dutiny s mírnou změnou tloušťky stěny po obvodu. Pokud bychom snižovali výšku kanálu na úkor šířky, vytvoříme nevhodný profil jak z hlediska tloušťky stěny, tvorby dutiny, tak i chlazení.

V případě plochých žebrovaných GIT dílů, u nichž jsou kanály často integrovány do stěny výlisku, je situace o něco komplikovanější. Je to dáno tím, že tvorba dutiny není v místě spojení kanálu se stěnou výlisku závislá čistě na geometrii a rozměrech vlastního kanálu, ale i na těch částech výlisku, které kanál netvoří. U těchto dílů musíme vzít vždy v úvahu možnost zaběhnutí proudu plynu do stěny dílu (viz. obr. 3.21). To může nastat během



Obr. 3.21: Minimální doporučené rozměry základního typu vázaného kanálu [1]

vstřiku plynu a dotlaku, není-li dodržen správný poměr tloušťky stěny ku tloušťce kanálu, resp. tloušťce napojovaného žebra. Aby nedocházelo k zabíhání plynu do stěn výlisku, je třeba, aby tloušťka stěny výlisku byla vždy menší jak tloušťka napojovaného žebírka, ve kterém se tvoří kanálek, a to alespoň o polovinu. Tak zajistíme větší objem taveniny a tím i nejvyšší lokální teplotu, resp. nejnižší tlak právě v místě žebírka, čímž jsou splněny podmínky pro přednostní šíření plynu kanálkem žebrování. Doporučená šířka kanálu tvořící žebírko se obvykle volí 2 - 4 krát větší, než je tloušťka stěny ploché části výlisku. Výška kanálu má rovněž doporučené rozměry a měla by se pohybovat mezi 0,7 - 1,5 šířky kanálu.

Vázané kanály mohou tvořit dosti spleťtý systém kanálků, jejichž vyrobiteľnosť závisí nejen na jejich tvaru, ale především na umístění injektorů, vzájemné vazbě kanálů a jejich rozmístění po tvaru. Konstrukce

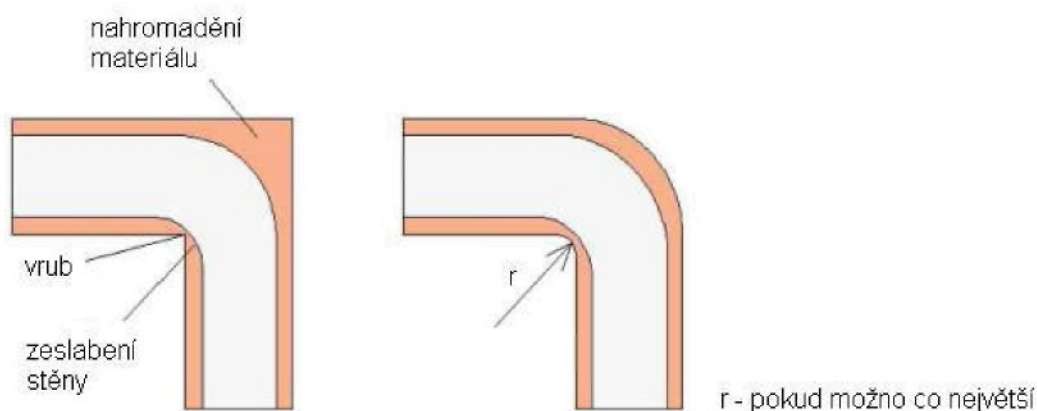
takových dílů je často dosti komplikovaná a neobejde se bez pomoci simulačních programů.

U GIT rozlišujeme tyto čtyři základní typy kanálů a jejich kombinace:

- přímé;
- zahnuté;
- rozvětvené;
- uzavřené (kruhové).

Obecně je nejvýhodnější používat jednoduché přímé kanály. Ty jsou podobně jako kruhový průřez optimální jak pro fázi plnění a tvorbu dutiny, tak pro vlastní chlazení vylisku. V praxi se nejčastěji setkáme s kanály zahnutými v kombinaci s kanály přímými. Ty nám zajišťují dostatečnou variabilitu tvaru a hodí se pro velké množství běžných výrobků. Pro výrobu dílů jako jsou armatury a různé odbočky, se naopak hodí rozvětvené kanály. Posledním typem je kruhový kanál. Tento typ kanálu není tak obvyklý a vyžaduje použití vedlejší dutiny v případě, kdy chceme, aby se dutina tvaru vytvořila po celém obvodu a byla průchozí.

Pro všechny typy kanálů platí určitý minimální poměr výšky kanálu k jeho délce a to v poměru 1 : 5. U běžných aplikací je většinou délka kanálu vždy větší jak pětinasobek jeho výšky a tak je tato hodnota uváděna spíše pro úplnost. Daleko důležitější je dodržet pravidlo, které říká, že taveninu pokud možno nevedeme prudce do ostrých úhlů, ani přes ostré rohy. Typickým příkladem je odbočení proudu do pravého úhlu (viz. obr. 3.22). Odtud je patrné, že tavenina proběhne po vnitřní straně kanálu, nejkratší cestou, místem s minimálním protitlakem taveniny. V těchto případech



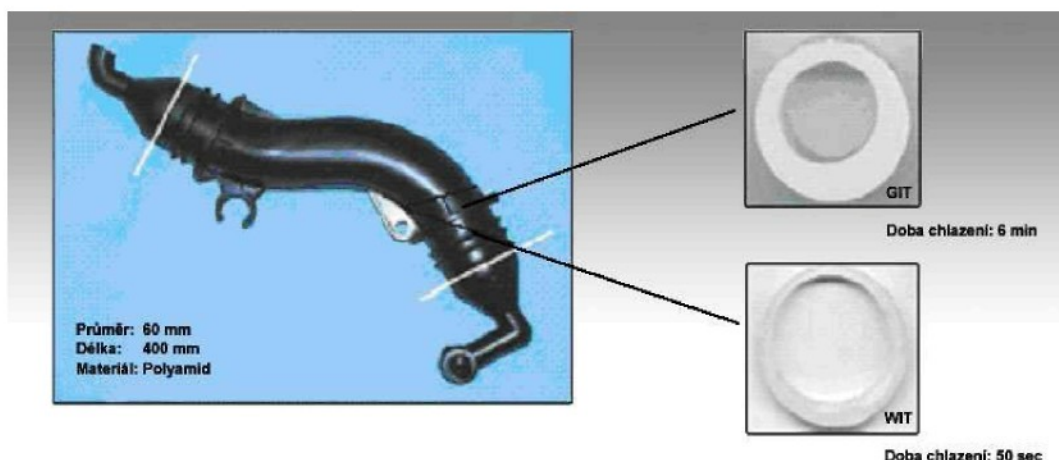
Obr. 3.22: Důsledky ohýbání proudu a jeho vedení přes ostré rohy [1]

vznikne nerovnoměrná tloušťka stěny kanálu a navíc ostrý přechod na vnější straně tvaru, který působí jako vrub. Tento nepříjemný jev lze výrazně eliminovat zaoblením ostrých rohů kanálu.

U celé řady aplikací není ideální tvar dutiny s rovnoměrnou tloušťkou stěny prioritní. Dutina pouze vylehčuje díl a umožňuje funkci dotlaku ke kompensaci propadlin. Vznik nerovnoměrné tloušťky stěn na ohybech kanálů však často souvisí se vznikem povrchových vad a proto je i u těchto dílů důležité zajistit kvalitní dutinu [1].

3.10.4. Návrh velikosti kanálu

Základní volba velikosti kanálu v případě volné dutiny by měla respektovat použité pomocné médium a tedy fakt, že půjde o technologii GIT. Použijeme-li technologii GIT, můžeme díky nulové chladivosti a vysoké pohyblivosti plynu tvarovat i velmi tenké a dlouhé kanály o průměru kolem 5 mm. Pomocí plynu můžeme tvarovat i kanály velkých průměrů. Ty se však dlouho chladí a roste u nich výrazně tloušťka stěny na úkor dutiny. Z těchto důvodů se doporučuje volit velikost kanálů pro GIT maximálně do průměru 30 mm. Kanály s větším průměrem jsou díky tlustým stěnám a dlouhé době chlazení výrobně neekonomické. Nevhodnost použití GIT pro tvarování dutin větších průměrů je patrná z obrázku 3.23. Zde je znázorněn řez kanálem o průměru 60 mm tvarovaný pomocí vody a plynu. Z obrázku je dobře patrné, jak tlusté stěny mohou vzniknout použijeme-li GIT pro tvarování kanálů s příliš velkým průměrem.



Obr. 3.23: Tvarování rozměrné dutiny pomocí GIT-WIT [1]

Dostatečné průřezy kanálů je často nutné navrhovat i z jiných, jak technologických důvodů. To se týká hlavně ústí vstupních kanálů a pomocných dutin do vlastního tvaru dílu. Tato místa musí být dimenzována tak, aby se pomocné kanály daly snadno oddělit od výrobku, ale zároveň aby měly dostatečnou pevnost a nebortily se pod vlastní váhou při vysunutí dílu z formy. Díl mívá po vyhození z formy teplotu kolem 80 °C a zborcení teplého ústí je tak velmi snadné. Při ručním vyjímání vylisků zborcení nijak nevadí. Pokud je díl odebírán manipulátorem, nemělo by ke zborcení docházet. Vychýlení kanálu totiž může způsobit zastavení cyklu v případě, že ohnutý kanál zasahuje do pracovního prostoru manipulátoru a optické snímače tak hlásí překážku v dráze [1].

3.10.5. Konstrukce forem pro GIT

Pro GIT se používají podobné nástroje jako pro jiný způsob vstřikování. Volba materiálu nástroje závisí na počtu vyráběných kusů a na používaném materiálu. Při minimálním počtu kusů může být použita například slitina hliníku, zatím co při vyšším počtu kusů nebo u agresivního materiálu by měla být použita nástrojová ocel s co možná největší odolností proti otěru. Při průběhu procesu hrají roli mnohá kritéria:

- poloha injekční jehly;
- průměr injekční jehly;
- výměna jehly.

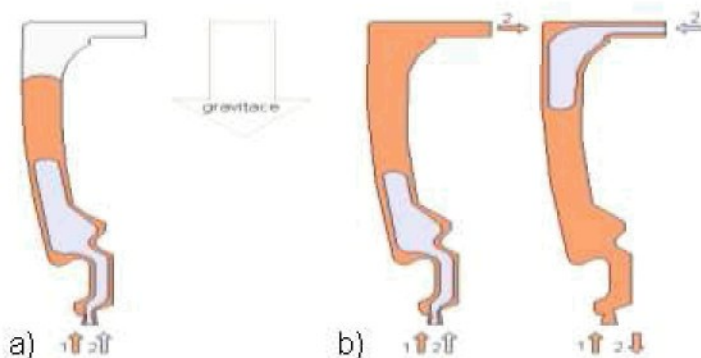
Dle zvoleného postupu musím upravit nástroj k zachycení nadbytečné taveniny, případně vytvořit průchozí jádro. Poloha injekční jehly (místo přívodu plynu) je kritický bod technologie GIT. Jehla musí být před přívodem plynu sevřena plastem, průnik plynové bubliny musí být znemožněn. Za místo přívodu plynu je možné vybrat několik možností:

- do trysky stroje;
- do vtokového kanálu;
- do vstřikované součásti.

Zvolená poloha vychází z geometrie součástí. Kromě toho se musí zohlednit právní situace patentu [6].

Základní řešení GIT forem pro sériovou výrobu vychází ze stavebnicové struktury, v níž jsou veškeré funkční a tvarové části provedené jako snadno vyjímatelné vložky nebo samostatné členy. V případě nutných úprav nebo komplikací tak nemusíme sundávat celou formu ze stroje a pracně ji dopravovat do nástrojárny k úpravě, ale stačí vyjmout libovolnou část tvaru, s níž se dá jednoduše manipulovat a pracovat. Výrazně se tak zkrátí oprava forem a tím i výrobní prostoje. Snadná demontáž funkčních částí formy, včetně injektorů, je důležitá i z důvodu potřeby časté výměny těsnění, v případě úniku plynu nebo protékání oleje.

Další charakteristický prvek při konstrukci GIT forem je nutnost správně volit orientaci výlisku ve formě, s ohledem na budoucí polohu formy ve vstřikovacím lisu (viz. obr. 3.24). Díl by měl být orientován tak, aby bylo při vstřiku taveniny zajištěno plnění formy odspoda nahoru. V opačném případě může tavenina do rozměrných kanálů padat a mísit se se vzduchem, což vede vždy k vadám na výlisku. Spodní plnění je důležité i pro fázi tvarování taveniny plynem a to především u krátkého vstřiku, kde taveninu vytlačují do volné dutiny. Potřebný protitlak je tak zajištěn především taveninou, která je vlivem gravitačních sil tlačena na plynovou bublinu.



Obr. 3.24: Správná poloha výlisku při vstřikování - a) krátký vstřik b) plný vstřik [1]

V praxi může snadno dojít ke změně orientace a směru plnění obráceným osazením formy na stroj. Aby k tomu nedocházelo, měl by konstruktér formy jasně vyznačit polohu formy vůči stroji pomocí

domluveného označení, pokud možno vždy na stejném místě na nástroji. Při konstrukci formy jsou důležité i její základní rozměry. Ty by měly být voleny zejména s ohledem na rozchod vodících sloupů vstřikovacího lisu, kde bude forma pracovat. Poslední parametr, který bych rád zmínil, je násobnost formy. Ta souvisí z velké míry s hospodárností a produktivitou výroby a dá se určit ze vzorců. Při určování násobnosti GIT formy musíme zohlednit dvě zásadní hlediska a to hledisko technologické a ekonomické.

Technologické hledisko:

- jsme schopni naplnit všechny dutiny rovnoměrně ve stejný čas;
- máme dost výkonný vstřikovací lis (vstřikovací kapacita, plastikační kapacita, uzavírací síla).

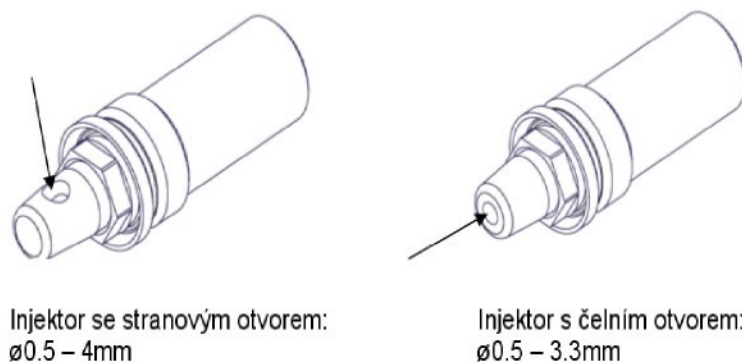
Ekonomické hledisko:

- vyplatí se vůbec vícenásobná forma pro množství kusů které plánujeme vyrobit;
- můžeme si časově náročnější a dražší výrobu vícenásobné formy dovolit;
- můžeme plně vytížit stroj na němž budeme vstřikovat [1].

3.10.6. Funkce injektorů

Úkolem injektorů, které pracují většinou jako hydraulicky řízené jednotky, je přivést do plastu dostatečné množství plynu v konkrétních časových úsecích během vstřikovacího cyklu. Injektory pro náročnější aplikace musí rovněž umožnit cirkulaci plynu během proplachu ve fázi chlazení a odvod plynu při jeho vyfukování z dílu na konci cyklu.

Pro dobrou funkci injektoru je důležité jejich perfektní provedení a správné dimenzování, které souvisí zejména s velikostí jejich vstřikovacího otvoru. Ten musí být tak velký, aby umožňoval vstřik požadovaného množství plynu s minimální tlakovou ztrátou. Injektory se pak liší hlavně velikostí otvoru a místem jeho vyústění na injektoru (viz. obr. 3.25)



Obr. 3.25: Injektory se stranovým a čelním otvorem [1]

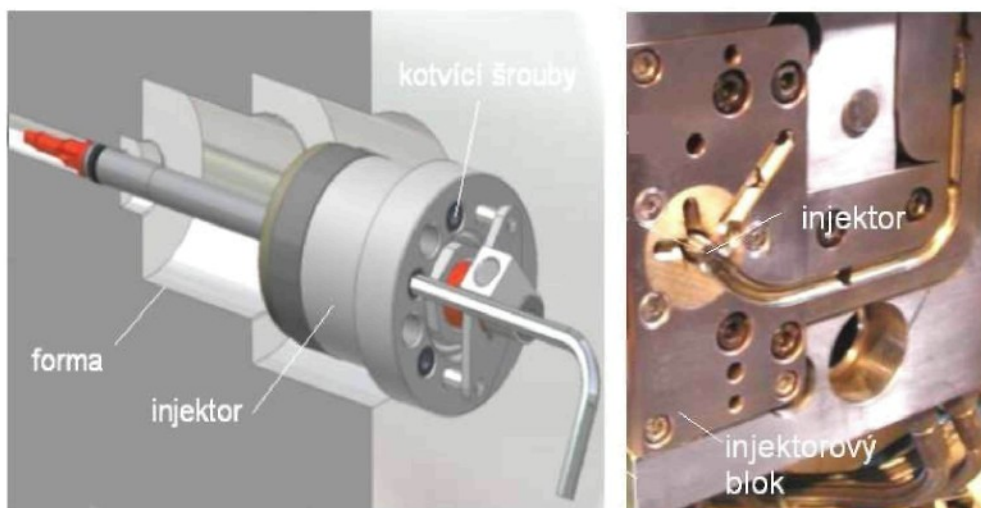
Menší průměry otvorů se používají pro menší výlisky, u nichž stačí nižší průtokové množství plynu a pro objemnější díly volíme injektory s větším otvorem. Velikost otvorů je možné podle potřeby i zvětšit. Tuto úpravu by však měl provádět výhradně výrobce injektoru.

Injektory GIT nechávají viditelnou stopu v místě zaústění. Z těchto důvodů nezavádíme injektory přímo do tvaru, ale mimo vlastní výrobek, nejčastěji do rozváděcích kanálů.

Slabou stránkou, omezující funkci většiny injektorů, je možnost jejich ucpání zbytky plastu a jejich netěsnosti. Z těchto důvodů je nutné zabudovávat injektory do formy tak, aby bylo umožněno jejich snadné vyjmutí v případě potřeby čištění nebo přetěsnění. Nejčastěji se proto používá jednoduché rozebíratelné šroubové spojení, které by mělo být dobře přístupné, aby nekomplikovalo montáž a demontáž injektoru.

Injektory mohou být vyrobeny přímo v ocelovém bloku, který se dá snadno vyjmout a zpětně zabudovat do nástroje, nebo mají úspornější tvar bez okolního materiálu a montují se do předem připravených osazovacích otvorů ve formě (viz. obr. 3.26).

Výhodou injektorů konstruovaných v kovovém bloku je vysoká variabilita řešení ve vazbě na okolní prvky formy a možnost provedení změn v masivu mimo formu. Injektorový blok tak tvoří určitou část formy, přes kterou mohou být vedeny vyhazovače a integrovány do něj další funkční prvky nástroje [1].



Obr. 3.26: Dvě základní koncepce řešení injektorů [1]

3.10.7. Typy injektorů

Pro účely GIT byla vyvinuta celá řada injektorů. Typově lze injektory rozdělit do dvou základních skupin, a to na :

- samočinné;
- řízené.

Samočinné injektory fungují na jednoduchém principu, kdy tlak plynu tlačí píst v injektoru, proti pružince (viz. obr. 3.27). Pružinka pak sama podle míry stlačení posouvá píst vůči otvoru v injektoru do polohy zavřeno, otevřeno.



Obr. 3.27: Samočinný injektor [1]

Nevýhodou samočinných injektorů je velké množství faktorů, které mohou narušit jejich funkci. Jako příklad mohu uvést únavu materiálu pružiny

nebo zanesení a následné zadření pístku. Proto se tento typ nedá použít pro sériovou výrobu, je však vhodný pro zkušební aplikace, kde si nelze dovolit drahé ovládané injektory.

U druhého typu injektorů již neprobíhá otevírání, zavírání a ovládání dalších jejich funkcí samočinně, ale je prováděno řízeně přes pneumaticky, hydraulicky nebo elektricky ovládané členy. Tyto injektory se používají hlavně pro svou spolehlivost a jsou vhodné právě pro sériovou výrobu [1].

3.10.8. Ovládání injektorů

Injektory jsou nejčastěji ovládané hydraulicky pomocí tlakového oleje, který je přiváděn do dvou vstupů pro otevírání a zavírání pístku (viz. obr. 3.28). Otevírání a zavírání injektoru probíhá v závislosti na impulsu z řídicího modulu tlakové jednotky podle nastaveného průběhu vstřikovacího cyklu.

U některých aplikací se můžeme setkat i s reverzními injektory, které jsou pomocí hydrauliky vysouvány a zasouvány z dutiny [1].



Obr. 3.28: Ovládací a funkční vstupy injektorů (Typ: Herzog) [1]

3.11. Stroje

Stroje pro technologii GIT se používají stejné jako při konvenčním způsobu vstřikování (viz. obr. 3.29). Přídavná činnost je, při použití této metody, umožnění odchodu taveniny zpět do šneku. Dávkovací cesta by



Obr. 3.29: Stroj KM 250 1900C [12]

měla být taková, aby nebyl vtažen žádný vzduch resp. aby nebyla příliš dlouhá prodleva. Následkem by byly jakostní škody jako např. povrchové vady v důsledku šlírovitosti následkem zavlečení vzduchu nebo snížení molekulové hmotnosti příliš dlouhým tepelným namáháním. Zpracování by mělo nastat pokud možno s otevřenými tryskami. Uzavírací trysky nalézají uplatnění u lehce tekoucích materiálů. U nich však mohou nastat, podle druhu konstrukce, spíše problémy jako je rozklad materiálu, nečistoty vláknité povahy, porucha funkce, atd. Jako u všech pracovních strojů dochází také při zpracování termoplastů v plastifikační jednotce k opotřebení povrchu šneku a pracovní části válce. Kvůli redukci těchto funkčních poruch a vad na výrobu jsou šnek a pracovní části válce nejen vhodně geometricky uloženy, ale i vyrobeny z materiálu odolného proti opotřebení [6].

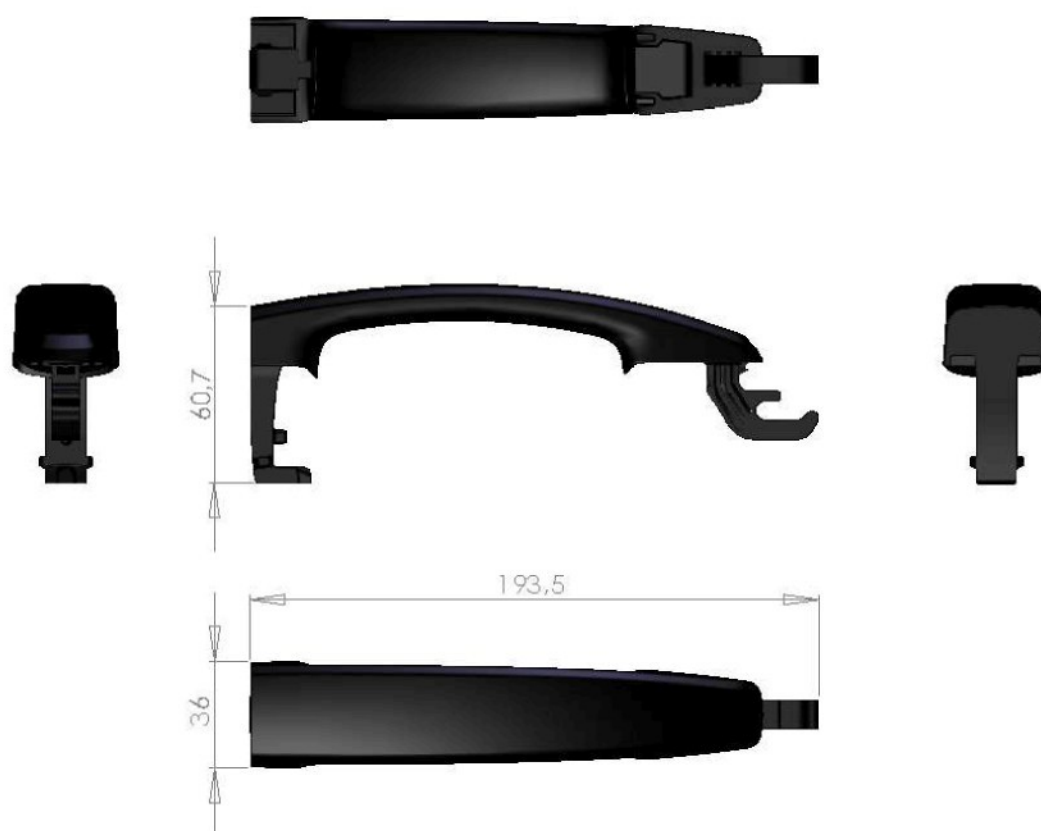
4. Experimentální část

4.1. Úvod

V experimentální části diplomové práce je řešena problematika vnitřního chlazení vybraného dílu a následné vlivy měněných parametrů na geometrii výrobku, na mechanické vlastnosti a na vzhledové vady. Je zde podrobně popsán princip účinnějšího odvodu tepla, účinnějšího chlazení již hotových dílů zařízením od společnosti Linde Gas a.s. – proplachování dusíkem, která vynalezla a patentovala tento způsob chlazení. Metoda proplachování dusíkem po dotlaku u technologie GIT výrazně zkracuje dobu cyklu, čímž zvyšuje produktivitu výroby. Je hodnocena stabilita procesu vstřikování a vlivy jednotlivých technologických parametrů na geometrii výrobku, na mechanické vlastnosti a na vzhledové vady. Jsou hodnoceny jednotlivé příčiny druhů vad, funkčnosti periferních zařízení a možnosti jejich následného odstranění. Platí pravidlo, že lépe je vadě předejít, než ji potom následně odstraňovat.

Firma WITTE Nejdek, ve které experiment probíhal, již dříve experimentovala s technologií WIT (technologie vstřikování s podporou vody). Ačkoliv tato technologie umožnila výrazné zkrácení doby cyklu, docházelo zároveň k častému výskytu propadlin. Ke vzniku této vady přispívala konstrukce výrobku s použitou technologií. Po zkušenostech s WIT technologií se dospělo k závěru, že vzhledem k vysokému počtu vadných dílů se již nevyplatí v tomto směru pokračovat a hledalo se řešení jinde. Jedním z možných řešení je právě technologie GIT s vnitřním proplachem dutiny pomocí plynu. Vlastní experiment probíhal ve dvou etapách. Nejprve na dvounásobné a poté na čtyřnásobné vstřikovací formě. V obou případech se zaznamenávaly tyto parametry vstřikování: doba cyklu a proplachu, bod přepnutí, proplachovací tlak, objem průtoku plynu v jednotlivých dutinách, výsledné rozměry a tahové vlastnosti výrobku.

4.2. Charakteristika vybraného dílu



Obr. 4.1: Základní rozměry výrobku

Na obrázku 4.1 je znázorněn plastový díl - automobilová klika s vnitřní dutinou, na které proběhlo měření s experimentem a jeho základní rozměry. Jedná se o kliku do osobního automobilu OPEL Astra.

- použitý materiál: Zytel PA6 - GF30 od společnosti DuPont;
- hmotnost dílu: $72 \pm 3\text{g}$;
- násobnost vstřikovací formy: 2 (4) ;
- vstřikovací stroj: Krauss Maffei KM 250 – 1900C.

4.3. Materiál pro výrobu kliky

Polyamidy obsahují v řetězcích kromě atomů uhlíku i atomy dusíku, které výrazně zvyšují pevnostní hodnoty, ale na druhé straně jsou příčinou vysoké navlhavosti materiálu.

Hlavními typy polyamidů (PA), které se používají ve vozidlech, jsou PA6, PA66, PA11, PA12 a ostatní. Všechny tyto polymery jsou vysoce hygroskopické. Vysoce krystalické PA absorbují vodu méně a více odolávají otěru. Stupeň krystalinity (je dán výrobními podmínkami) má rovněž vliv na elektrické a mechanické vlastnosti. Číslice za značkou označují počet atomů uhlíku ve strukturní jednotce makromolekuly.

Polyamid 6 (PA6) je houževnatý termoplast, tvořený lineárními makromolekulami s obsahem krystalického podílu v rozsahu 25 až 45 %. Pevnost v tahu se podle obsahu monomeru a vody mění v rozsahu 40 až 80 MPa, modul pružnosti od 900 do 1600 MPa. Vykazuje značný sklon ke krípu. Konstrukční vlastnosti lze zlepšit přidáním skleněných vláken. Teplota tání je vysoká a bývá v rozsahu 220 až 250 °C, teplota zesklenní je asi 40 °C. Přítomnost vody snižuje teplotu zesklenní pod 0 °C. PA6 má mimořádnou odolnost proti otěru a má nízký koeficient tření. Elektrické vlastnosti jsou špatné v důsledku silné polarizace hmoty a sluneční záření způsobuje silné zhoršování vlastností [8].

Zytel FE270041 BK261 je sklem plněný polyamid 6 s velmi dobrými tokovými vlastnostmi. V tabulce 4.1 je uveden materiálový list tohoto plastu.

Tab. 4.1: Materiálový list [10]

Vlastnost	Zkušební metoda	Jednotky	Hodnota	
			Vysušený	Kondicionovaný
Označení				
Kód pryskyřice	ISO 1043-1/-2/-3/-4		PA6-GF30	
Kódové značení dílu	ISO 11469		PA6-GF30	
Mechanické vlastnosti				
Napětí při porušení	ISO 527-1/-2	Mpa	180	110
Deformace při porušení	ISO 527-1/-2	%	3	6
Modul pružnosti	ISO 527-1/-2	MPa	10000	6000
Vrubová houževnatost podle Izoda	ISO 180/1A	kJ/m ²	12	16
Charpyho vrubová houževnatost	ISO 179/1eA	kJ/m ²	10	15
Charpyho rázová houževnatost	ISO 179/1eU	kJ/m ²	60	80

Pokračování tab. 4.1

Tepelné vlastnosti				
Tvarová stálost při 1,80MPa	ISO 75f	°C	205	
Teplota tání při 10°C/min	ISO 11357-1/-3	°C	221	
Další vlastnosti				
Hustota	ISO 1183	kg/m ³	1370	
Výrobní vlastnosti				
Rozsah zpracovatelských teplot		°C	260-280	
Optimální zpracovatelská teplota		°C	270	
Rozsah teplot formy		°C	70-120	
Optimální teplota formy		°C	100	
Čas sušení		h	2-4	
Teplota sušení		°C	80	
Podíl vlhkosti při výrobě		%	<0,20	

4.4. Vstřikovací stroj

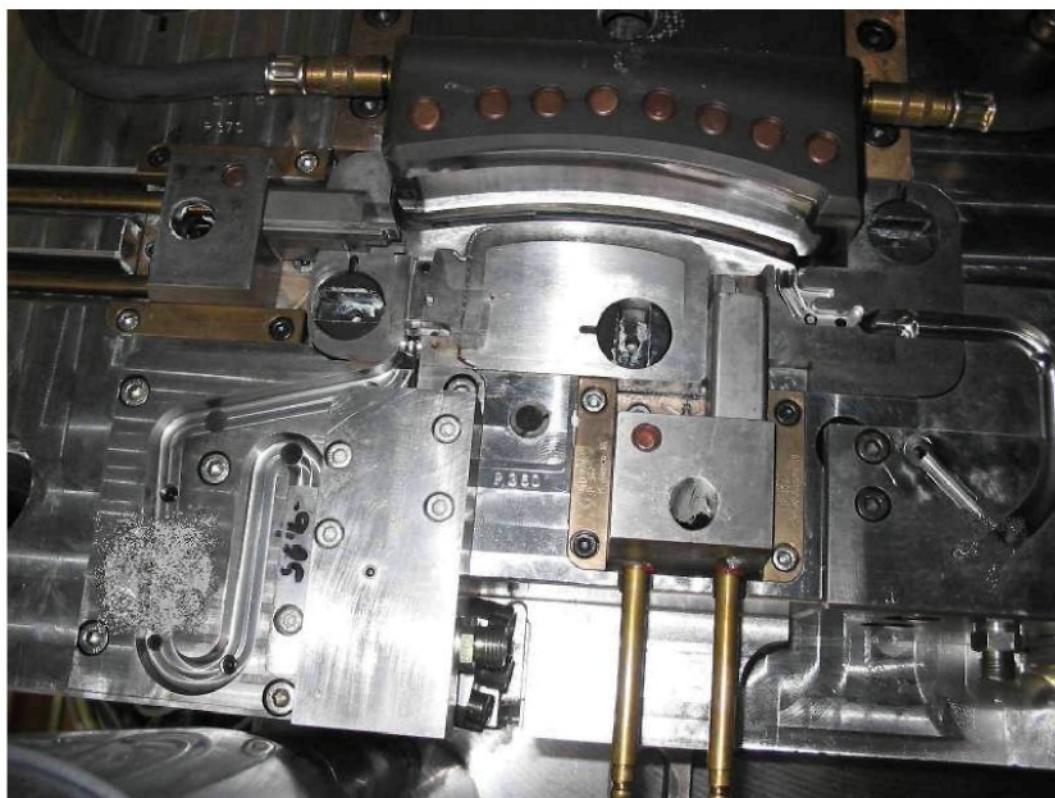
Ke vstřikování zvolených výrobků byl použit vstřikovací stroj Krauss Maffei KM 250 1900C, což je plně hydraulický dvoudeskový vstřikovací stroj s řízením na bázi průmyslového počítače s PC vizualizací a multitaskingovým operačním systémem [16]. V přiložené tabulce 4.2 je charakteristika tohoto stroje. Obrázek stroje je uveden v kapitole 3.11 na obr. 3.29.

Tab. 4.2: Charakteristika stroje KM 250 1900C [11]

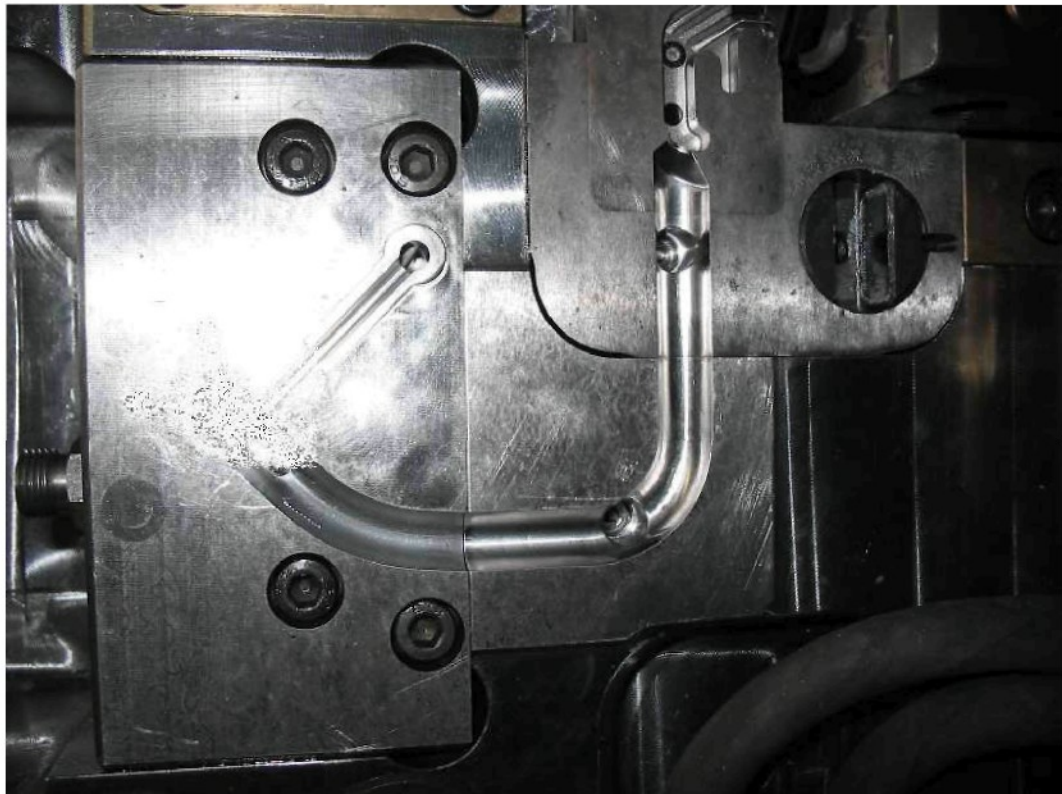
	Jednotky	Hodnota
Uzavírací jednotka		KM 250 C
Uzavírací síla	kN	2500
Základová deska (h x v)	mm	995 x 1050
Světlná šířka (h x v)	mm	630 x 630
Minimální výška nástroje	mm	330
Šířka rozevření	mm	1150
Zdvih vyhazovače	mm	200
Vstřikovací zařízení		SP 1900
Průměr šneku	mm	70
Vstřikovací tlak	bar	1778
Zdvihový objem	cm ³	1047
Otáčky šneku normální/volené	1/min	218/306
Plastifikační tok při maximu		
Při otáčkách šneku normální nebo stupeň 1	g/s	75
Při otáčkách šneku volené nebo stupeň 2	g/s	105

4.5. Vstřikovací forma

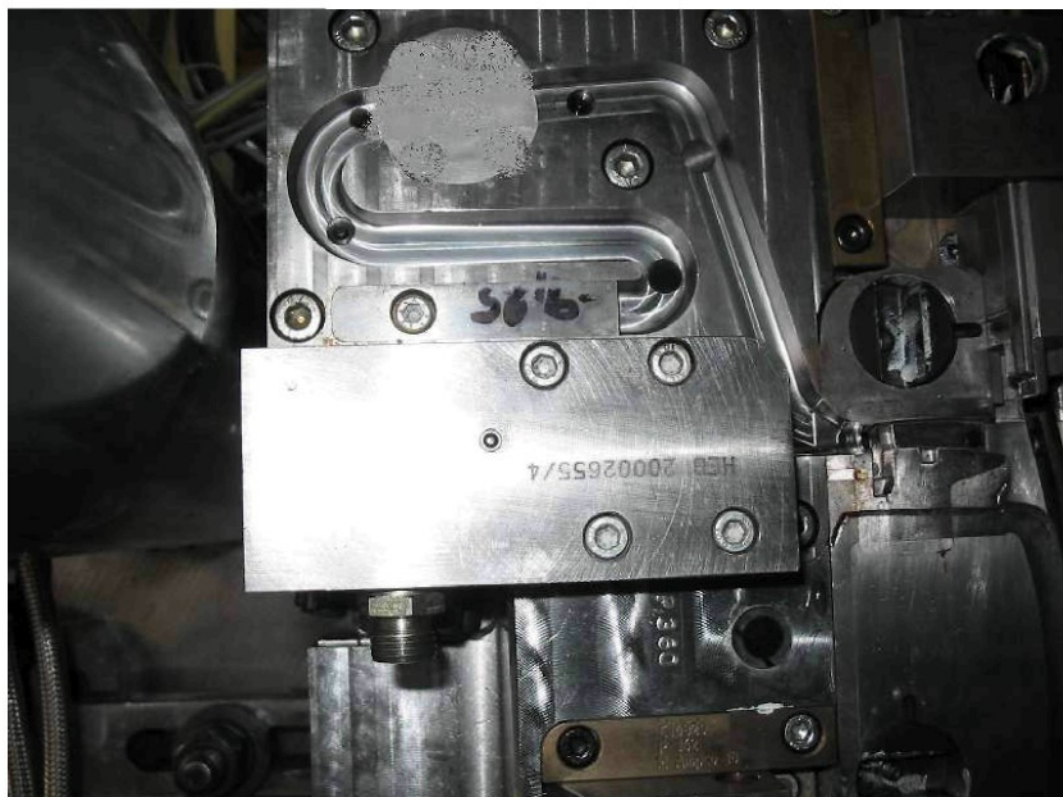
Pro vlastní experiment se použila forma z předešlé technologie WIT s nezbytnými úpravami pro správnou funkčnost. Tyto úpravy se týkaly hlavně injektorů. Do formy byl zabudován druhý (vedlejší, sekundární) injektor, protilehle k injektoru prvnímu (hlavnímu, primárnímu), který zajišťuje potřebný proplach dusíkem. Na následujících obrázcích (viz. obr. 4.2 až 4.6) jsou znázorněny jednotlivé detaily čtyřnásobné vstřikovací formy.



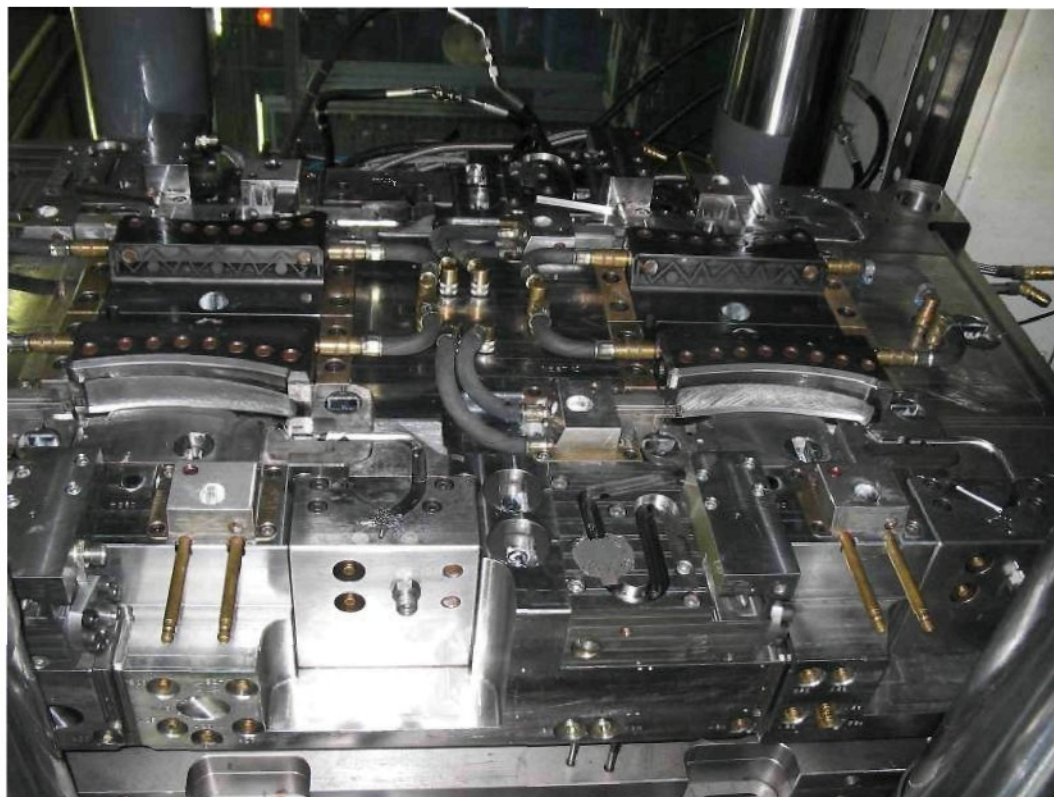
Obr. 4.2: Pohled na celkovou dutinu v pohyblivé části vstřikovací formy



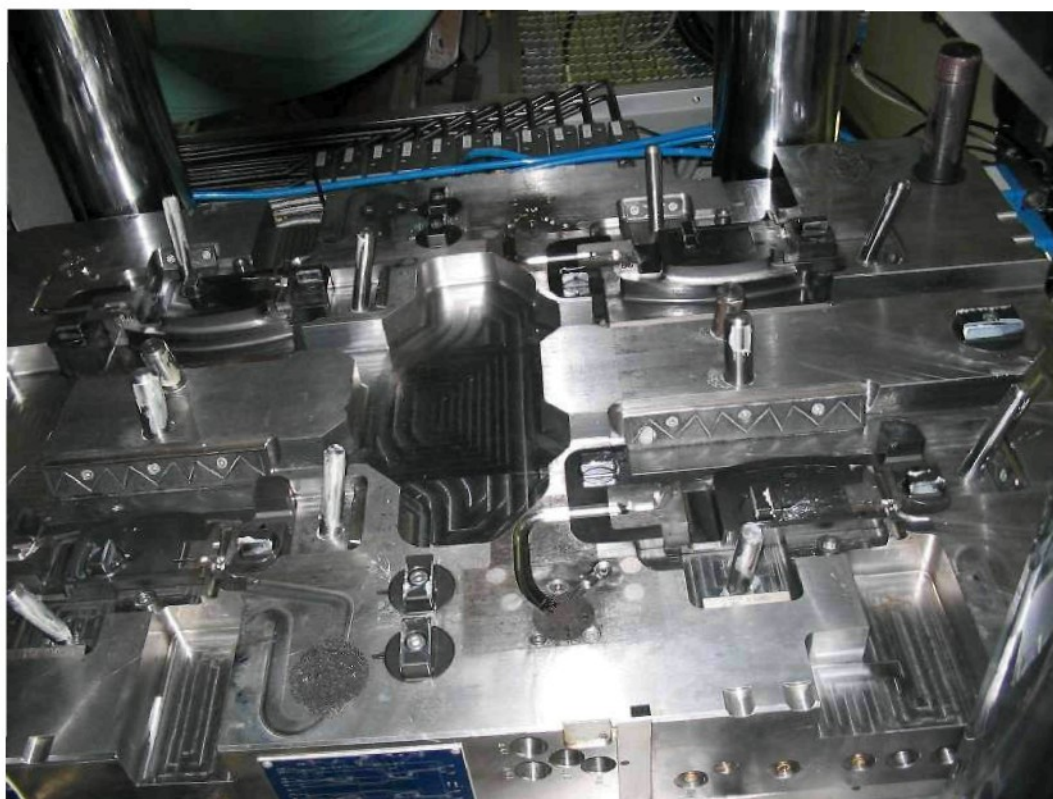
Obr. 4.3: Detail na hlavní injektor a vtokový kanál v pohyblivé části vstříkovací formy



Obr. 4.4: Pohled na přetokovou dutinu s vedlejším injektorem v pohyblivé části vstříkovací formy



Obr. 4.5: Pohled na pohyblivou část vstřikovací formy



Obr. 4.6: Pohled na pevnou část vstřikovací formy

4.6. Periferní zařízení

Pro vlastní měření experimentu bylo potřeba použít i určitých periférií. Jedno ze zařízení, které si k experimentu přivezla firma Linde Gas, byl přepínací modul (viz. obr. 4.7). Ten je potřebný nejenom k odklánění vysokotlakého dusíku do vedlejšího injektoru, ale i k otevření hlavního injektoru do atmosféry. Spolu s ovládacím modulem řídí proces vnitřního chlazení technologie GIC. Obsahuje soustavu dvoucestných ventilů a tlumičů vypouštěného plynu.



Obr. 4.7: Přepínací modul [5]

Dalším zařízením, které bylo používáno během zkoušek, je měřicí modul (viz. obr. 4.8), který se používá pro zobrazení parametrů technologie a pro zavedení optimálního procesu u zákazníka. Přesně měří celkový objem plynu proudící dutinou. Při použití tohoto zařízení může být měřena až čtyřnásobná vstřikovací forma. Na obou stranách každé dutiny je pomocí tohoto modulu měřen tlak a teplota plynu. Tím se zjišťuje, zda jsou všechny dutiny z hlediska tvaru a geometrie stejně vytvořené. Veškeré



Obr. 4.8: Měřicí modul [5]

naměřené hodnoty (tlaky a průtoky plynu s časovou závislostí, teplota plynu), jsou uloženy na paměťové médium pro pozdější vyhodnocení.

Regulační modul (viz. obr. 4.9) je potřebnou jednotkou pro řízení samotného GIT cyklu bez následného proplachu. Řídí velikosti tlaků v jednotlivých fázích procesu vstřikování.



Obr. 4.9: Regulační modul [9]

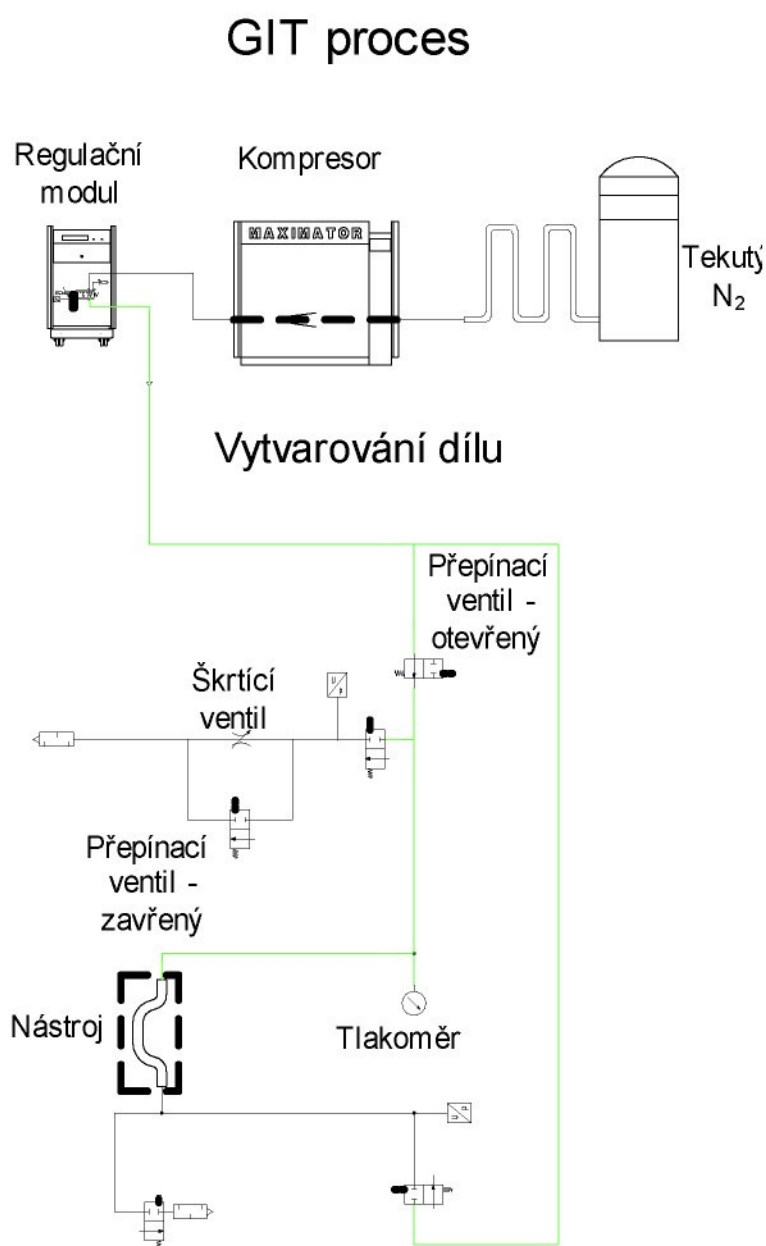
4.7. Popis průběhu experimentu

Po přemístění a ustavení všech potřebných periferních zařízení do blízkosti stroje se nejprve propojily jednotlivé agregáty mezi sebou pomocí hadic s rychloupínacími spojkami. Tato část, neboli příprava celého zařízení k provozu, trvala zhruba 60 minut. Následně mohl začít vlastní experiment.

V první fázi se nejprve provedlo několik cyklů vstřikování s klasickou GIT technologií bez proplachu z důvodu tepelného ustálení procesu a formy. V této fázi byly nastaveny parametry ze sériové výroby s celkovou dobou cyklu 72 sekund.

V následující fázi se provedlo 10 samostatných měření s vnitřním proplachem.

V každém z jednotlivých měření se provedlo 10 cyklů. Vždy na začátku měření se nastavily parametry experimentu tak, aby se pokud možno měnil jen jeden z vybraných parametrů. (U některých



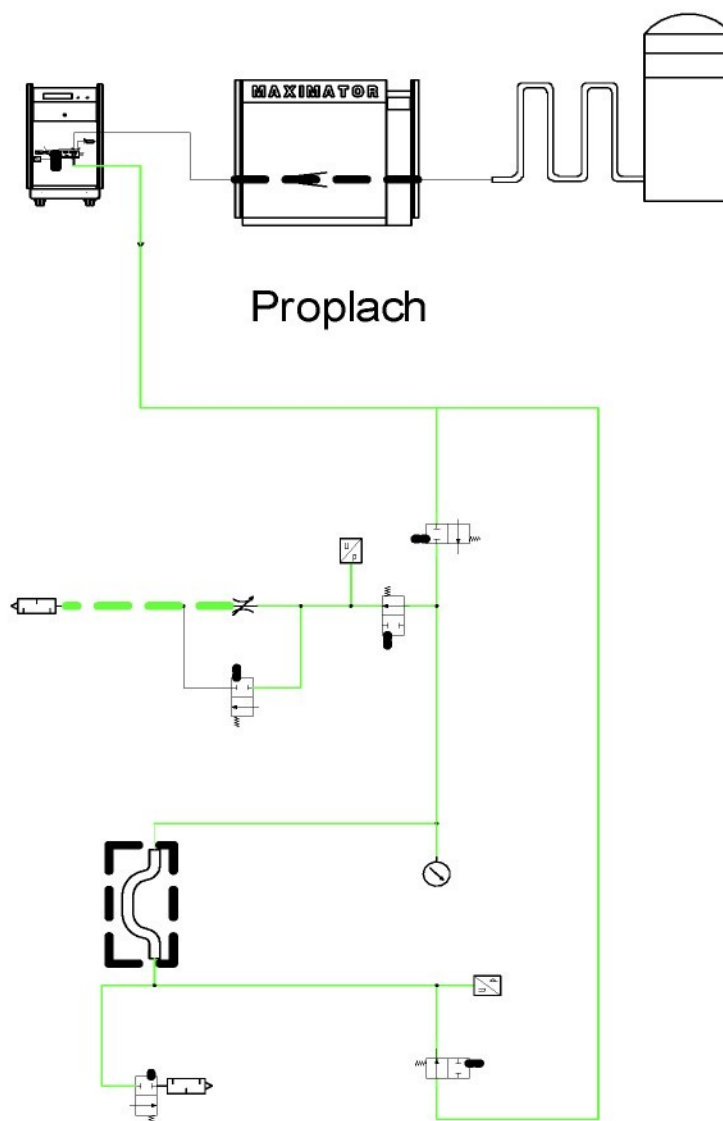
Obr. 4.10: Postup plynu při GIT procesu

parametrů nebylo možné toto zajistit, např. v případě teploty taveniny, která musela být v průběhu měření nepatrně změněna, aby vůbec došlo ke správnému vytvarování výrobku). Vždy se také před vlastním měřením nejprve vyrobilo několik kusů bez plynu pro vznik stejných podmínek během zkoušky.

Během měření se měnil tlak plynu a doba proplachu ve fázi proplachu, neboť tyto parametry mají největší vliv na celkovou dobu cyklu. Zde je nutno podotknout, že alfa i omega celého

měření byla funkčnost injektorů. Během měření totiž několikrát došlo k jejich ucpání, které měřicí modul okamžitě zaznamenal sníženým průtokem plynu dutinou. Ucpávání probíhá postupným zanášením kanálu injektoru a tím postupným snižováním průtoku plynu. Výrobky by sice mohly být na první pohled v pořádku, ale při kontrole rozměrů by již bylo nedostatečné chlazení ve fázi proplachu znát.

Chlazení



Obr. 4.11: Postup plynu při proplachu

Proudění

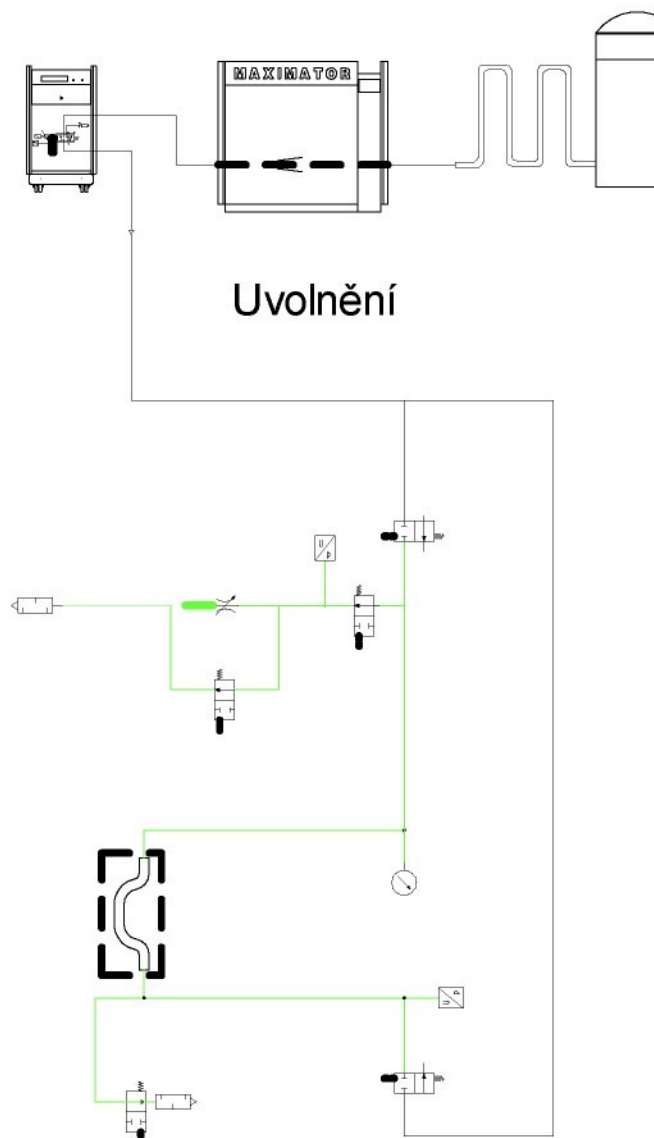
dusíku by se dalo
potom zkrátce
vyjádřit takto:

$N_2 \rightarrow$ kompresor $\rightarrow$
měřicí modul $\rightarrow$
regulační modul $\rightarrow$
přepínací modul $\rightarrow$
měřicí modul $\rightarrow$
dutina $\rightarrow$ měřicí
modul $\rightarrow$ přepínací
modul $\rightarrow$ atmosféra.

V obrázcích

(viz. obr. 4.10 až
4.12) jsou
znázorněny jednotlivé
fáze procesu výroby
vybraného dílu.
Zelenou barvou je
označena přítomnost
dusíku.

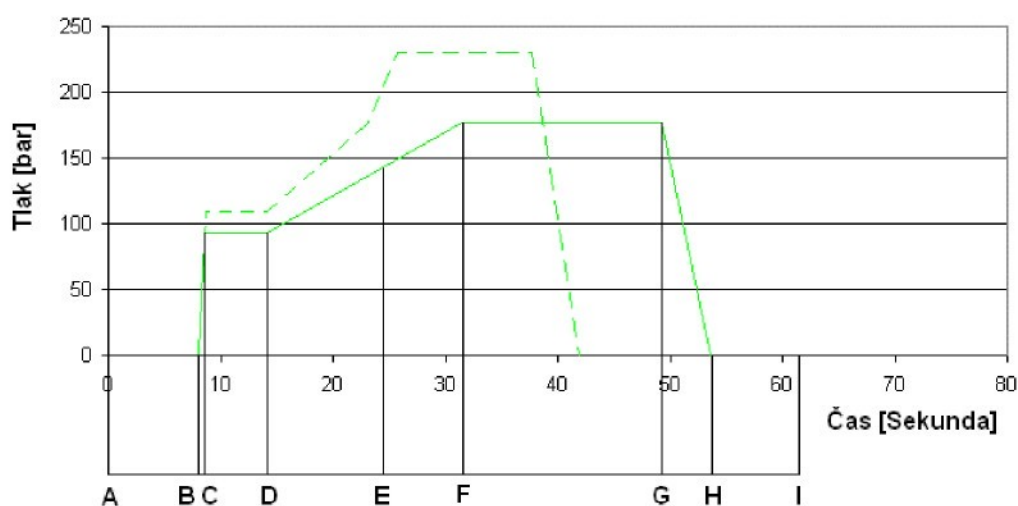
Dekomprimace



Obr. 4.12: Postup plynu při dekomprimaci

4.8. Popis vstřikovacího cyklu

V experimentální části jsou zmiňovány fáze vstřiku plynu, které ovlivňují tvorbu dutiny, podílejí se ve fázi dotlaku na rozměrové stabilitě a na intenzivnějším chlazení dílu. Proto v této kapitole (viz. obr. 4.13) uvádím charakteristický průběh jednotlivých fází vstřiku plynu, ze kterého je patrný tlakový účinek plynu během výrobního cyklu. Dále jsou v něm pro větší názornost zobrazeny hlavní části vstřikovacího cyklu se strojními časy, které se do doby cyklu v souhrnné podobě také započítávají. Důvodem je zvýšení přehlednosti při popisu procesu.



Obr. 4.13: Popis průběhu tlaku plynu a možné tvary křivek

Na obr. 4.13 lze rozeznat a popsat následující oblasti:

Oblast A-B: Strojní čas – úvodní část celého cyklu. Jde o uzavření formy a přípravné operace před začátkem vstřiku, dále je vstříknut plast s následným působením dotlaku pro správné vytvarování výrobku.

Oblast B-D: Natlakování před vstřikování – natlakování plynu před tryskou, čeká se na zahájení GIT procesu.

Oblast D-E: Vstřik plynu – zahájen GIT proces, plynem z primárního injektoru je vytvarována dutina ve výrobku a přebytečný materiál naplnil přetokovou dutinu. Probíhá kompenzace smrštění doprovázená rostoucím tlakem plynu.

Bod E: Bod přepnutí – okamžik začátku proplachu dusíkem. V tomto okamžiku se otvírá sekundární injektor. Primární injektor musí být uzavřen do té doby, než tlak přivedeného dusíku převýší tlak dusíku ve výrobku.

Oblast E-F: Proplach - zahájen proplach, roste tlak plynu až dosáhne nastaveného tlaku proplachu.

Oblast F-G: Vlastní proplach – maximální odvod tepla z výrobku, maximální průtok plynu. Minimální doba pro zafixování rozměrů, výrobek se po vyjmutí nesmí bortit nebo jinak deformovat.

Oblast G-H: Dekomprimace - otevření obou injektorů do atmosféry, co nejrychlejší vypuštění plynu z výrobku, následuje otevření formy.

Oblast H-I: Manipulační čas – konečná část cyklu, otevření formy a vysunutí vyhazovačů.

4.9. Získaná data a výsledky z experimentů

Při vlastním měření vždy byli přítomni jednak zástupci firmy WITTE Nejdek, jednak TUL a jednak firmy Linde Gas, kteří dohlíželi na proces, obsluhovali periferní zařízení a poskytovali své zkušenosti k průběhu zkoušek. Jako kontrolní rozměr jsem vybral jeden z šesti měřených rozměrů (zbytek viz. příloha č.1) a jeho poloha je znázorněna na obr. 4.19 písmenem A. Rozměr s tolerancí pro tuto hodnotu je $177,67 \pm 1$ mm. Dalším kontrolním členem je přenesené zatížení z tahové zkoušky (viz. příloha č.2). Požadavkem je odolání zatížení 1600 N bez porušení. Pro obě hodnoty jsou také uvedeny směrodatné odchylky. Následující časy (viz. tab. 4.3 a 4.6) jsou včetně doby manipulace s formou na začátku i ke konci cyklu. V tabulce 4.3 a 4.5 jsou vždy parametry a jejich rozsah v jakém se během procesu měnily.

4.9.1. Výsledky z měření č.1

Měření proběhlo na dvounásobné formě a bylo zaměřeno hlavně na nejvyšší možné snížení doby pracovního cyklu. Z důvody prvních testů a neznalosti možností proplachu dusíkem se během měření měnilo většinou

několik parametrů najednou. V měření 14 a 15 byl změněn materiál z původního PA6 Zytel na PBT Polyshine.

Tab. 4.3: Přehled měřených parametrů v 1. měření

Parametr	Rozsah hodnot
Doba proplachu [s]	14 - 20
Bod přepnutí [s]	15 - 31

Tab. 4.4: Naměřené hodnoty při 1. měření

Číslo měření	1	2	3	4	5	6
Doba proplachu [s]	-	20	20	20	19	19
Bod přepnutí [s]	-	31	26	21	26	21
Doba cyklu [s]	70	70	65	60	63	58
Proplachovací tlak [bar]	175	175	175	175	175	175
Spotřeba dusíku [nl/dutina]	17	42,5	44	38	39,5	39
Rozměr v kontrolním místě A [mm]	176,87	176,95	176,88	176,93	176,84	176,72
Směrodatná odchylka rozměru v kontrolním místě A [mm]	0,03	0,09	0,05	0,04	0,07	0,06
Zatížení [N]	1865,3	1786,7	1863,1	1746,8	1770,6	1779,3
Směrodatná odchylka zatížení [N]	60,8	82,5	61,1	57,8	50,7	74,1

Pokračování tab. 4.4

7	8	9	10	11	12	13	14	15
19	14	17	17	17	15	15	15	19
16	21	18	18	15	15	15	15	21
54	54	54	54	51	49	49	49	59
175	175	175	175	175	175	175	175	175
29,5	35	34	36	32	31	31,5	33	33
176,68	176,71	176,73	176,64	176,61	176,54	176,68	176,5	176,55
0,08	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,07	0,1
1762,6	1842,5	1791	1747,1	1749,2	1726,7	1738,3	934,7	879,9
65,8	54,9	42,3	49,4	48,7	83,9	47,5	51,9	62,6

4.9.2. Výsledky z měření č.2

Druhé měření proběhlo na čtyřnásobné formě, ale jen se třemi funkčními dutinami. Trvalo dva dny a stihlo se při něm provést 10 měření. Již z předešlého měření byly známy možnosti procesu a měření se tak mohlo zaměřit více na vlivy jednotlivých veličin. Hodnota spotřeby dusíku byla vyhodnocována až z uložených dat v měřicím modulu. Je uvedena pouze tam, kde byl průtok dusíku ve všech dutinách stejný (injektory nebyly ucpány a pracovaly správně). Pokud došlo k ucpání, tak většinou jen na jedné

duťně. Zbylé dvě tedy fungovali správně a tudíž chyba v naměřených hodnotách kontrolních členů je eliminována směrodatnou odchylkou.

Tab. 4.5: Přehled měřených parametrů ve 2. měření

Parametr	Rozsah hodnot
Doba proplachu [s]	5 - 33
Bod přepnutí [s]	15 - 31
Teplota taveniny [°C]	270 - 280
Meztlak pro GIT [bar]	90 - 120
Proplachovací tlak [bar]	175 - 230

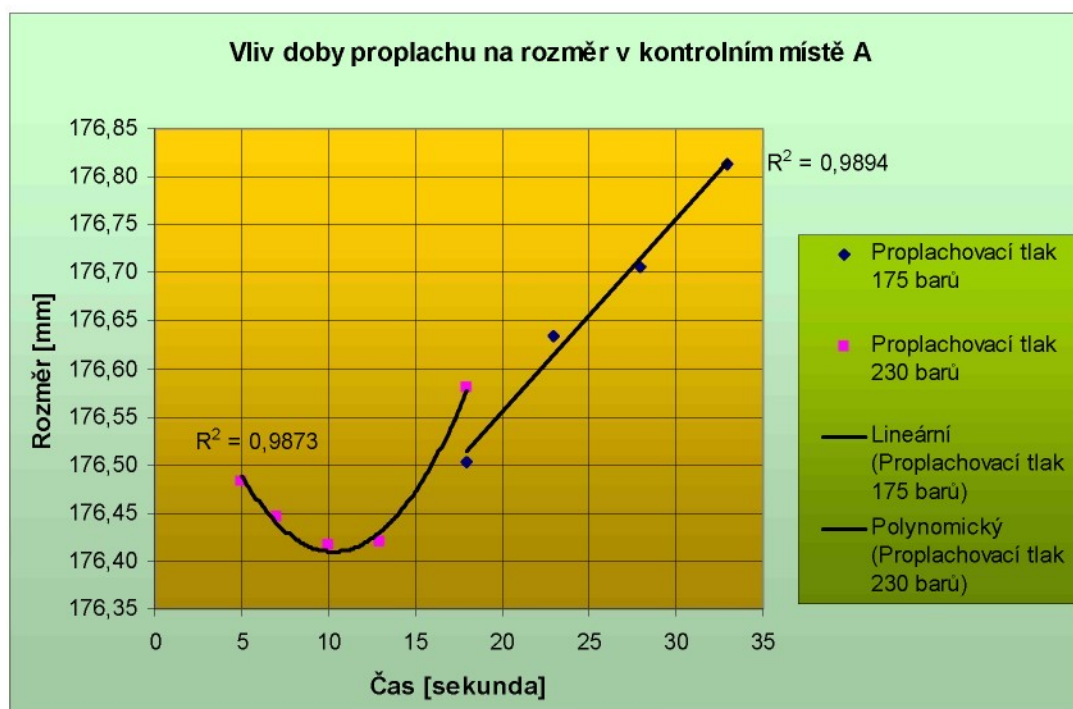
Tab. 4.6: Naměřené hodnoty při 2. měření

Číslo měření	1	2	3
Doba proplachu [s]	33	28	23
Bod přepnutí [s]	20	20	20
Doba cyklu [s]	72	67	59
Teplota taveniny [°C]	280	280	280
Meztlak pro GIT [bar]	90	90	90
Proplachovací tlak [bar]	175	175	175
Spotřeba dusíku [nl/dutina]	-	-	-
Rozměr v kontrolním místě A [mm]	176,81	176,71	176,63
Směrodatná odchylka rozměru v kontrolním místě A [mm]	0,04	0,02	0,02
Zatížení [N]	1868,7	1838,6	1787,8
Směrodatná odchylka zatížení [N]	80,4	78	94,6

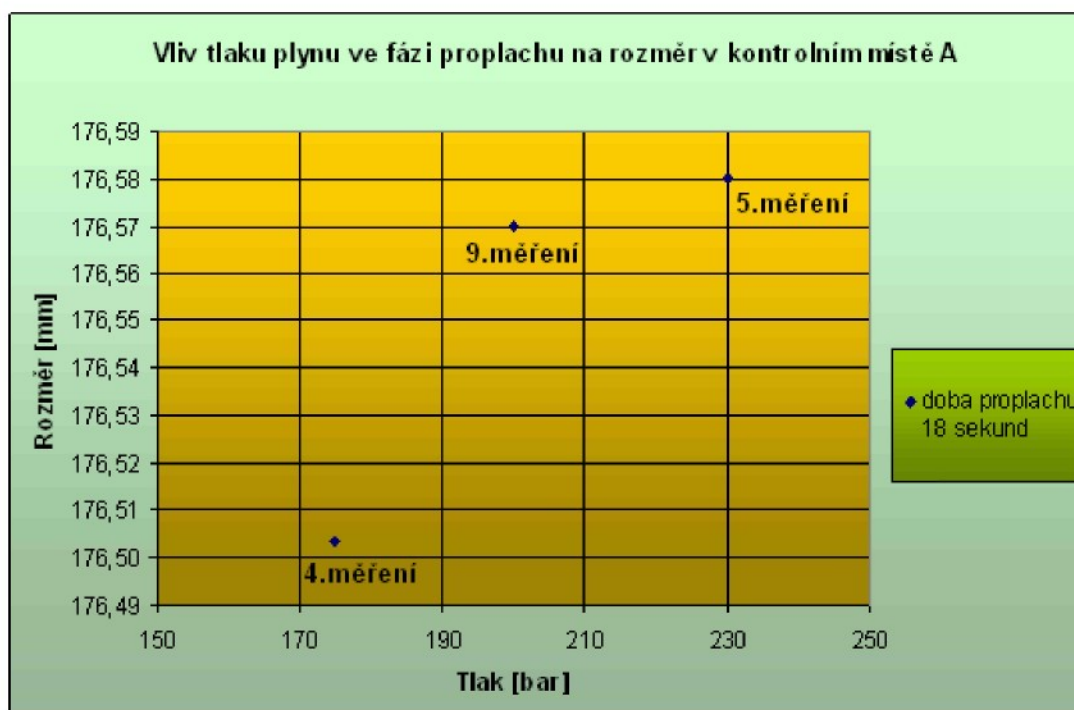
Pokračování tab. 4.6

4	5	6	7	8	9	10
18	18	13	10	7	18	5
20	20	20	20	20	20	18
53	53,5	49	45	42	38	38
280	280	280	280	275	275	270
90	100	100	100	120	100	120
175	230	230	230	230	200	230
60	-	72	-	53	-	-
176,5	176,58	176,42	176,42	176,45	176,57	176,48
0,03	0,03	0,01	0,06	0,1	0,01	0,23
1766,6	1814,3	1822,1	1852	1828,8	1739	1797,9
45,4	48,3	55,8	38,1	52,8	58,7	73

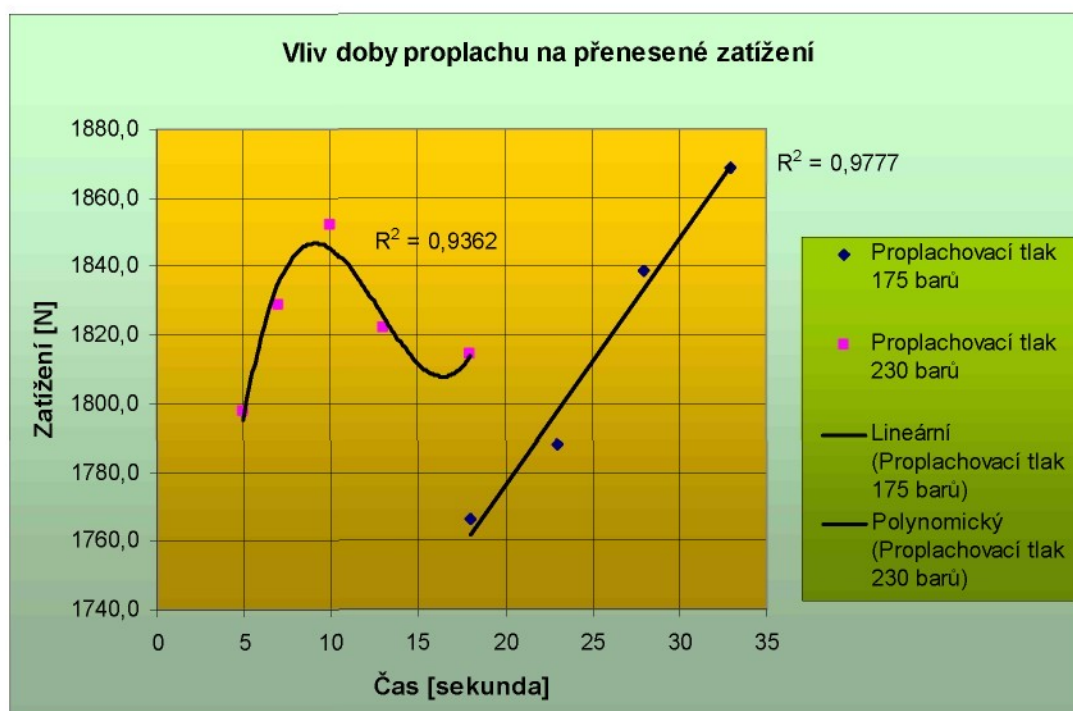
V následujících grafech je znázorněno chování jednotlivých kontrolních parametrů v závislosti na době proplachu a proplachovacím tlaku. Body jsou proloženy vhodnými spojnicemi trendu a jejich přesnost je vždy ověřena příslušným korelačním koeficientem.



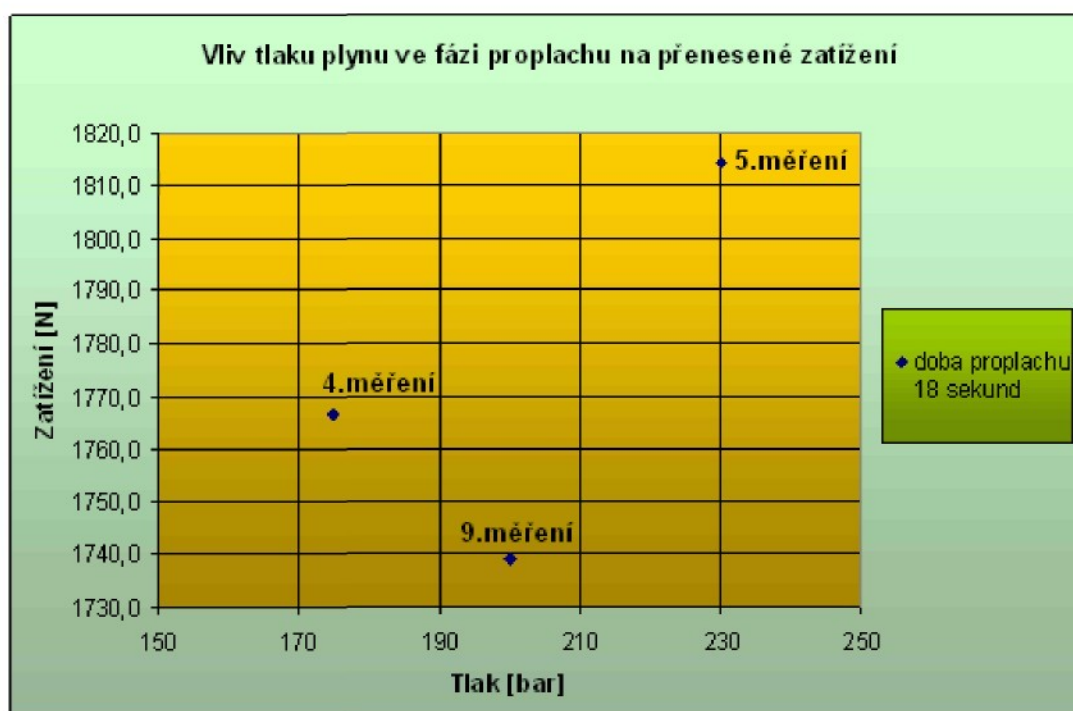
Obr. 4.14: Grafické vyjádření naměřených hodnot



Obr. 4.15: Grafické vyjádření naměřených hodnot



Obr. 4.16: Grafické vyjádření naměřených hodnot



Obr. 4.17: Grafické vyjádření naměřených hodnot

4.10. Vady a jejich příčiny

Vady se rozdělují na vzhledové a nevzhledové. Nevzhledové vady jsou jasným nedodržením požadovaného rozměru v kontrolních místech výrobku (viz. obr. 4.19). Vady vzhledové jsou však již posuzovány jednotlivými pracovníky kvality, tudíž nejsou definovány jinak, než přibližným popisem možného stavu.

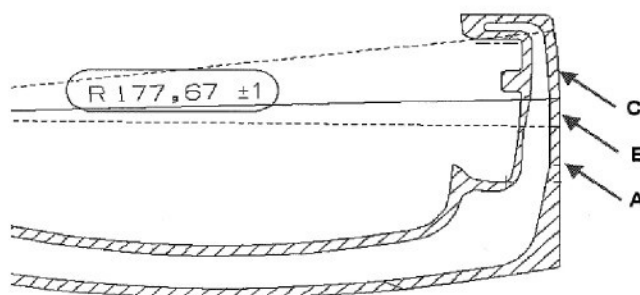
Jedná se o tzv. vypouklost („nafouknutost“) klik. Tato vada má svojí příčinu v již zmiňované špatné

funkci injektorů. Při vypouštění plynu z dutiny po proplach nestačí plyn kvůli ucpaným injektorům dostatečně rychle unikat a po otevření formy zůstává ještě jeho část ve výrobku. Výrobek, který již není držen formou, se následkem tlaku „nafukuje“, tj. vypoukne se směrem ven (viz. obr. 4.18). Následně při jeho vyjímání zůstávají v dělicí rovině šmouhy od toho, jak se materiál tlačil na stěnu formy. Tato vada je nepřijatelná a během měření se několikrát objevila jako následek ucpávajícího se injektoru. Měřicí modul však tento stav okamžitě zaznamenal a zabránil v pokračování výroby takto vadných dílů. Její identifikace je možná pouze vizuální kontrolou. Následek této vady je také patrný na nižší rozměrové přesnosti (viz. rozměry v kontrolním místě A v tab. 4.4 a 4.6).

Nevzhledové vady jsou většinou následkem příliš velkého smrštění plastu při ochlazování výrobku. GIT technologie dosahuje díky svému principu dotlaku nízkých hodnot smrštění. Při aplikaci následného proplachu však dochází k intenzivnímu odvodu



Obr. 4.18: Vady nafouknuté kliky



Obr. 4.19: Vybraná měřená místa na výrobku

tepla. Smrštění pak dosahuje mnohem větších hodnot, než bylo při konstrukci formy uvažováno a rozměry nemohou náročným požadavkům zákazníka vyhovět. Obecně tedy platí, že čím intenzivněji se bude výrobek chladit (čím více se bude odvádět teplo proplachem), tím vyšších rozměrových změn bude dosaženo. Jistým řešením by bylo zvýšení proplachovacího tlaku plynu. To však naráží na jistá omezení, jako je dimenzování formy z hlediska hydraulického systému ovládání injektorů. Při měření jsme dosáhli nejvyššího tlaku 230 barů, což je o 30 barů více, než pro jaký jsou injektory dimenzované. Zařízení další zvyšování tlaku sice umožňovalo, injektory již však ne.

4.11. Hodnocení stability procesu

Při výrobě výlisků vznikají kvalitní díly spolu se zmetky k čemuž by u stabilního procesu nemělo docházet. Pokud není zajištěna stabilita procesu, pak je velmi těžké udržet výrobu kvalitních dílů i při dobře nastavených technologických parametrech. V následujícím textu bude hodnocen vliv vybraných technologických parametrů na stabilitu procesu vstřikování.

Dosáhneme-li dostatečně krátké doby cyklu při zachování požadovaných rozměrů, můžeme mluvit o stabilním cyklu. To znamená výroba stále rozměrově stejných výrobků v předepsané toleranci (kontrolní rozměr v bodě A je $177,67 \pm 1$ mm) s dostatečně krátkou dobou cyklu (snížení doby cyklu během experimentu z původních 72 na konečných 38 sekund) bez jakýchkoliv problémů (ucpávající se injektory). Dobu cyklu se tedy během zkoušek podařilo snížit z původních 72 sekund na konečných 38 sekund. Tedy snížit čas cyklu o 53%, což je oproti původně předpokládaným 30% velice dobré. Tato změna však měla veliký vliv na rozměry výrobku, které se většinou nevešly do tolerančních polí daných rozměrů (viz. tab. 4.4 a 4.6).

Dalším vlivem, který přispíval k nestabilitě procesu, byly často se ucpávající injektory. S klesající dobou cyklu, byl tento jev stále častější a nedalo se odhadnout, kdy k tomuto jevu může dojít. Čím vyšší je teplota

plastu při začátku proplachu, tím větší je šance, že se s proudícím plynem odtrhne i kousek plastu a zanese injektor.

Pokud by byla teplota taveniny nastavena na nižší hodnotu než byly použity v experimentu, nedošlo by ke správnému vytvarování výrobku. Jako možné důsledky takto nízké teploty taveniny jsou následující: nezatečení plastu do koncových částí přetokové dutiny nebo neprotlačení injektoru do již příliš ztuhlého materiálu. Při příliš vysoké teplotě taveniny nastane problém s tloušťkou stěny, která bude proudícím plynem zeslabena natolik, že výrobek neobstojí v tahové zkoušce. Je tedy důležité najít optimální hodnotu teploty taveniny (viz. tab. 4.6) a předejít těmto problémům.

Dalšími prvky, ovlivňujícími stabilitu procesu, je volba jednotlivých časových intervalů během cyklu. Mezi nejvýznamnější patří bod přepnutí, což je okamžik začátku proplachu dílu dusíkem. Příliš dlouhá doba před přepnutím prodlužuje dobu cyklu a zvyšuje tloušťku stěny. Příliš krátká však zapříčiňuje ucpávání injektoru nebo přilepení plastu na injektor. V našem případě jsme určili jako nejvýhodnější bod přepnutí po 20 sekundách. Při volbě příliš nízkých hodnot docházelo k výše uvedeným problémům.

4.12. Návrhy a možná zlepšení

Největší problém při proplachu dusíkem spatřuji v ucpávání *injektorů*. Nebude-li tento problém vyřešen, bude do té doby proces nestabilní. Tento problém je možné řešit dvěma způsoby. Buď úplně zabránit vnikání plastu do injektoru, nebo vniknutý plast z injektoru během procesu odstraňovat. Problém odstraňování materiálu z injektoru během procesu je konstrukčně složitý a vyžádal by si zřejmě značné úpravy na injektorech. Jiným způsobem řešení tohoto problému je upravení injektorového kanálku tak, aby v případě vniknutí plastu do injektoru, pokračoval plast vhodným zahnutím a rozšířením tvaru kanálku ven z injektoru, do systému zachytávání těchto částic. Je vždy lepší pročistit vedení v určitém daném místě, které je k tomu přizpůsobené, než hledat příčinu ucpání v injektoru nebo jinde v systému.

Nedodržení požadovaných rozměrů vlivem *smrštění* hmoty je problém týkající se dimenzování rozměru dutiny formy. Tato forma vyhovuje výrobě

pomocí technologie GIT. Při proplachu dusíkem je značně zvýšen odvod tepla z výrobku a zkrácena fáze chlazení. Tyto faktory mají zásadní vliv na následné smrštění výrobku. Proto je nutné zabývat se jimi již ve fázi výroby vstřikovací formy. V tomto měření jsme sice sledovali změnu rozměrů na parametrech proplachu, avšak nestabilita procesu a malý počet měření nám nedovolil přesně určit hodnoty pro budoucí dimenzování rozměrů formy.

Jedním z možných konstrukčních řešení je upravení teploty formy ve vztahu ke změně *teploty taveniny* plastu. Pro snížení doby cyklu je vhodné teplotu taveniny snížit. Při tomto stavu by však nedošlo ke správnému vytvarování dutiny vlivem příliš rychle tuhnutí taveniny u vtoku. Přidání temperačních kanálů ke vtokové soustavě a jejich následné vyhřívání by mělo zajistit správné vytvarování požadovaného tvaru.

Možností snížení doby cyklu je velké množství. Jejich vliv na nežádoucí deformaci rozměrů je však otázkou dalších testů a zkoumání již zmiňovaných úprav vstřikovací formy.

5. Diskuze výsledků diplomové práce

V jednotlivých odstavcích jsou rozebrány výsledné grafické závislosti (viz. tab. 4.14 až 4.17) a důvody jejich chování. Jde o výsledky z měření číslo 2. Výsledky z 1. měření nebylo možné takto zpracovat z důvodu neznalosti možností proplachu dusíkem a změny příliš velkého množství parametrů najednou.

Vliv doby proplachu a její vliv na rozměry (viz. tab. 4.14) - se stoupající dobou proplachu roste množství odvedeného tepla z dutiny výrobku. Díky tomu má materiál více času na zafixování rozměrů a tudíž roste přesnost požadovaného rozměru. Při snižování doby cyklu je však tato hodnota první, kterou budeme snižovat. Při vyšších hodnotách doby proplachu je patrná linearita naměřených hodnot. U vyššího tlaku a nižších hodnot doby proplachu to však již neplatí. Křivka pro vyšší tlak se chová podobně jako křivka pro nižší tlak do té doby, než zvýším v posledních dvou bodech hodnotu mezitlaku pro GIT. Pokud bych tyto poslední dvě hodnoty vynechal, dostal bych podobnou závislost jako při nižším tlaku.

Vliv proplachovacího tlaku na rozměry (viz. tab. 4.15) - se stoupajícím tlakem roste průtok dusíku dutinou a tím také odvedené teplo z výrobku. Ačkoli jsou rozdíly tlaku skoro stejné (175, 200 a 230 barů), je mezi prvním a ostatními dvěma velká změna v rozměrech. To je zřejmě způsobené změnou mezitlaku z 90 MPa na 100 MPa v GIT fázi procesu. Vyšší hodnota dotlaku (100 MPa) tak způsobila menší smrštění výrobku.

Vliv doby proplachu na pevnost (viz. tab. 4.16) - Polyamid 6 je semikrystalický plast a mechanické vlastnosti tohoto materiálu závisí na stupni krystalinity. S rychlejším ochlazováním roste podíl amorfni fáze, čímž roste tvrdost a klesá houževnatost. Čím déle budu proplachovat výrobek (déle budu výrobek chladit) dusíkem, tím více tepla odeberu. Při době poplachu 33 sekund dosáhnou v materiálu vyššího podílu amorfni části než při 18 sekundovém proplachu. Přenesené zatížení z tahové zkoušky je při proplachu 33 sekund $1868,7 \pm 80,4$ N a při 18 sekundovém proplachu jen $1766,6 \pm 45,4$ N. Opět je možné správně vyhodnotit pouze hodnoty pro tlak 175 MPa jejichž průběh je jednoznačně lineární.

Vliv proplachovacího tlaku na přenesené zatížení (viz. tab. 4.17) - vliv proplachovacího tlaku je též spojen se stupněm krystaliniky. Zvýším-li proplachovací tlak, zvýší se průtok plynu dutinou a vzroste odvedené množství tepla. Vyšší proplachovací tlak (230 MPa) posouvá všechny hodnoty přeneseného zatížení k vyšším hodnotám oproti nižšímu tlaku (175 MPa). Výjimkou je měření číslo 9 s proplachovacím tlakem 200 MPa. Důvodem může být rozdíl při těchto měření v teplotě taveniny a v hodnotě mezitlaku při GIT.

6. Závěr

Tato práce, na téma Aplikace technologie GIT pro vybraný díl, si vzala za svůj cíl zmapovat dosud nepříliš probádanou oblast vstřikování. Firma WITTE Nejdek začala jako jedna z prvních v republice zkoušet technologii vnitřního proplachu dusíkem na duté klice do osobního automobilu. Diplomová práce měla zhodnotit chování výrobku ve vztahu s touto technologií. Její silné a slabé stránky, možnosti snížení doby cyklu pro výrobu, doprovázející problémy, nutné vybavení a vše s tím spojené.

První, teoretická část diplomové práce, je věnována teoretickým znalostem obecné GIT technologie. Dále řeší technologické způsoby vstřikování GIT, zásady při navrhování výrobků a forem, vhodné materiály pro výrobky a požadavky na vstřikovací stroje pro tuto technologii.

V druhé, experimentální části, je podrobně popsán použitý materiál klinky, vstřikovací forma a vstřikovací stroj včetně jednotlivých potřebných zařízení. Dále je vysvětlen průběh vlastního experimentu s popisem vstřikovacího cyklu. Výsledky jsou zpracovány do přehledných tabulek a důležité závislosti vyneseny do příslušných grafů. Nakonec se ve své práci zabývám druhy a příčinami vzniku vad na výrobku, možnostmi jejich předejetí, celkovou stabilitou procesu a možnými úpravami a zlepšeními do budoucna.

Ve třetí, poslední části, je provedena diskuze jednotlivých výsledků experimentu a jejich vztah ke kontrolním členům určujícím kvalitu výrobku. Závěrem lze říci, že:

- snížení doby cyklu z původních 72 sekund na 38 sekund ještě není konečné, neboť při správné funkčnosti všech členů systému je možné docílit ještě nižší doby cyklu, než je 38 sekund;
- bude nutné vyřešit problémy s ucpávajícími se injektory;
- forma musí být již navržena a dimenzovaná pro tuto technologii ve fázi návrhu výrobku. To platí jak z hlediska rozměrů, tak i z hlediska proplachovacích tlaků;
- pro získání přesnějších hodnot pro dimenzování formy v budoucnosti je potřeba provést více měření a zajistit plně funkční pomocné zařízení.

Seznam použité literatury

- [1] PIKORA, M.: Aplikace technologie WIT pro vybraný díl. Diplomová práce. TU Liberec, 2004.
- [2] LENFELD, P.: Měření teplotních polí na plastových dílech vyráběných technologií GIT. Liberec, 2003, s 1-15, CD.
- [3] LENFELD, P.: Technologie II – 2. část, zpracování plastů. Skripta, TU Liberec, leden 2006, 139 stran, CD. ISBN 80-7372-037-X
- [4] Gasinjektionstechnik [online], [cit. 2006-2-6] Dostupné na:
<http://plastics.bayer.com/plastics/emea/de/docguard/A0970.pdf?docId=1404>
- [5] ORSÉN, M.: Strahlhärtung ESH und UV unter Inertgas. 2005, PowerPoint prezentace.
- [6] Ausbildung der Wanddicke bei der Gas-Injektions-Technik [online], [cit. 2006-2-10] Dostupné na:
<http://plastics.bayer.com/plastics/emea/de/technology/artikle.jsp?docId=1828&cid=>
- [7] Materiály firmy Linde Gas: Gas injection molding
- [8] LENFELD, P.: Zvyšování kvality plastových dílů pomocí měření a simulace. Habilitační práce. TU Liberec, 2000, 255 stran.
- [9] Regulační modul [online], [cit. 2006-2-11] Dostupné na:
http://www.maximator.de/pages_dt/news_2.html
- [10] Materiálový list [online], [cit. 2006-4-10] Dostupné na:
<http://www.campusplastics.com>
- [11] Vstřikovací stroj [online], [cit. 2006-2-9] Dostupné na:
<http://www.krauss-maffei.de/cgi-bin/datasheet.pl?C-KM250-300-1900;de;;656487af2ff85fd0a214821a048c97e9>
- [12] Vstřikovací stroj [online], [2006-2-9] Dostupné na:
<http://www.krauss-maffei.de/deutsch/ks1-121.htm>
- [13] Typy GIT výrobků [online], [2006-2-15] Dostupné na:
http://plastics.bayer.com/_cms_live/media/medias/0000/00/00/07/1793.jpg



- [14] Profil firmy [online], [cit. 2006-3-28] Dostupné na:
<http://www.witte-nejdek.cz/default.asp?m=0&id=Firma>
- [15] Poloha a situování [online], [2006-3-28] Dostupné na:
<http://www.witte-nejdek.cz/images/fo08B.jpg>
- [16] Vstřikovací stroj [online], [cit. 2006-3-28] Dostupné na:
<http://www.plastnet.cz/ArticleDetail.asp?nBranchID=0&nArtID=76&nPage=1>