

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

nositelka řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 08

strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastů

VÝZKUM CHOVÁNÍ PLASTŮ S VLÁKNITOU VÝZTUŽÍ PŘI

RÁZOVÉM NAMÁHÁNÍ

Ivana Špičková

335

Vedoucí práce : ing.J. Krebs, CSc.

Rozsah práce a příloh: 100

Počet stran: 64

Počet příloh: 35

a tabulek: 41

Počet obrázků a foto: 12

Vysoká škola: **strojí a textilní**

Fakulta: **strojí**

Katedra: **tváření a plastů**

Školní rok: **1987/88**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMELECKÉHO DÍLA, UMELECKÉHO VYKONU)

pro **s. Ivanu Špičkovou**
obor **23 07 - 8 Strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Výzkum chování plastů s vláknitou výztuží při rázovém namáhání.**

Zásady pro vypracování:

- 1) Analyzujte makrostrukturu modelových výstřiků, vyrobených vstřikováním termoplastů s vláknitou výztuží.
- 2) S ohledem na reologické poměry při plnění dutiny formy navrhnete způsob odběru zkušebních těles pro rázové zkoušky s odlišnou makrostrukturou.
- 3) Pomocí zvolených zkušebních metod proveďte stanovení rázové, event. vrubové houževnatosti.
- 4) Na zkoušených tělesech prozkoumejte charakter lomové plochy.
- 5) Zhodnoťte dosažené výsledky ve vztahu k technologickým podmínkám vstřikování.

V 254/88 5

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

[Handwritten signature]

KPT/TP

Rozsah grafických prací: cca 40 stran včetně obrázků a tabulek.

Rozsah průvodní zprávy:

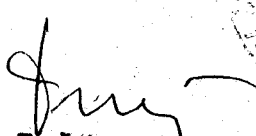
- Seznam odborné literatury:
- 1) Kaliske, G.: Plasty a kaučuk, 1982, č. 4
 - 2) Kalousková, B.: Diplomová práce VŠST Liberec 86.
 - 3) Krsová, E.: Plasty a kaučuk

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Krebs, CSc.

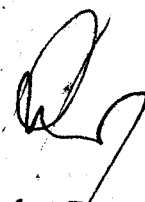
Datum zadání diplomové práce: 11. 9. 1987

Termín odevzdání diplomové práce: 10. 5. 1988




Doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.

Děkan

v Liberci dne 12. 9. 1987

Místopřísežné prohlášení:

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

V Liberci, dne 10. 5. 1988

Podpis: Ivana Špičková

Ivana Špičková

OBSAH:

1. Úvod
2. Teoretická část
 - 2.1 Vlastnosti a použití plastů
 - 2.1.1 Složené materiály /kompozity/
 - 2.1.2 Plniva
 - 2.1.2.1 Sklem vyztužené termoplasty
 - 2.1.3 Vlastnosti polyamidů
 - 2.1.3.1 PA 6, typ silamid 13.01 - ESV 30
 - 2.2 Proces vstřikování
 - 2.2.1 Plnění dutiny formy
 - 2.2.2 Makrostruktura
 - 2.2.2.1 Vstřikování deskového výstřiku
 - 2.2.2.2 Hodnoty určující makrostrukturu
 - 2.2.2.3 Vliv geometrie tvaru výrobku na makrostrukturu
 - 2.2.3 Vliv makrostruktury v praxi
 - 2.3 Houževnatost
 - 2.3.1 Rázová zkouška
 - 2.3.2 Lom, lomová trhlina
 - 2.3.3 Tažný a křehký lom
3. Experimentální část
 - 3.1 Podmínky výroby zkušebních těles
 - 3.1.1 Výroba přípravku
 - 3.1.2 Rozřezávání na zkušební tělesa
 - 3.3 Metodika měření
 - 3.3.1 Zkouška metodou Dynstat
 - 3.3.1.1 Cíl zkoušky
 - 3.3.1.2 Vlastní realizace zkoušky
 - 3.3.1.3 Závěr zkoušky
 - 3.3.2 Zkouška metodou Charpy
 - 3.3.2.1 Cíl zkoušky
 - 3.3.2.2 Vlastní realizace zkoušky

- 3.3.2.3 Závěr zkoušky
- 3.4 Hodnocení výsledků
- 3.4.1 Úvod
- 3.4.2 Vylučování odlehlých výsledků
- 3.4.2.1 Grubbsův test
- 3.4.3 Přímková regresní analýza
- 3.4.4 Lomová plocha
- 4. Závěr

Seznam tabulek

	str.
Tab.č.I.	Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti metodou Dynstat pro tělesa vyrobená z modelových těles pro metodu Charpy 40
Tab.č.II.	Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti metodou Dynstat pro tělesa vyrobená z těles pro tahovou zkoušku 41
Tab.č.III	Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti metodou Charpy /nevysušená tělesa/ 52
Tab.č.IV.	Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti metodou Charpy /vysušená tělesa/ 53
Tabč.V.	Kritické hodnoty Grubbsova rozdělení T pro hladinu významnosti 0,05 58
Tab.č.VI.	Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti metodou Dynstat pro tělesa vyrobená z modelových těles pro metodu Charpy 65-88
Tab.č.XXX.-XXXIII.	Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti metodou Dynstat těles vyrobených ze střední části tahové tyče 89-92
Tab.č.XXXIV.-XXXVII.	Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti metodou Charpy 93-96
Tab.č.XXXVIII.-XL.	Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti metodou Dynstat těles vyrobených z modelových těles pro zkoušku Charpy /vysušená/ 97-99
Tab.č.XLI.	Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti metodou Charpy /vysušená/ 100

P O D Ě K O V Á N Í

Děkuji všem pracovníkům katedry tváření kovů a plastických hmot za vytvoření vhodných podmínek pro vypracování diplomové práce, zejména ing J. Krebsovi, CSc. za rady a spolupráci na daném úkolu.

1. Úvod

Výroba, zpracování a použití plastů v Československu má dlouholetou tradici, která má své počátky již ve 30. letech /výroba a zpracování fenoplastů/. Intenzivnější rozvoj výroby a zpracování nastal u nás až po druhé světové válce. Kvantitativní zvrat ve výrobě plastů zaznamenala až 5. a 6. pětiletka, to je období po roce 1970, kdy v nově vybudovaných provozech k. p. Chemopetrol naběhla výroba nejpoužívanějších plastů, tj. polyolefinů, PVC a styrenových polymerů a stávající výroby v k. p. Slovchemia, Unichem a Spolku pro chemickou a hutní výrobu byly modernizovány a intenzifikovány. Tím se Československo dostalo na jedno z předních míst ve výrobě plastů v přepočtu na jednoho obyvatele.

Lze říci, že v současné době jsme v produkci základních typů plastů soběstační. Chybějí však speciální druhy a typy, které potřebuje především strojírenství. Proto jsou vítána všechna opatření, vedoucí k zlepšení sortimentní situace v oblasti tzv. konstrukčních plastů. Je proto potěšitelné, že lze v blízké budoucnosti od chemického průmyslu očekávat realizaci výrob modifikovaných polymerů, eventuálně nově vyvinutých typů, jako jsou alkalický polyamid, modifikovaný polyfenylénoxid, polyetyléntereftalát, plněné polyolefiny, nové typy epoxidových a modifikovaných melaminových hmot, polymerní směsi, kompozitní materiály aj.

Plasty ve strojírenství se stávají významnou materiálovou složkou a mohou být velmi důležité při řešení neuspokojivé situace v materiálové základně, zejména v oblasti kovových materiálů, které nebude možno v budoucnu pokrýt. Využívání plastů československé výroby je plně v souladu s antiimportním opatřením v našich závodech a podnicích, neboť typová záměna dosud dovážených polymerů z kapitalistických států za tuzemské modifikace je u mnohých aplikací možná.

K tomu je třeba, aby byl k dispozici konstruktérům i technologům dostatek podrobných informací o vlastnostech a zpracovatelnosti těchto materiálů. /13/

K tomuto účelu by měla přispět i předkládaná diplomová práce, která se zabývá hodnocením vlastností materiálu polyamidu 6, typ silamid 13.01 - ESV 30. Hlavní hodnocenou vlastností je vrubová houževnatost, jejíž hodnoty budou využitelné při návrhu nových tvarově a konstrukčně náročných výrobků.

2. Teoretická část

2.1 Vlastnosti a použití plastů

Plasty v současné době představují samostatnou skupinu konstrukčních materiálů, které se uplatňují ve všech oblastech lidské činnosti. K přednostem plastů patří především jejich nízká hustota. Ta je příčinou toho, že poměr mechanických vlastností a hustoty je u plastů často příznivější než u kovů, takže plastové konstrukční dílce mohou být až o 50 % lehčí než odpovídající kovové. Výhodná je i dobrá chemická odolnost plastů, jejich tepelně izolační vlastnosti, elektrická nevodivost, ale zejména vynikající zpracovatelnost, která umožňuje vyrábět i tvarově velmi složité součásti v jediné operaci. Konstrukce mají možnost sdružovat v jeden díl několik funkčních součástí, které by v případě kovu musely být vyráběny každá zvlášť. To vede k úspoře výrobních nákladů až o 50 %. Úspory nákladů, materiálu a energií v celospolečenském měřítku jsou znakem aplikací plastů.

Na druhé straně je však nutno přihlížet i k určitým vlastnostem omezujícím používání plastů. Jsou to např. poměrně úzká teplotní oblast použití výrobků, v porovnání s kovy relativně malá pevnost i nízký modul pružnosti, nepříznivé deformační chování závislé nejen na podmínkách namáhání, ale i dalších vlivech /teplota, čas, kríповé jevy/, malá rozměrová přesnost výrobků, velká teplotní roztažnost, vznik statického náboje a jevy stárnutí. Z praktického hlediska je nutno brát v úvahu i cenové relace mezi plasty a jinými materiály, dostupnost jednotlivých druhů plastů, investiční náklady na strojní zařízení a zejména na nástroje /formy/ a jejich technologickou úroveň. Význam má i kvalifikace pracovníků ve zpracovatelském odvětví a technické znalosti uživatelů. V poslední době vystupují do popředí i takové problémy jako je zužitkování druhotných surovin a otázky ekologické.

Zpočátku se plasty aplikovaly na spotřební zboží, protože nároky na funkční vlastnosti nebyly velké a zpracování plastů tvářením bylo poměrně snadné a rychlé. Ekonomické přínosy byly tedy zřejmé a kromě toho měly výrobky estetický vzhled. Později se plasty aplikovaly v elektrotechnice, hlavně jako izolační materiál, trubky a hadice. Nejproblematictější oblastí dlouho zůstávalo strojírenství. Strojní součásti bývají často vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání, navíc musejí být relativně přesné a mít dostatečnou rozměrovou a tvarovou stabilitu. Proto širší používání plastů ve strojírenství je možné až nyní, kdy se na trhu objevují nové druhy se zvýšenou pevností /např. vyztužené plasty/.

Současný sortiment plastů na světovém trhu sice zahrnuje asi jeden tisíc druhů, ale rozhodující podíl na výrobě i spotřebě tvoří jen několik desítek druhů. I když lze předpokládat, že chemici připraví další druhy plastů, které ještě více rozšíří stávající sortiment, nedá se při současném stavu vědomostí i při současné struktuře chemického průmyslu očekávat vznik takového polymeru, který by měl naději stát se plastem konkurujícím některým ze známých typů masové výroby. Nové druhy plastů budou tedy určeny i nadále pro speciální aplikace.

V oblasti přípravy polymerů se soudobý vývoj zaměřuje na zlepšování fyzikálních a mechanických vlastností stávajících typů ať již cestou kopolymerace, nebo kombinací základní hmoty vhodnými plnivy, např. skleněnými nebo uhlíkovými vlákny. Výrobci rovněž rozšiřují počet typů od jednoho druhu plastu, při čemž se jednotlivé typy mezi sebou liší nejen svými zpracovatelskými vlastnostmi, ale do jisté míry i vlastnostmi fyzikálními. Zpracovatelé mají potom možnost zvolit si nejvhodnější typ pro daný výrobek a danou technologii. Taková specifikace materiálu umožňuje dosahovat optimálních

mechanických vlastností finálního výrobku při zajištění maximální produktivity práce. /3/

2.1.1 Složené materiály /kompozity/

Makromolekulární látky /polymery/ se používají v technické praxi jako homogenní, izotropní materiály stále v omezenější míře. Důvodem je, jak bylo ukázáno, že použitím plniva lze vhodně upravovat jejich vlastnosti.

Materiály, které vzniknou kombinací polymerů s jinými materiály, se nazývají složené, nebo-li kompozity.

Základní členění podle L. H. Scherlinga uvádí tři skupiny:

- a/ porézní materiály různého chemického složení, plněné polymery, které nevytvářejí spojitou bázi /keramika, beton, dřevo/,
- b/ vyztužené polymery, ve kterých polymerní složka vytváří základní spojitou matici /práškové nebo vláknité pojivo/,
- c/ makroskopické kompozity, ve kterých polymerní a nepolymerní složky jsou zřetelně rozlišitelné pouhým okem. /9/

2.1.2 Plniva

Plasty používané v praxi neobsahují jen makromolekulární látky, ale zpravidla ještě řadu dalších přísad. Z přísad mají největší význam plniva. Některá z nich zlepšují mechanické vlastnosti výsledné hmoty, jiná chemickou odolnost či tvarovou stálost při zvýšené teplotě, jiná jen hmotu zlevňují.

K nejvýznamnějším patří skleněná vlákna, která zlepšují především houževnatost hmoty zpravidla při současném zvýšení dalších mechanických vlastností, jako modul pružnosti či pevnosti v tahu. Jedná se o vlákna vyráběná z "E" skla, což je nízkoalkalické borosilikátové sklo. Každé

vlákno je tažené z nepřetržitého pásu o teplotě 1200°C a obsahuje stovky jednotlivých vláken. Vlákna patří mezi nejpevnější používané materiály s pevností v tahu více než 3500 MPa a s teplotou měknutí 800°C. Skleněná vlákna se vyrábějí chemicky. Průměr vláken se pohybuje od 10 do 15 mikrometrů, délka činí asi 0,5 mm. /3/

2.1.2.1 Sklem vyztužené termoplasty

Sklem vyztužené plasty se používají tehdy, vyžadujeme-li vyšší tuhost výrobků, nebo příznivé deformační chování při vnějším namáhání /menší kríp/, vyšší teplotní odolnost, rozměrovou přesnost a stálost, v případě zmenšenou navlhlavost.

Vyztužujícího účinku se dosahuje přidavkem takového vláknitého plniva, které má vysoký modul pružnosti a tažnost menší, než jakou vykazuje pojivo matrice. Při zatěžování potom rozhodující část napětí přebírají vlákna. To však předpokládá dokonalou soudržnost obou složek, při čemž spojení se vytváří na základě adhezních sil. Aby se vytvořily dostatečně velké Van der Waalsovy přitažlivé síly, musí se molekuly plastu dostat do těsné blízkosti plniva. Proto se vlákna chemicky upravují a tím se zvyšuje jejich smáčivost. Nedokonalá smáčivost způsobuje, že síla není z matrice dokonale přenášena na plnivo. Účinnost plniva závisí dále na jeho množství, délce a průměru vláken a rozdělení vláken v matrici.

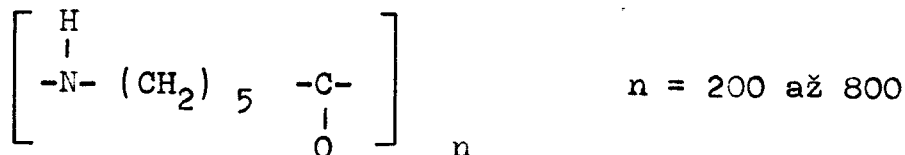
2.1.3 Vlastnosti polyamidů

K polyamidům patří polymery, které obsahují v řetězci amidovou skupinu - NH - CO-. Ta je silně polární a podmiňuje tvorbu vodíkových můstků mezi atomy kyslíku, vodíku a dusíku v sousedních řetězcích. Vodíkový můstek způsobuje vysokou kohezi molekul a je příčinou některých vyjimečných vlastností polyamidů, např. jejich vysoké pevnosti.

Polyamidy jsou vláknotvorné polymery s krystalickou strukturou. Polární skupina je také příčinou jejich hygroskopičnosti.

2.1.3.1 PA_6, typ silamid 13.01 - ESV 30

Polyamid 6 je polyamid na bázi - kaprolaktanu. Je tvořen lineárními molekulami umožňujícími krystalizaci.



Obsah krystalické fáze není vysoký /asi 25 až 45 %/. Krystalická fáze je tvořena speciálními kulovými útvary sferolity, které se v polarizovaném světle jeví jako maltézský kříž. Polyamid 6, typ silamid 13.01 - ESV 30 je jedním z konstrukčních plastů s výhodnými mechanickými vlastnostmi, které se však mohou měnit v širokých mezích, protože závisejí nejen na vlastnostech makromolekul, ale i na obsahu monomeru a vody. Proto se např. pevnost v tahu může pohybovat od 40 do 80 MPa, modul pružnosti od 600 do 1400 MPa. K nevýhodným vlastnostem patří značný sklon ke krípu. Naproti tomu lze jednosměrnou orientací vláken zvýšit pevnost v tahu až na 300 MPa. Změnu vlastností lze dosáhnout použitím vhodných plniv jak je popsáno v kap. 2.1.2.

Granulovaný polyamid 6, typ silamid 13.01 - ESV 30 obsahující 30 % krátkých skleněných vláken, která výrazně zlepšují konstrukční a mechanické vlastnosti výrobků, obsahuje kromě této přísady vnitřní mazivo, jež zaručuje dobré zpracovatelské vlastnosti při vstřikování, tj. dobrou zabíhavost ve formě a zlepšenou vyjímatelnost výstřiků z formy. Pro zlepšení vzhledových vlastností výstřiků obsahuje granulát optický zjasňovač. Vyrábí se buď přírodní nebarvený, nebo černý.

Je určen na výrobu náročných dílů vstřikováním u nichž se požaduje tvarová stálost a v elektrotechnice vhodné izolační vlastnosti. Mechanické a elektrické vlastnosti, měřené na zkušebních tělesech kondiciovaných na rovnovážný obsah vody při teplotě 23°C a relativní vlhkosti vzduchu 50 %, jsou uvedeny níže:

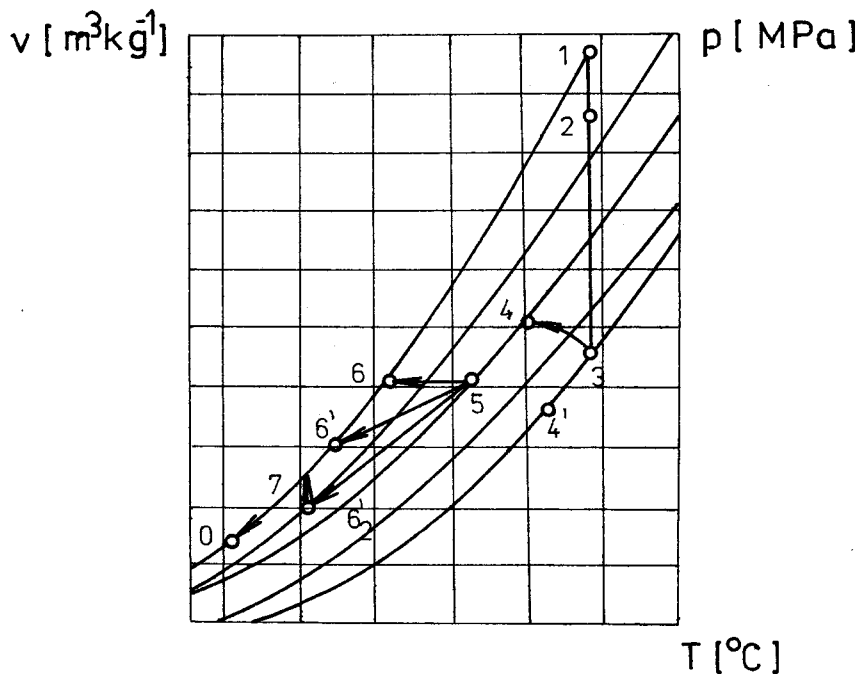
Vlastnosti PA 6, typ silamid 13.01 - ESV 30

měrná hmotnost	1330 kg.m ⁻³
rovnovážný obsah vody při 23°C, RV 50 %	1,8 %
index toku taveniny	0,7 g/10 min.
mez pevnosti v tahu	min. 75 MPa
modul pružnosti ze zkoušky tahem	min. 3900 MPa
modul pružnosti ze zkoušky ohybem	min. 3280 MPa
tvrdost podle Brinella HB 5/50/10	min. 80 MPa
HB 5/50/50	min. 77 MPa
teplota průhybu při zatížení dle ISO 75	180°C
smrštění ve směru toku taveniny	0,37 %
smrštění kolmo k toku taveniny	0,78 %
elektrická pevnost	min. 18,5 kV.min ⁻¹
měrný vnitřní odpor	min. 5.10 ⁹ ohm.m
měrný povrchový elektrický odpor	min. 5.10 ¹² ohm
ztrátový činitel tg /f = 1 MHz/	max. 0,11
permitivita /f = 1 MHz/	max. 4,8
nízkomolekulární podíl	max. 1,0 %
limitní viskozitní číslo	1,2 až 1,3 cm ³ .g ⁻¹

Výrobky z PA 6, typ silamid 13.01 - ESV 30 je možno používat bez zatížení intervalu teplot od -40 do +110°C. Jsou odolné vůči pohonným hmotám, olejům a běžným rozpouštědlům. Materiál je citlivý i na zředěné minerální kyseliny, alkálie, zejména při vyšších teplotách narušují skleněnou výztuž. Botná a rozpouští se ve fenolu, anorganických a některých organických kyselinách.

2.2 Proces_vstřikování

Při rozboru procesu vstřikování termoplastů, ať již neplněných, nebo plněných, je nejlépe vyjít z popisu v souřadnicích teplota zpracovávaného plastu - tlak působící na zpracovávaný plast - měrný objem plastu. /2/



Obr. 1. Vstřikovací cyklus vyjádřený v souřadnicích měrný objem, teplota a tlak

Budeme-li teoreticky analyzovat vstřikovací cyklus, můžeme jej pro izotropní hmotu znázornit pomocí diagramu na obr. 1. Za předpokladu, že objem dutiny formy bude neměnný, probíhá vstřikovací proces v následujících stádiích:

1. hmota přichází do tavící komory s teplotou 20°C a při vnějším atmosférickém tlaku, /bod 0 na obr. 1./ p_0 , T_0 .

2. potom následuje ohřev hmoty a její tavení při /teoreticky/ konstantním atmosférickém tlaku, $p = p_0$, $T = T_1$ /
3. pohybem šneku nebo pístu nastává plnění dutiny formy při konstantní teplotě T_1 , zatím co tlak se zvýší na hodnotu p_2 /úsek 1 - 2/,
4. úsek 2 - 3 představuje plnou kompresi taveniny v dutině formy až na tlak $p_{\max} = p_3$,
5. další stádium tvoří přechod na dotlak. Kdyby probíhal za plného vstřikovacího tlaku, byl by znázorněn úsekem 3 - 4', při sníženém dotlaku s uvažováním částečného zpětného výtoku hmoty z tavící komory úsekem 3 - 4 - 5. Bod 5 představuje tuhnutí ústí vtoku,
6. chladnutí hmoty je znázorněno úsekem 5 - 6, jestliže jsme uvažovali formu absolutně tuhou, pak chladnutí probíhá jako izochorický děj /5 - 6/, protože podíl objemu dutiny formy a hmotnosti plastu nacházejícího se v dutině se od zatuhnutí vtoku nemění. Ve skutečnosti však dochází k určitému zmenšování objemu dutiny vlivem elastických deformací formy, takže hmota chladne podle úseku 5 - 6'.
V případě, že by vnitřní vstřikovací tlak nebyl dostatečně vysoký, poklesne až na hodnotu atmosférického tlaku, výstřik se začne odtrhávat od stěny formy a probíhá volně smršťování. Při skutečném průběhu je nutno počítat se zbytkovým tlakem, což odpovídá bodu 6₂,
7. úsek 6₂ - 7 představuje otevření formy, kdy tlak poklesne na atmosférický, výrobek je z dutiny formy vyhozen a další chladnutí /úsek 7 - 0/ probíhá na vzduchu mimo formu. /1/

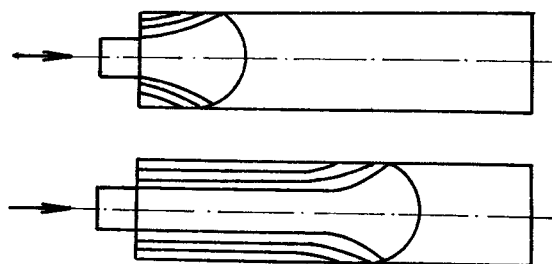
2.2.1 Plnění dutiny formy

Je zřejmé, že z hlediska možnosti ovlivňovat vlastnosti i strukturu výstřiku představuje nejdůležitější úsek fáze plnění dutiny formy, která hraje zvlášť významnou roli

u termoplastů plněných krátkými skleněnými vlákny a dále fáze dotlaku, kdy do prostoru v dutině formy, který se uvolní tuhnutím a smršťováním ochlazující se hmoty, je dostatečně vtlačováno určité množství taveniny, kompenzující objemové smrštění.

Fáze plnění rozhoduje o tom, zda hmota zcela zaplní dutinu formy a nebo zda vznikne nevstříknutý zmetek. Protože se plast nachází v podobě vysoce viskózní kapaliny, probíhá vyplňování dutiny formy odlišným způsobem, než jak tomu bylo u nízkoviskózních newtonovských kapalin. /2/

Při popisu průběhu zaplňování dutiny formy roztavenou hmotou je nutno vzít v úvahu, že teplota formy je vždy podstatně nižší než je teplota tuhnutí příslušného plastu. Je tedy možno předpokládat, že jakmile tavenina přijde do styku s povrchem dutiny formy, okamžitě ztuhne a na stěně vytvoří vrstvu nepohyblivé hmoty. Směrem k ose dutiny se však teplota hmoty zvyšuje, protože povrchové vrstvy působí jako tepelný izolátor. Schéma plnění dutiny formy je znázorněno na obr. 2.



Obr. 2. Postup plnění dutiny formy

Uvnitř dutiny se vytváří oblast, ve které je hmota s nízkou viskozitou, tato oblast se nazývá "plastické jádro". Velikost nízkoviskózní zóny je závislá na tloušťce ztuhlých povrchových vrstev.

V okolí vtoku zůstane ve styku hmota, která přišla do dutiny první a dále poslední, tzn. díl hmoty, který je již nejvíce ochlazený a hmota s nejvyšší teplotou. To vede ke vzniku velkých vnitřních pnutí v okolí vtoku a toto místo je náchylné k praskání.

Plnění dutiny formy probíhá při neizotermických podmínkách, kdy hmota je formou ochlazována. Brzdící účinek stěn se projevuje nejen na profilu tekoucí hmoty napříč dutinou, ale stejně tak v ploše dutiny. Nízká teplota taveniny v blízkosti stěn je provázána zvýšením viskozity a výsledkem je rychlejší tok taveniny v oblasti plastického jádra. Tím dochází k zakřivení čela pohybující se taveniny, kdy střední část odpovídá vrcholu paraboly. /1/

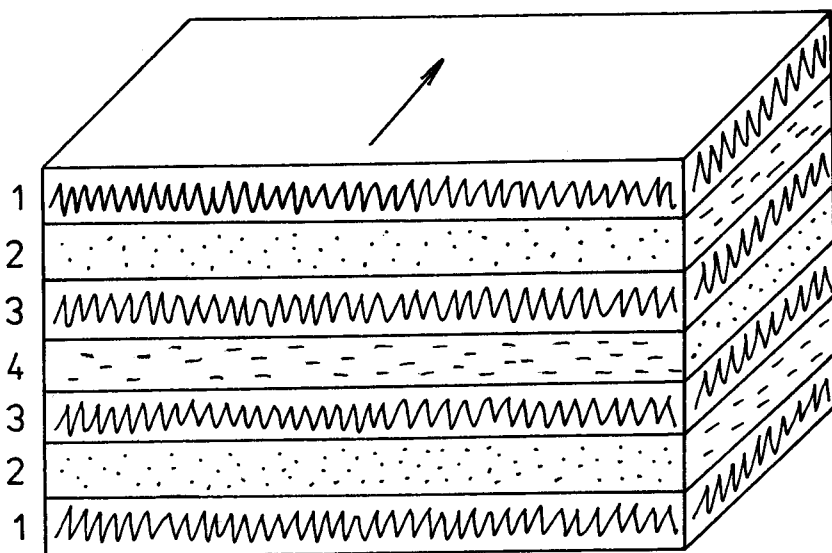
2.2.2 Makrostruktura

Při tečení působí na taveninu normální i smyková napětí. Výsledkem působení těchto napětí je u termoplastů vyztužených skleněnými vlákny vytvoření charakteristické uspořádanosti vláken, či-li makrostruktury výstřiků. Tato makrostruktura závisí především na geometrii dutiny, tj. tvaru výstřiku, dále na druhu a umístění vtoku a konečně na technologických podmínkách vstřikování. Odrazem vlivu těchto faktorů jsou zcela konkrétní reologické poměry v dutině formy, které jsou vlastní příčinou vzniku určité makrostruktury.

Protože se však u reálných výstřiků mění technologické veličiny v různých místech výstřiků /teplota a tlak vstřikovaného plastu i rychlost tečení závisí na vzdálenosti od vtoku/, je i makrostruktura na různých místech výstřiků rozdílná. Navíc je různá i ve směru příčném ke směru toku, tzn. ve směru tloušťky stěny výstřiku.

2.2.2.1 Vstřikování deskového výstřiku

Při vstřikování deskového výstřiku s bočním štěrbinovým vtokem se v dostatečné vzdálenosti od vtoku i od bočních stěn vytváří charakteristická makrostruktura složená ze čtyř vrstev /jak je znázorněno na obr. 3./. V každé z nich jsou vlákna uspořádána typickým způsobem, odlišujícím se navzájem jednak směrem orientace vláken, jednak stupněm orientace.



Obr. 3. Schéma uložení vrstev ve výstřiku tvaru desky

Tenká povrchová vrstva obsahuje vlákna uložená zcela chaoticky, tedy bez přednostního směru orientace. Ve druhé vrstvě jsou vlákna orientována téměř výhradně do směru toku taveniny. Tloušťka této vrstvy s podélnou orientací vláken je přímo úměrná viskozitě taveniny polymeru a zvětšuje se např. snížením vstřikovací teploty. Stejný účinek má i snižování rychlosti plnění dutiny formy, tedy ku příkladu snížení vstřikovacího tlaku. Třetí vrstva, která je homogenně ortotropní, opět nevykazuje přednostní směr orientace vláken, nýbrž vlákna leží zcela náhodně. Čtvrtá vrstva se nachází

uvnitř výstřiku a v ní jsou vlákna přednostně orientována kolmo ke směru toku taveniny. Tloušťka této vrstvy závisí v rozhodující míře na celkové tloušťce stěny výstřiku: s rostoucí tloušťkou stěny se zvětšuje.

Všechny tyto vrstvy jsou souměrné ke středové rovině a směrem ke druhému povrchu stěny se zrcadlově opakují. Přejítí jedné vrstvy ve druhou ovšem není ostrý, nýbrž jedna vrstva přechází ve druhou zcela plynule. /2/

2.2.2.2 Hodnoty určující makrostrukturu

- tloušťka jednotlivých vrstev t_k ,
- přednostní směr orientace vláken x_{vk} v jednotlivých vrstvách,
- standardní odchylka s_k jako míra rozptylu vláken v jednotlivých vrstvách kolem přednostního směru orientace, tedy míra stupně orientace.

Všechny tyto veličiny jsou místně závislé. Zvláště se mění přednostní směr orientace vláken směrem ke střední vrstvě, a to jak v podélném směru, tak ve směru šířky desky.

Protože mechanické vlastnosti plastových dílů s vláknitými plnivými jsou jiné ve směru vláken a jiné ve směru kolmém, je zřejmé, že výsledná vlastnost je určována především poměrem vlastností vrstvy 2 a 4. Uspořádanost vláken v jednotlivých vrstvách ovšem není zcela dokonalá. Vedle vláken, jejichž poloha odpovídá přednostnímu směru orientace, jsou přítomna vlákna, ležící v jiném směru. To vše způsobuje, že na konečné hodnotě určité mechanické vlastnosti se podílejí všechny vrstvy. /2/

2.2.2.3 Vliv geometrie tvaru výrobku na makrostrukturu

Změna geometrie tvaru výrobku má za následek i změnu makrostruktury. Nejvíce se deskovému modelu blíží makrostruktura výstřiku ve tvaru válce, který je vstříkován